



Terra do Mar Doce

Contribuições da Academia para a
Navegação na Amazônia

Maisa S. G. Tobias
Organizadora

Belém - 2020



TERRA DO MAR DOCE
Contribuições da Academia
para a Navegação na Amazônia

1ª Edição

Maisa Sales Gama Tobias
Organizadora

TERRA DO MAR DOCE
Contribuições da Academia
para a Navegação na Amazônia

1ª Edição

Belém-Pa
2020

TERRA DO MAR DOCE

Contribuições da Academia para a Navegação na Amazônia
©2020, UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ - UFPA

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ - UFPA

Prof. Dr. Emmanuel Zagury Tourinho

Reitor da Universidade Federal do Pará

Prof^ª. Dra. Maria Iracilda da Cunha Sampaio

Pró-Reitora de Pesquisa e Pós-Graduação

Prof. Dr. Newton Sure Soeiro

Diretor Geral do Instituto de Tecnologia

Prof. Dr. Nelio Moura de Figueiredo

Diretor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Naval - PPGENAV

Corpo Docente Permanente

Prof Dr. André Augusto Azevedo Montenegro Duarte

Prof Dr. André Luiz Amarante Mesquita

Prof Dr. Eduardo de Magalhães Braga

Prof Dr. Hito Braga de Moraes

Prof. Dr. José Marcio do Amaral Vasconcelos

Prof Dr. Maarmar El-Robrini

Prof^ª Dra. Maisa Sales Gama Tobias

Prof. Dr. Marcus Pinto da Costa da Rocha

Prof. Dr. Miercio Cardoso de Alcantara Neto

Prof. Dr. Mounsif Said

Prof Dr. Nelio Moura de Figueiredo

Prof. Dr. Newton Sure Soeiro

Prof Dr. Paulo Cordeiro Machado

Prof Dr. Pedro Igor Dias Lameira

Supervisão Editorial: Prof^ª Dra. Maisa Sales Gama Tobias

Revisão e Formatação: Kátia Regina de S. da Silva

Diagramação: Elailson dos Santos Gomes

Capa: Aurélio Tanoue de Almeida

Editora: Fluxo Gráfica

É proibida a comercialização desta obra

Terra do Mar Doce: Contribuições da Academia para a Navegação na Amazônia/ Organização de: Maisa Sales Gama Tobias. Belém: Fluxo Gráfica, 2020.

559 p.: 14,8 x 21,0 cm.

ISBN 978-65-81780-01-2

e-ISBN 978-65-81780-00-5

1. Navegação. 2. Transporte Aquaviário. 3. Engenharia Naval. 4. Amazônia. I. Tobias, Maisa Sales Gama.

CDD 378.9817

ÍNDICE

PREFÁCIO	11
Eduardo Lobato Carvalho	
OS BARCOS EXPRESSOS: SABER REGIONAL, MODERNIZAÇÃO E REDUÇÃO DO TEMPO DE VIAGEM NO TRANSPORTE FLUVIAL AMAZÔNICO	13
<i>EXPRESS BOATS: REGIONAL KNOWLEDGE, MODERNIZATION AND REDUCTION OF TRAVEL TIME IN AMAZON FLUVIAL TRANSPORT</i>	
Robert Carvalho de Azevedo David	
DIAGNOSIS OF THE POTENTIAL FOR BRASILIAN SOYBEAN FLOW THROUGH PORTS IN THE PARA STATE: A BIBLIOGRAPHIC AND DOCUMENTARY ANALYSIS	45
<i>DIAGNÓSTICO DO POTENCIAL PARA ESCOAMENTO DA SOJA BRASILEIRA ATRAVÉS DE PORTOS NO ESTADO DO PARÁ: UMA ANÁLISE BIBLIOGRÁFICA E DOCUMENTAL</i>	
André Cristiano Silva Melo, Amanda Thais Santos Vieira Bruna Adriele Furtado Cordeiro	
TRANSPORTE DE SOJA POR MEIO DE CONTÊINERES E OS TERMINAIS PORTUÁRIOS DE MANAUS COMO DIFERENCIAL PARA EXPORTAÇÃO DA SOJA BRASILEIRA	63
<i>SOYBEAN TRANSPORTATION THROUGH CONTAINER SHIPPING: MANAUS PORT TERMINALS AS A DIFFERENTIAL FACTOR IN BRAZILIAN SOYBEAN EXPORT</i>	
Bruno Duarte de Oliveira Augusto César Barreto Rocha	

A IMPORTÂNCIA DO SERVIÇO DE TRÁFEGO DE NAVIOS (VTS) NA BACIA AMAZÔNICA	95
<i>THE IMPORTANCE OF VESSEL TRAFFIC SYSTEM (VTS) IN THE AMAZONA BASIN</i>	
Munik Holanda de Oliveira Nelio Moura de Figueiredo	
PANORAMA DOS PROJETOS DE INFRAESTRUTURA HIDROVIÁRIA: UM LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO DE PROJETOS NA HIDROVIA JURUENA-TELES PIRES-TAPAJÓS	107
<i>OVERVIEW OF WATERWAY INFRASTRUCTURE PROJECTS: A BIBLIOGRAPHIC SURVEY OF PROJECTS IN JURUENA-TELES PIRES-TAPAJOS WATERWAY</i>	
Bárbara Heliadora Negreiros Salomão Ana Elaje Azevedo Simões da Mota André Cristiano Silva Melo	
METODOLOGIA PARA DEFINIR E PRIORIZAR CRITÉRIOS DE PROJETO PARA EMBARCAÇÃO DE PASSAGEIROS	127
<i>METHODOLOGY TO DEFINE AND PRIORITIZING DESIGN CRITERIA FOR PASSENGER VESSELS</i>	
Priscila Pereira Palitot Hito Braga de Moraes	
AFERIÇÃO DE DEMANDA DE TRANSPORTE HIDROVIÁRIO URBANO: UM ESTUDO DE CASO NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM – RMB	161
<i>THE URBAN WATERWAY EVALUATION: A CASE STUDY IN BELEM METROPOLITAN REGION – BMR</i>	
Alan Monteiro Borges Hito Braga de Moraes Marcus Vinícius Guerra Seraphico de Assis Carvalho	

**ACESSIBILIDADE DO TERMINAL HIDROVIÁRIO
DE PASSAGEIROS NA CIDADE DE SANTARÉM (PA) 181**

*ACCESSIBILITY OF PASSENGER WATERWAY
TERMINAL IN SANTARÉM CITY (PA)*

**Mayra Hermínia Simões Hamad Farias do Couto
Nírvia Ravena**

**ACESSIBILIDADE ESPACIAL DA MALHA HIDROVIÁRIA
REGIONAL E CONSTITUIÇÃO DE UMA REDE DE
CIDADES NO BAIXO AMAZONAS 199**

*WATERWAY TRANSPORT SPATIAL ACCESSIBILITY
AND THE ADOPTION OF A NETWORK OF CITIES
IN LOWER AMAZON REGION*

**Rui António Rodrigues Ramos
Daniel Souto Rodrigues**

**MODELING WATERWAY TRANSPORT SERVICE:
INSIGHTS FROM THE D-FLUVIAL PROJECT 223**

*MODELAGEM DE SERVIÇOS DE TRANSPORTE FLUVIAL:
EXPERIÊNCIAS DO PROJETO D-FLUVIAL*

**Maisa Sales Gama Tobias
Benedito Coutinho Neto
Humberto de Paiva Junior
Paulo Sérgio Lima Pereira Afonso**

**OTIMIZAÇÃO HIDRODINÂMICA DO CASCO DE UMA
LANCHA ESCOLAR AMAZÔNICA ATRAVÉS DE
ALGORITMO GENÉTICO PARA REDUÇÃO DE
RESISTÊNCIA EM AMBIENTE CFD 243**

*HYDRODYNAMIC OPTIMIZATION OF THE AMAZON
SCHOOL SPEEDBOAT HULL THROUGH GENETIC
ALGORITHM FOR THE REDUCTION OF RESISTANCE
IN CFD ENVIRONMENT*

**Harlysson Wheiny Silva Maia
Mounsif Said**

<p>REDE LOGÍSTICA DE GÁS NATURAL PARA ABASTECIMENTO DE EMBARCAÇÕES NA AMAZÔNIA BRASILEIRA</p> <p><i>NATURAL GAS LOGISTICS NETWORK FOR SUPPLYNG VESSELS IN THE BRAZILIAN AMAZON</i></p> <p>Paulo Cezar de Azevedo Junior Nelson Kuwahara André Bergsten Mendes</p>	<p>275</p>
<p>UMA PROPOSTA DE MODELO DE BENCHMARKING E AHP QUE CLASSIFIQUE COMO HUB PORT UMA PLATAFORMA LOGISTICA QUE ATENDA A DEMANDA DE NAVIOS PÓS PANAMAX. UM ESTUDO DE CASO NO LITORAL DO PARÁ</p> <p><i>A PROPOSAL FOR A BENCHMARKING AND AHP MODEL THAT CLASSIFY AS HUB PORT LOGISTICS PLATFORM THAT MEETS THE DEMAND OF POST PANAMAX SHIPS. THE CASE STUDY IN THE PARA COAST</i></p> <p>Marina Aranha de Sousa Nelio Moura de Figueiredo Hito Braga de Moraes</p>	<p>311</p>
<p>MODELAGEM E SIMULAÇÃO DA CAPACIDADE OPERACIONAL DE UM CORREDOR LOGÍSTICO DO ARCO NORTE.....</p> <p><i>MODELING AND SIMULATION OF OPERATIONAL CAPACITY FROM A NORTH ARCH LOGISTICS CORRIDOR</i></p> <p>Jaison de Moura Cardoso Hito Braga de Moraes Nelio Moura de Figueiredo</p>	<p>333</p>

**ACCESSIBILITY MODELING TO SUPPORT DECISION-
MAKING IN URBAN INVESTMENTS IN AMAZONIA
CITIES: THE CASE OF SANTAREM - PA 355**
*MODELAGEM DA ACESSIBILIDADE COMO SUPORTE À
TOMADA DE DECISÃO EM INVESTIMENTOS URBANOS
NA AMAZÔNIA: O CASO DE SANTARÉM-PA*
**Daniel Souto Rodrigues
Rui António Rodrigues Ramos
Maisa Sales Gama Tobias**

**ANÁLISE DE ESFORÇOS RESULTANTES DE IMPACTOS
ENTRE BARCAÇAS DE COMBOIOS FLUVIAIS PARA
MODELAGEM DE SISTEMA DE AMORTECIMENTO DE
CHOQUES UTILIZANDO TEORIA DE
ANÁLISE MULTI-CORPOS379**
*ANALYSIS OF RESULTING EFFORTS FROM IMPACTS
BETWEEN RIVER TRAIN BARGES FOR SHOCK DAMPING
SYSTEM MODELING USING MULTI-BODY ANALYSIS THEORY*
**Fernando Costa da Cruz
Newton Sure Soeiro
Hito Braga de Moraes**

**ANÁLISE DE RESISTÊNCIA AO AVANÇO COM A
INDUÇÃO DE TURBULÊNCIA ATRAVÉS DE APÊNDICES
NA REGIÃO DE POPA DE UMA EMBARCAÇÃO 409**
*ADVANCE RESISTANCE ANALYSIS WITH TURBULENCE
INDUCTION THROUGH STERN APPENDAGES OF A VESSEL*
**Yuri Victor Remígio Guedes
Hito Braga de Moraes**

**OPORTUNIDADE DE MERCADO DE TRANSPORTE
HIDROVIÁRIO NO MARAJÓ SEGUNDO A
PERCEPÇÃO DOS USUÁRIOS 437**
*WATERWAY TRANSPORT MARKET OPPORTUNITY IN
MARAJÓ ACCORDING USERS' PERCEPTION*
**Pablo Queiroz Bahia
Heriberto Wagner Amanajás Pena
Luiz Lourenço de Souza Neto
Neydson Maccarty Silva da Silva**

ANÁLISE DE SISTEMAS INTEGRADOS DE TRANSPORTE RODO-FLUVIAL-MARÍTIMO SOB A INFLUÊNCIA DE REGIMES SAZONAIS	467
<i>ANALYSIS OF INTEGRATED SYSTEMS: ROADWAY, WATERWAY AND SEAWAY TRANSPORTATION UNDER THE INFLUENCE OF SEASONAL PERIODS</i>	
Tiago Novaes Mathias Rui Carlos Botter	
COST-VOLUME-PROFIT ANALYSIS OF GENERAL CARGO WATERWAY TRANSPORT: A CASE STUDY IN AMAZON.....	489
<i>ANÁLISE CUSTO-VOLUME-LUCRO DO TRANSPORTE FLUVIAL DE CARGA GERAL: UM ESTUDO DE CASO NA AMAZÔNIA</i>	
Paulo Rômulo Lima de Matos Nelson Kuwahara	
ANÁLISE MODAL EM EMBARCAÇÕES DE ATENDIMENTO MÉDICO-HOSPITALAR VISANDO A OTIMIZAÇÃO DE VIBRAÇÕES	523
<i>MODAL ANALYSIS IN MEDICAL CARE VESSELS FOR VIBRATION OPTIMIZATION</i>	
Aracelli Suzane Andrade Ferreira Newton Sure Soeiro	
SOBRE OS AUTORES	547

PREFÁCIO

Eduardo Lobato Carvalho*

A Amazônia, seu potencial, sua pluralidade e suas riquezas, despertam interesses de todo o mundo, em especial seu potencial hídrico e logístico. Neste contexto, o leitor navegará em trabalhos com temas contemporâneos sobre transporte aquaviário e seus modais, propondo soluções para seus principais problemas. Viver nessa região, conhecê-la e, mais do que isso, formar uma base crítica acadêmica é o que está se concretizando no curso de Engenharia Naval da Universidade Federal do Pará e do seu Programa de Pós-graduação na Região Norte, que mesmo sendo o mais novo curso de Engenharia Naval do país, tem obtido os melhores desempenhos nas avaliações nacionais. A interação entre a academia e o mercado, seja ele público ou privado, vem substituindo soluções empíricas em trabalhos científico de qualidade, beneficiando todo o sistema logístico da região, especialmente, o transporte fluvial, as operações portuárias e suas interações com os outros modais.

Este livro é uma coletânea de vinte e um artigos que representa uma amostra da produção científica realizada na UFGA e em outras instituições de ensino e pesquisa do país, inclusive, com colaborações internacionais, por demandas solicitadas, quer por empresas privadas, governos ou, simplesmente, pelo olhar dos pesquisadores nascidos na Amazônia, que vivem e conhecem as necessidades das populações ribeirinhas dessa imensa Terra de Mar Doce e apresentaram soluções para melhorar a qualidade de vida da população amazônica.

Os temas dos artigos contemplam soluções que vão desde o carente transporte fluvial de passageiros e seus problemas,

* Presidente do Grupo Mega Logística. Vice- Presidente do Sindicato das Empresas de Navegação, Fluvial e Lacustre e das Agências de Navegação do Estado do Pará. Presidente da Associação Brasileira dos Armadores de Navegação Interior.

como acessibilidade da malha regional fluvial na região do baixo amazonas, acessibilidade de terminais fluviais, melhoramento de lanchas escolares, critérios de projetos para embarcações de passageiros, barcos expressos e redução de tempo de viagem, aferição da demanda de transporte hidroviário urbano, passando pelo tema de atendimento hospitalar nas regiões longínquas da Amazônia como melhoramentos em embarcações médico-hospitalares, chegando até as preocupações com a infraestrutura dos rios através de levantamentos bibliográficos de projetos na hidrovía Juruena – Teles Pires – Tapajós. Em seguida, as questões do Arco Norte e o escoamento de grãos, soja e milho, com os artigos que tratam da modelagem da capacidade operacional logística desse corredor, o diagnóstico do potencial para escoamento desses grãos pelos portos do Pará, a alternativa de escoar esses grãos através de contêineres via os portos de Manaus e, ainda, a preocupação com o modal marítimo, necessário para finalizar toda a nossa logística; pois é através dele que se chega aos principais portos do mundo os produtos transportados pelos nossos rios, o que se tornou necessário abordar a importância do serviço de tráfego de navios na Bacia Amazônica e, finalmente, atender a necessidade de um porto de águas profundas com um artigo que trata de uma proposta de modelo de *benchmarking* e uso da análise hierárquica para classificar como *hub port* uma plataforma logística que atenda a demanda de navios pós Panamax no litoral paraense.

Esses trabalhos dão oportunidade ao leitor de conhecer não somente os problemas da Amazônia, mas sim as soluções, propostas por quem vive o dia a dia e os estuda para melhorar cada vez mais o crescente potencial logístico do nosso país, através da nossa malha hidroviária, sendo indispensável para quem pretende investir em logística na Amazônia, não somente os empresários, mas também quem está almejando uma oportunidade de trabalho ou quer aprofundar seus estudos e pesquisas, seja no transporte, construção naval, hidrovias e portos.

Portanto, parabéns pela iniciativa em presentear a sociedade com esta obra e a todos os profissionais e pesquisadores envolvidos neste trabalho. Boa leitura!

OS BARCOS EXPRESSOS: SABER REGIONAL, MODERNIZAÇÃO E REDUÇÃO DO TEMPO DE VIAGEM NO TRANSPORTE FLUVIAL AMAZÔNICO

*EXPRESS BOATS: REGIONAL KNOWLEDGE,
MODERNIZATION AND REDUCTION OF TRAVEL
TIME IN AMAZON FLUVIAL TRANSPORT*

DAVID, R. C. A.

Universidade Federal do Amazonas

RESUMO

O artigo trata da dinâmica do transporte Expresso na rede fluvial amazônica, à luz das transformações sociais ocorridas no espaço regional-global e, para isso, busca-se compreender as principais rotas e conexões onde esses barcos se fazem presentes na região. Foram utilizadas como bases analíticas os conceitos de espaço, técnica, fluxos e redes, que se colocam como dispositivos analíticos importantes nas ciências humanas, devido à capacidade para compreender a articulação entre os lugares, pois a sociedade, assim como os meios de transportes, organiza-se em redes. Para principal obtenção de dados utilizou-se o trabalho de campo, que foi realizado a partir de entrevistas e viagens nas embarcações, bem como visitas a órgãos competentes. Tomou-se como ponto de partida o Porto da Manaus Moderna, visto que o fluxo da navegação amazonense acontece predominantemente à partir deste porto. Após essa etapa, investigou-se mais profundamente as calhas do Rio Amazonas e Solimões, priorizando as seguintes rotas: Manaus-Tabatinga e Manaus-Coari-Tefé. Investigou-se, também, o funcionamento dos Expressos em Itacoatiara, já que essa cidade apresenta função de distribuição na rede fluvial para outras cidades do entorno. O crescimento do uso dos barcos Expressos, cuja prioridade é o transporte de passageiros, é evidente em várias rotas, visto que realizam viagens mais

velozes do que as embarcações de transporte misto, ao mesmo tempo apresentam custo maior para os passageiros. Estes barcos estão presentes em várias rotas do transporte regional, modificando a maneira tradicional de articulação entre cidades na Amazônia, pois o tempo dos deslocamentos é consideravelmente reduzido com a utilização dos Expressos. Desta forma, percebe-se uma tendência de expansão deste serviço para outras rotas no Amazonas, basicamente ligando as principais cidades do estado à capital Manaus, maior mercado de origem e destino de passageiros.

Palavras Chave: Transporte fluvial. Expressos. Técnica. Amazonas.

ABSTRACT

The article deals with the dynamics of Express transport in the Amazon river network, in the light of the social transformations that occurred in the regional-global space and, for that, it seeks to understand the main routes and connections where these boats are present in the region. It was used as analytical bases the concepts of space, technique, flows and networks, which stand as important analytical devices in the human sciences, due to the ability to understand the articulation between places, because society, as well as the means of transport, is organized by if in networks. For main data collection it was used the field work, which was carried out from interviews and trips on the boats, as well as visits to competent bodies. It took up as a starting point the Manaus Moderna Port, as the flow of Amazonian navigation happens predominantly from this port. After this stage it was investigated further the gutters of the Amazon River and Solimões, prioritizing the following routes: Manaus-Tabatinga, Manaus-Coari-Tefé. It was also investigated the operation of the Expressos in Itacoatiara, as this city has a distribution function in the river network to other surrounding cities. The growing use of Express ships, whose priority is passenger transport, is evident on many routes where they make faster journeys than mixed transport vessels, while at the highest cost for passengers. These boats are present in various regional transport routes, modifying

the traditional way of articulation between cities in the Amazon, because the time of travel is considerably reduced with the use of Express. Thus, there is a tendency of expansion of this service to other routes in the Amazon, basically linking the main cities of the state to the capital Manaus, the largest market of origin and destination of passengers.

Keywords: River transport. Expresses. Technique. Amazon.

1. INTRODUÇÃO

Anavegação fluvial foi e continua sendo o principal modo para realização de viagens e acesso à Amazônia, pois por meio da utilização dos rios ocorreram diversas transformações no espaço regional. As viagens poderiam demorar dias para serem concluídas, dadas às dificuldades naturais. Vencer o rio, eis o grande desafio para interligação de diversos pontos. No entanto, esse mesmo rio favoreceu o conhecimento da região e a interligação entre diversos pontos. “Mas o rio, dominador e dogmático alterava planos e agendas [...] A primeira lição que o rio me ensinou: O sentido do tempo” (TOCANTINS 1984, p.28).

A necessidade de interligar mais rapidamente a região motivou ações para vencer os desafios impostos pela natureza, objetivando reduzir o tempo de interligação entre pontos no espaço regional. Concorda-se com Moreira (1960), quando aponta que a Amazônia não é uma individualidade fisiográfica. Para o autor, o “O homem não é um elemento acrescido à paisagem, uma sorte de acessório destinada a orná-la e completá-la [...] Na verdade é um fator geográfico por excelência” (MOREIRA, 1960, p.10).

Este artigo pretende trazer a luz o segmento Expresso, que se desenvolveu na navegação fluvial na Amazônia, principalmente, a partir da década de 1990, e tem se revelado como importante meio de interligação entre cidades na região. Nesse segmento há um híbrido do saber regional com transformações relacionadas a estruturas macroeconômicas que exercem influência no cotidiano amazônico.

2. OS EXPRESSOS E A NOVA DINÂMICA FLUVIAL NA AMAZÔNIA: ENCURTANDO TEMPOS E DISTÂNCIAS

Após séculos de interações nacionais e internacionais, a Amazônia passou por diversas modificações, tanto no âmbito econômico como social. Tais transformações impactaram gradativamente o transporte regional. No entanto, boa parte da população não se enquadrava às mudanças, vivenciando ainda maneiras tradicionais de transporte.

A partir da década de 1960, houve diversas intervenções estatais no âmbito do transporte, que priorizaram o modal rodoviário, procurando adequar a região às necessidades do mercado nacional e internacional. Dessa forma, movimentar-se mais rapidamente passou a fazer parte da visão que permeava a produção do espaço na Amazônia.

Nesse período, a Amazônia passa novamente a ser objeto de discussão por conta do seu papel geopolítico e de seu potencial natural que poderia ser mais utilizado a fim de gerar riqueza para o Estado brasileiro. Dessa forma, a interligação entre diversos pontos da região continuava a ser o desafio que buscavam para intensificar o processo de ocupação e circulação de pessoas e especialmente de produtos, seja para o abastecimento do mercado interno ou para o atendimento das demandas do mercado externo. Minérios, madeira, extrativismo vegetal, implantação de indústrias, construção de hidrelétricas, eram projetos para potencializar a econômica da região. No entanto, existia uma dificuldade comum para a efetivação de todas elas: o transporte regional de cargas e passageiros que se configurava como lento para atender os padrões no qual o Brasil se insere à partir da segunda metade do século XX.

No Amazonas essas transformações ocorreram principalmente à partir da criação da Zona Franca de Manaus em 1967. Com a Zona Franca e a institucionalização da SUFRAMA, houve reaquecimento da economia local e maior movimentação de pessoas e mercadorias na região, que necessitava de mão de obra para abastecer as recém-criadas indústrias. Como grande parte dessas pessoas vinha do interior do Amazonas e do Pará, o transporte fluvial entre a capital

e cidades intermediárias volta a ter demanda importante de passageiros, tantos nos navios da ENASA, como também nos barcos regionais de transporte misto que cobriam os trechos entre as cidades não realizadas pela empresa estatal.

Visando a atender ao escoamento da produção e a movimentação da população, estradas também foram construídas para que a interligação entre os polos de crescimento e o mercado consumidor ou o ponto de exportação se tornasse mais rápido. No entanto, por motivos diversos, várias estradas não foram concluídas, divergindo do projeto original. Tal situação contribuiu para que o transporte fluvial se mantivesse como o grande responsável pela circulação de cargas e passageiros na região, principalmente, na Amazônia ocidental.

Diferentemente do rodoviário, que teve vultosos investimentos, o transporte fluvial regional ficou principalmente à mercê dos investimentos locais, o que gerou grande dificuldade para modernização da frota, exigindo do armador diversos esforços para que houvesse melhorias físicas nas embarcações, melhoramento que ficou quase que exclusivamente sob a responsabilidade do capital privado.

Assim, as novas exigências de velocidade e de demanda impulsionaram transformações, estabelecendo novos padrões que se inserissem no meio técnico-científico-informacional, dentre essas ações podemos citar a implementação dos barcos Expressos, que destoam da tradicional maneira de transportar na região. Para tornar isso viável, foram realizadas mudanças internas buscando ampliar a velocidade do transporte regional. Essas transformações não abarcaram todos os segmentos sociais da região. No entanto, gradativamente moldariam as tradicionais maneiras de transportar, permeando nos moradores da região um pensamento ligado à ideia da velocidade e da constante busca por melhorias técnicas.

Dentre os diversos elementos que geram dificuldades para a maior mobilidade na rede fluvial amazônica, podemos apontar o acesso entre as cidades que estão a consideráveis distâncias geográficas umas das outras. Apesar de construção de estradas na região, a porção ocidental da Amazônia, onde se localiza o estado

do Amazonas ficou alijada do processo, com investimentos menores em comparação à porção oriental. Em decorrência, a ligação entre a maioria das cidades ainda é pelo transporte fluvial.

Na busca de amenizar essa dificuldade e intensificar aumento da velocidade dos fluxos regionais, foram realizados investimentos no transporte fluvial, mas que se ateve, principalmente, ao transporte de combustíveis e de cargas das empresas situadas na Zona Franca. O transporte de passageiros também obteve maiores investimentos a partir da atuação do Estado na interligação das principais capitais regionais, como Manaus e Belém. Fora desse eixo, o transporte fluvial se desenvolvia a partir da iniciativa regional com baixa capitalização por parte dos armadores locais.

A velocidade e a fluidez passam a ser condição para melhor interligação entre diversos pontos do espaço, isso acarreta, em diversas medidas, o favorecimento das transformações do espaço a fim de prepará-lo para receber equipamentos urbanos que por sua vez modificam a forma das cidades.

O espaço passa a ser amplamente transformado por agentes estatais e privados que fazem diversas articulações políticas, buscando a permanência de seus ganhos. Para que isso ocorra, diversos elementos precisam estar em contínuo fluxo no espaço, para que assim, a engrenagem do processo, que é o consumo, possa continuar a acontecer.

Devido às transformações no espaço geográfico mundial, a velocidade no transporte intensifica seu protagonismo no mundo globalizado, já que a mobilidade de pessoas se tornou mais frequente entre os países. Para Harvey (1992) “O capitalismo é, por necessidade, tecnológica e organizacionalmente dinâmico. Isso decorre em parte das leis coercitivas, que impelem os capitalistas individuais a inovação e sua busca pelo lucro” (p. 169). Assim, a necessidade de maior lucratividade em diversos segmentos exige maiores investimentos em velocidade no âmbito dos transportes, para que se tenha maior fluidez de pessoas, mercadorias e informações.

No Amazonas, a estrutura móvel sofreu processo de modernização mais eficiente que a estrutura fixa, materializando-as através dos Expressos, que possibilitaram o fluxo mais intenso de

passageiros entre cidades na região. Os armadores que atuam no segmento estão em constante contato com os passageiros, procurando se adequar às melhorias a partir da sua percepção cotidiana das necessidades daqueles que a utilizam. Sendo assim, há um “controle de qualidade” constante nessa interação entre passageiros e responsáveis por embarcações.

Tal transformação na organização do transporte fluvial com o segmento Expresso altera a relação espaço-tempo no transporte regional, já que se modificam tradicionais processos cotidianos, criando necessidades materiais e imateriais contextualizadas com transformações globais. Mesmo sem perceber diretamente, os moradores da região se adequam às transformações sociais, já que “O espaço e o tempo são categorias básicas da existência humana. E, no entanto, raramente discutimos o seu sentido; tendemos a tê-los por certos e lhes damos atribuição do senso comum ou autoevidentes” (HARVEY, 2008, 188).

Durante o século XX, houve profunda reestruturação econômica e social ligada ao processo de globalização, que intensificou as relações comerciais entre diversos países e as relações culturais, formando uma cosmovisão atrelada aos princípios do mercado global. Tanto nos meios de comunicações, como nos transportes, diversas tecnologias passaram a fazer parte da vida das pessoas, interferindo em suas relações sociais.

Amplia-se a necessidade de circulação no espaço e se passam a adotar medidas econômicas e políticas para que tal processo ocorra. Dentre elas, pode-se destacar a internacionalização da economia pautada no princípio neoliberal e os investimentos em comunicação e propaganda de massa que criaram novas necessidades de consumo.

No contexto econômico atual, a velocidade ganha primazia, tendo o transporte que se adaptar a ela, ocasionando intensa busca por melhoria técnica em diversas escalas. Já que o espaço passa a ser lócus da reprodução do capital, circular no espaço permite maior fluidez de pessoas e mercadorias. Pequenas comunidades e grandes cidades estão constantemente se relacionando com o mercado global, mesmo que de maneira diferenciada.

Esse vínculo entre as cidades da Amazônia, alimentado pelo transporte fluvial vem apresentando transformações em seu dinamismo, a partir da utilização de tecnologias nas embarcações que realizam o transporte entre as capitais regionais e cidades do interior. Na porção ocidental da Amazônia, que possui densa rede hidrográfica em detrimento da quantidade de estradas trafegáveis, o transporte fluvial amplia seu protagonismo, intensificando a movimentação de embarcações que levam e trazem passageiros e cargas entre diversos pontos da Amazônia.

Essa movimentação está diretamente relacionada com a mobilidade de pessoas na região, relativo às interferências de projetos governamentais pós década de 1960 (ARAGON, 2002), que fomentaram as migrações regionais, aumentando a necessidade de interligação entre cidades. Vários desses migrantes deixavam parte de seus familiares no local de origem e se concentravam nas capitais e outras cidades em busca de melhores condições de vida. Para atender essa mobilidade intrarregional, ligada à produção do espaço na Amazônia, diversas rotas de transporte fluvial foram se adequando as demandas de passageiros entre as cidades da região que estão em constante transformação.

O crescimento dos Expressos não ocorreu de maneira isolada. Sua funcionalidade está relacionada à oferta de serviços públicos e privados nas cidades que compõem as calhas, visto que aquelas que possuem maior movimentação econômica concentram mais embarcações. Dessa forma, também pode-se entender a organização e a distribuição da rede de transporte fluvial por fatores relacionados à influência das cidades que, por sua vez, interferem na distribuição de embarcações na rede fluvial. Cidades mais dinâmicas têm maior frequência de viagens, com dias previamente estabelecidos, em embarcações cada vez mais velozes.

Algumas cidades do interior do Amazonas tiveram crescimento populacional e da oferta de diversos serviços, ampliando necessidades do atendimento da mobilidade entre capital e o interior do estado, tanto dos oriundos das cidades como também daqueles que saem do seu local de origem para prestar serviço nessas cidades. Segundo o IBGE (2000), até a década de 1990, a taxa de urbanização era bem menor que a atual

e as atividades de trabalho mais concentradas no primário. No Censo de 1990 a população urbana do Amazonas era de 1.502.754, o que corresponde a uma taxa de urbanização de 71,45%, em 2000 aumentou para 2.107.222, correspondente a 74,92%, em 2010 progrediu para 2.755.490, correspondendo a 79,09% de sua população (IBGE, 2018). A relação entre a capital e o interior do estado ocorria em grande parte para o abastecimento mútuo com produtos agrícolas e industrializados, respectivamente, realizada por embarcações regionais de cargas e passageiros. A partir da década de 1990, houve considerável crescimento urbano na Amazônia remodelando cotidiano de vários lugares.

Esse crescimento na Amazônia acarretou diversas mudanças no tradicional padrão de vida regional, fazendo com que houvesse um remodelamento do panorama da distribuição população e mudanças em práticas cotidianas, onde novas práticas passaram a ser adotadas. Nesse sentido, houve crescimento na formalização de atividades relacionadas a vida urbana que cresceu na região e a articulação entre as cidades.

As transformações do transporte fluvial estão cada vez mais pautadas na ideia de velocidade. Tais medidas ocorreram, principalmente, no contexto da globalização, que tem como um de seus pilares a maior velocidade no transporte de cargas e passageiros. Esse processo incentivou a especialização do transporte de passageiros e a busca de constantes melhorias técnicas, objetivando dar maior velocidade à interligação entre as cidades da região, favorecendo a proliferação dos barcos Expressos em diversas rotas regionais que antes tinham o transporte misto como única opção.

Mais do que transportar, esses barcos representam as transformações ocorridas no espaço geográfico mundial e sua relação com a Amazônia, rivalizando-se com a tradicional maneira de transportar, que tinha a velocidade como fator secundário e qualidade como um aperitivo oferecido a poucos. O segmento Expresso tem se expandido para diversas outras, servindo de alternativa ao transporte de passageiros que têm no transporte fluvial a principal maneira de se movimentar entre diversos pontos da gigante Amazônia.



Figura 1: Expressos na balsa amarela, Manaus – AM, 2018

Fonte: Pesquisa de Campo, 2019.

Tal crescimento demonstra a transformação não apenas do transporte local, mas também de diversas relações sociais envolvidas no ato de transportar. Os Expressos passaram a ser importante alternativa de interligação mais veloz entre cidades. Esse crescimento está atrelado aos nichos deixados pelos outros modais¹ que não atendem à demanda da movimentação de passageiros de forma eficiente.

Nesse contexto, surgem os barcos Expressos, apostando na ideia da velocidade, do chegar mais rapidamente, procurando assim interligar de maneira mais veloz aqueles que viajam entre as cidades da Amazônia. Essas embarcações estão articuladas à movimentação das cidades da região e da distribuição dos serviços que precisam da rápida movimentação de pessoas, as quais são médicos, advogados, empresários, professores, comerciantes, funcionários públicos e, também, usuários diversos que não utilizam os Expressos com tanta frequência como os prestadores de serviços, mas os têm como opção quando necessitam chegar

¹ No caso do aéreo, pela falta de cobertura em diversas cidades, preço de passagens e ausência de estrutura aeroportuária; no rodoviário, devido à ausência ou precariedade de rodovias; no que tange o transporte fluvial misto regional de cargas e passageiros, por conta da dimensão e peso da embarcação as viagens se tornam mais demoradas já que a velocidade é mais lenta em comparação aos Expressos.

mais rapidamente. Esses barcos possuem rotas diárias e constantes que ocorrem majoritariamente de segunda a sábado, possibilitando a interligação entre Manaus e os moradores da região, fazendo parte do processo de mobilidade diária, daqueles que vêm à capital ou viajam entre cidades da Amazônia através desses barcos. São professores, vendedores, comerciantes e moradores da região metropolitana e de cidades mais distantes que necessitam se movimentar na região mais velozmente.

A velocidade e a mobilidade tornam-se essenciais ao processo, já que possibilitam o fluxo contínuo de pessoas, mercadorias e informações que, por sua vez, mantêm as estruturas físicas das cidades em pleno funcionamento. Cada lugar adota as mudanças de maneira diferenciada. De forma geral, essas ideias foram propagadas com mais intensidade a partir da década de 1980, no bojo de várias transformações políticas, sociais e econômicas que ocorreram no período, culminando no que Santos (1999) denomina de globalização.

Nesse sentido, mesmo à margem dos planejamentos estatais surgem os barcos Expressos que vêm dando um novo dinamismo à navegação regional, possibilitando que espaços distantes se interliguem mais rapidamente. Essa maneira de transportar, também, exerce influência na maneira com que as pessoas interagem no espaço, sendo resultantes do contexto social maior.

O nome Expresso ou Ajato apareceu devido à ideia de velocidade, visando demonstrar que o novo segmento teria como prioridade a rapidez e a velocidade. O primeiro a utilizar essa nomenclatura foi o Sr. Aguiar que, no final da década de 90, passou a realizar rotas frequentes com os Barcos Ajatos 2000 e 2001, a partir daí o que era o nome fantasia de uma empresa passou a ser a denominação de um segmento de embarcações rápidas na região.

Os proprietários dos Expressos iniciaram suas atividades no transporte fluvial regional com barcos de recreio e procuraram diversificar sua atuação no mercado regional, a partir da inserção de barcos no segmento com aumento da frota e ampliação da capacidade e velocidade da embarcação houve melhoria de gerenciamento e organização da distribuição das atividades das embarcações entre os membros da família.

Para Castells (2008), as empresas de diversos lugares tiveram seu surgimento a partir do contexto familiar, atrelado às relações sociais existentes em cada lugar, já que as “Formas de organização econômica não se desenvolvem em um vácuo social: estão enraizadas em culturas e instituições. Cada sociedade tende a gerar os próprios sistemas organizacionais” (CASTELLS, 2008, p. 233). Assim, “Equivale dizer que a “lógica de mercado” é mediada pelas organizações, cultura e instituições de maneira tão profunda que, se os agentes econômicos ousassem seguir uma lógica de mercado abstrata, ditadas pela ortodoxia da economia clássica, estariam perdidos” (Idem) já que “se adaptam socialmente aos mercados em que operam (Ibidem)”. Assim, não é incomum no capitalismo moderno o crescimento de determinados segmentos a partir da organização familiar. Com a prosperidade do empreendimento, geralmente, iniciado por um dos membros da família, os filhos e outros parentes vão se agregando ao projeto. Assim, mesmo com a expansão e o aumento da organicidade empresarial entre os proprietários do segmento Expresso, a raiz do empreendimento é familiar, fazendo parte da administração e da atuação diária membros da família do armador.

As inovações no transporte fluvial amazônico, buscando maior velocidade, intensificaram-se a partir da década de 1990. Buscando adequar-se às mudanças econômicas e sociais que o Brasil vivenciava no período, ecoaram em diversas partes do território aliadas à ampliação dos meios de comunicações. Dessa forma, a Amazônia não se transforma de forma isolada, mas sob a égide das mudanças sociais que ocorreram durante o final do século XX e continuam a influenciar as relações na região.

No intuito de transportar de maneira mais veloz, o transporte regional transforma-se para dar viabilidade à fluidez de pessoas e mercadorias. Apesar das ações estatais poderem contribuir para fomentar o investimento em mobilidade, possibilitando melhorias e investimento em infraestrutura de transporte, no Amazonas, elas se deram modestamente. Majoritariamente, as ações de melhorias nas embarcações foram implementadas pela iniciativa dos armadores da região.

No Amazonas, as inovações no transporte fluvial, relacionadas à velocidade das viagens a partir da utilização dos

Expressos, ocorreram praticamente sem fomentos governamentais. As interferências no transporte local e as melhorias nas embarcações tiveram o protagonismo dos entes regionais, gerando modernização e a busca por aprimoramentos técnicos, procurando atender demandas de mercado na escala regional. Visando a atender essa demanda e interligar de maneira mais eficaz as cidades, cresceu o investimento em transporte fluvial na região. Mesmo alijado de investimentos estatais em diversas rotas, há investimento entre os armadores da região para que o mesmo esteja enquadrado ao processo dinâmico regional-global, visto que as relações sociais não ocorrem de forma isolada no espaço amazônico, e o transporte torna-se importante vetor desse processo.

A mobilidade na Amazônia foi diretamente afetada pela dinâmica capitalista mundial, gerando maior busca pela velocidade entre os armadores regionais através das embarcações do tipo Ajato, tornando a interligação mais rápida entre áreas da Amazônia, e para que isso fosse alcançado à navegação regional fluvial passou por profundas adequações, pois o transporte misto de cargas e passageiros possui limitações relacionadas a esse contexto.

Visando a tornar as embarcações mais velozes, os armadores passaram a investir na motorização da embarcação. No caso dos Expressos, os motores variam entre 350 e 600 HP. Esses motores têm alto valor de mercado e exigem altos investimentos para os armadores locais. Dentre os motores mais utilizados pelos armadores regionais, podemos destacar as marcas Scania e Volvo de origem Sueca e Yamaha de origem japonesa. Esses motores chegam à região através de importadores locais. Sua compra é realizada pelos armadores, já que não há linha de crédito específica para a compra desse tipo de equipamento.

Tal transformação no transporte fluvial regional não pode ser desvinculada das mudanças sociais que ocorriam na Amazônia e no Brasil, alicerçadas no processo de abertura econômica e transformações políticas que a América Latina se inseria a partir da década de 1990, onde diversos lugares se inseririam de maneira mais efetiva no que Santos (1999) denomina de meio técnico-científico-informacional.

Para viabilizar e difundir o processo houve à propagação de ideias que se confrontavam com as tradicionais maneiras de

pensar em diversos lugares, sendo viabilizado por meio de meios de comunicação de massa e pelo crescimento da internet que favoreceu a interação cultural entre países. Na Amazônia, essa visão passa a fazer parte do cenário regional de forma mais efetiva a partir da década de 1990, afetando as práticas do transporte fluvial, que se torna meio da propagação da velocidade nas relações comerciais e no fluxo entre pessoas na região a partir dos barcos Expressos.

As transformações no transporte regional, até a década de 1990, estavam relacionadas, principalmente, ao transporte de cargas dos produtos que serviriam à Zona Franca abastecendo as indústrias e com forte participação do Estado, através de incentivos fiscais e atuação de empresas privadas. Já o transporte regional misto de cargas e passageiros, adequava-se às leis do mercado através da demanda regional, pujante em algumas calhas e de fraca movimentação em outras. Essa diferenciação contribui diretamente na qualidade do serviço ofertado e na quantidade de embarcações que navegam nas diferentes calhas.

Em algumas rotas, ampliou-se a velocidade das articulações a partir do transporte específico de passageiros através dos Barcos Expressos. Esses barcos fazem parte de transformações que vão além do transporte, e acabam impactando o cotidiano das populações das cidades da região. No Amazonas, esse processo inicia-se favorecendo a interligação da capital Manaus em direção a diversos municípios do estado e, posteriormente, expande-se para a interligação entre cidades de diversas partes da região.

Desde a inutilização dos barcos da ENASA, o transporte de passageiros na Amazônia é realizado, principalmente, por armadores regionais, praticamente sem atuação nenhuma e incentivos do estado, geralmente, responsáveis pela construção dos seus barcos, arcando com os custos da construção de suas embarcações em estaleiros regionais, terceirizados ou de sua propriedade.

Essas embarcações que iniciaram suas atividades interligando a capital ao Município de Iranduba, no sistema de travessia a partir do Porto do São Raimundo, expandiram-se e intensificaram suas atividades entre diversos municípios do Amazonas, transportando de maneira mais veloz passageiros ao seu destino.

Seu funcionamento ocorre no contexto do “livre mercado

regional” através da proliferação em diversas cidades. Não há nenhum fator que impossibilite a inserção de embarcação nas rotas regionais, desde que ela esteja cadastrada e licenciada na Capitania dos Portos. Assim, a acomodação no mercado é realizada principalmente a partir da demanda. Caso não haja sucesso no trecho, o armador pode migrar para outra rota.

Nos últimos anos, o transporte fluvial na Amazônia tem sofrido processo de modernização e aprimoramentos técnicos, o que tem ocasionado redução na duração das viagens. Vários percursos tiveram brusca redução na duração do tempo de viagem a partir implantação dos barcos Expressos. Estes barcos funcionam com motores potentes, são leves e velozes e a maioria navega com pontos pré-estabelecidos de parada. Diferenciando-se do transporte fluvial tradicional misto, que possui embarcações maiores e mais pesadas e tempo de viagem bastante superior ao dos Expressos, já que esse último é primordialmente produzido no intuito de transportar passageiros.

No Amazonas, o surgimento desse segmento de transporte se deu a partir do aprimoramento do transporte misto, onde atuavam os pioneiros desse segmento. Essas mudanças estão articuladas com a forma como utilizavam novas tecnologias na navegação regional, que se intensificaram a partir da década de 90, culminando na busca do aumento de velocidade no transporte fluvial, objetivando chegar ao destino em menor tempo.

Como precursor desse processo no Amazonas, pode-se apontar o Sr. Aguiar, por meio do barco chamado Neblina, que em 1995, iniciou o transporte específico de passageiros com motorização semelhante às embarcações mistas. Mesmo sem rota específica, o barco foi construído em madeira e tinha como intuito principal o transporte de passageiros. Sua principal diferença em relação aos outros barcos era a velocidade, bastante superior às embarcações de transporte misto no período.

Para que isso ocorresse e o barco realizasse seu trajeto num tempo menor, teve-se a ideia de colocar um motor a diesel, que é um motor de força, usado principalmente em barcos de maior porte e em barcos de menor porte, priorizando o transporte específico de passageiros. Estes motores eram comumente usados

em embarcações mais pesadas que transportavam passageiros e mercadorias e ao serem utilizados em um barco de menor e mais leve, proporcionou enorme ganho de velocidade.

A difusão dessas embarcações como rota fixa intensificava-se, principalmente, na travessia entre Manaus e Cacau-Pirêra, comunidade localizada na margem direita do Rio Negro. A travessia ocorria a partir do porto do São Raimundo através de embarcações de transporte misto, até que os barcos de propriedade do Sr. Aguiar passaram a realizar a interligação priorizando o transporte de passageiros, dotando de motores com capacidade superior a 250HP.

A partir dessas embarcações, houve gradativa ampliação de barcos específicos para o transporte de passageiros em Manaus. Depois do barco Neblina, foi fabricado o Ajato III pelo Sr. Aguiar, com maior motor e capacidade de passageiros. Feito de alumínio, esse barco iniciou suas rotas em 1996, interligando Manaus à comunidade do Cacau-Pirêra. Até o fim da década de 1990, o transporte de passageiros no Amazonas era realizado em sua quase totalidade pelas embarcações mistas. Iniciava-se, nesse momento, a implementação dos barcos Expressos no transporte regional, como demonstração da mudança na maneira de transportar a nomenclatura das embarcações passam a ocorrer com a ideia de velocidade, como por exemplo, Ajato, Trovão, Relâmpago, The Flash, e também com o nome Expresso, precedendo o nome dos proprietários ou dos filhos, que comumente têm seus nomes colocados nas embarcações (DAVID, 2019).

A partir de 1996, propaga-se ao interior do Estado, com a construção, em Itacoatiara, do barco Dona Rosa, de propriedade do Sr. José Holanda, que desde jovem atuava no segmento fluvial. José Holanda passou a transportar passageiros de forma específica a partir da cidade de Itacoatiara, tornando-a centro de difusão de barcos do tipo Expresso para cidades do seu entorno: Urucurituba, São Sebastião do Uatumã e Urucará, viabilizando maior fluidez na integração entre essas cidades. Assim, inaugura-se a atuação do segmento Expresso, fora da capital e favorecendo a descentralização de transporte fluvial a partir de Itacoatiara.

A atuação dos Expressos no Porto de Manaus ampliou-se a partir do ano de 1999, já que antes desse período as embarcações

exclusivas para o transporte de passageiros tinham como principal finalidade o frete, não ligando pontos específicos ou atuando exclusivamente realizando a travessia entre Manaus e o Município do Careiro da Várzea, em embarcações com capacidade média de trinta passageiros.

Procurando aprimorar suas atividades no segmento e alcançar cidades mais distantes, o Sr. Aguiar passa a realizar viagens no Ajato 2000 para Parintins-AM, revolucionando o mercado regional de transporte de passageiros no período. Essa viagem era uma das viagens interestaduais (ou intermunicipais) de maior demanda fluvial, sendo realizada nos barcos tradicionais em aproximadamente 48 horas, com o Expresso passou a ser realizadas em 15 horas. Vale ressaltar que, ele é quem projeta suas lanchas e as de outros armadores da região.

Após a rota Manaus-Parintins, realizada pelo barco Ajato 2000, foi ampliado o transporte por Expressos em viagens intermunicipais, com o trecho Manaus-Tefé através do Ajato 2001, também, de propriedade do Sr. Aguiar, com paradas nas cidades de Codajás e Coari, reduzindo o tempo de viagem fluvial entre Manaus e Tefé de 36 horas para 12 horas. A procura dos viajantes por embarcações do segmento foi ganhando consistência, viabilizando a ampliação para outras rotas, não só a partir de Manaus, como também de outras cidades, havendo assim, grande avanço dessa modalidade na Amazônia.

Os Expressos materializam a velocidade como fundamental para o transporte fluvial regional. Visando o aumento da velocidade, houve aumento da potência na motorização, aliada à maior leveza da embarcação, transportando somente passageiros e pequenas encomendas. Com isso, o tempo de viagem foi reduzido substancialmente, rivalizando com a tradicional forma de transportar, onde a carga tem grande importância para a manutenção dos custos da embarcação.

Apesar de os Expressos se apresentarem menores em relação à dimensão do transporte fluvial misto, seu custo de construção pode ser tão elevado quanto, pois, além de sua motorização se assemelhar à das embarcações mistas, o investimento em tecnologia para a navegação e, também, para a acomodação e entretenimento

dos passageiros, como é o caso de poltronas, ar-condicionados e televisores. Por outro lado, há redução no custo de alimentação, pois a viagem mais rápida reduz quantidade de alimentos utilizados.

A velocidade é o principal elemento de diferenciação entre os Expressos e os barcos tradicionais, que são bem menos velozes por conta do tamanho e do peso da embarcação. Estes barcos geralmente atrasam suas viagens, pois o transporte cargas e passageiros requer maior tempo na área portuária para que a carga seja embarcada; também, viajam mais pesados, colocando em risco, em casos extremos, a segurança dos passageiros, e estando mais sujeito a imprevisibilidades. Verifica-se, assim, que a especialização no empreendimento favorece sua qualidade e expansão para diversas partes da região, pois há contínuo investimento e melhoria na prestação do serviço.



Figura 2: Barco Ajato 2000, Manaus – AM, 2019

Fonte: Pesquisa de Campo, 2019.

A demanda de passageiros modifica-se a partir da rota e cabe ao proprietário interferir em decisões de cunho técnico, referentes ao dimensionamento da embarcação e que motor será utilizado, arqueamento, capacidade de passageiros, tipos de poltronas e itens eletrônicos. Não existe nenhuma padronização específica para a construção de Expressos. Dependendo da capacidade financeira do armador a embarcação pode ter um porte maior ou menor, não há regulação alguma, referente à capacidade, rotas, frequência. A normatização da Marinha do Brasil verifica critérios apenas quanto às questões de segurança e lotação.

No início da implementação dos barcos Expressos apenas os armadores idealizadores detinham o conhecimento da construção deles, que foram adquirindo a partir de um saber experimental, aliando seus conhecimentos sobre construção de embarcações tradicionais à utilização de outras tecnologias e materiais, buscando com resultado uma embarcação mais leve, voltada ao transporte de passageiros. Com o passar dos anos, no entanto, a construção das embarcações deixou de ser exclusividade dos pioneiros, sendo fabricada por pequenos e grandes estaleiros regionais, já que diversas pessoas atuam no ramo da construção fluvial do segmento, favorecendo a sua utilização em outras partes da Amazônia.

Compreender a distribuição dessas embarcações, também, nos remete à organização da rede fluvial na Amazônia, que teve transformações na velocidade de transporte e na interligação entre as cidades, que sofreram adequações infraestruturais em diferentes aspectos, agindo dialeticamente com as transformações sociais e a dinâmica econômica da região.

Pode-se definir as embarcações do tipo Expresso como as que possuem como objetivo principal o transporte de passageiros, geralmente, com capacidade de transporte acima de vinte pessoas, as bagagens levadas por eles são, principalmente, de cunho pessoal, a acomodação é feita em poltronas e sua matéria-prima básica de construção é o alumínio. Os Expressos são utilizados para distintas finalidades. Dentre elas podemos destacar:

- a) Os que realizam o transporte de travessia, a exemplo do que ocorre no Porto da Ceasa, interligando a cidade de Manaus ao

município do Careiro da Várzea, geralmente têm capacidade média de 20 a 40 passageiros, seus armadores possuem capacidade e investimentos menores do que aqueles que interligam Manaus a outras cidades do Amazonas.

- b) Embarcações que interligam cidades no transporte interestadual e intermunicipal: são os que possuem maior capacidade de passageiros e têm elevado custo de construção das embarcações, possuem motores mais potentes e maiores investimentos no conforto da embarcação, na capital do Amazonas utilizam as balsas da Manaus Moderna como ponto de embarque e desembarque, interligando Manaus a diversos municípios do estado.
- c) Expressos disponíveis para frete e para substituição de embarcações em manutenção: existem barcos que não possuem rotas específicas, cujo principal objetivo é realizar fretes para empresas, prefeituras, ONGS, etc. Além disso, utilizam a embarcação como suporte no período de manutenção das outras lanchas, ou para utilização dela quando houver demanda para atuação de duas rotas no mesmo trecho.

A velocidade contida no segmento Expresso foi materializada na crescente construção de embarcações. A intensa procura dos passageiros manteve a viabilidade do empreendimento e a boa rentabilidade do negócio, propiciando a expansão para outras rotas mais distantes.

Não há regulamentação específica para organização de rotas e estabelecimento de preços, os quais se definem no que denominamos autorregulamentação do transporte no Amazonas. A demanda de serviços é definida pela influência do mercado regional e sua dinâmica, que ditam o ritmo do preço das passagens e da distribuição das embarcações entre as diversas rotas do Amazonas, que apresentam diferenças internas no que se refere à quantidade e qualidade das embarcações que ofertam o serviço.

O desafio de interligar as cidades da Amazônia sempre esteve ligado ao processo de desenvolvimento da região. A partir do século XX, intensificou-se o processo de interligação das cidades da região ligando os objetivos maiores, como por exemplo, a utilização dos produtos regionais e os grandes projetos propostos pelo Governo Federal.

Dos diversos segmentos que sofreram transformações na região, podemos destacar a forma de transportar. No que tange ao transporte de passageiros, prioritariamente, era seguido um regime regional numa temporalidade que não se padronizava com os acontecimentos do mundo globalizado. Isso se demonstrava pela velocidade e a maneira como as pessoas predominantemente viajavam. De barcos regionais, a viagem entre Manaus e Belém, as duas maiores capitais da Amazônia, durava aproximadamente seis dias; o passageiro tinha duas opções de acomodação, a rede de dormir ou o camarote que, além de ser mais caro, existe em menor quantidade nos tradicionais barcos regionais.

A partir do século XXI, o transporte aéreo se expande em várias partes do Brasil, intensificando o aumento da cobertura de sua malha, tornando-se opção entre cidades que anteriormente eram atendidas somente por embarcações. Esse fato ocasionou maior acesso às viagens aéreas entre cidades da Amazônia, algumas que apresentavam quase que exclusividade do transporte fluvial. Tal situação trouxe novos desafios à navegação intermunicipal e interestadual de passageiros em alguns trechos, que teve interferência na sua demanda, devido ao crescimento da oferta das viagens aéreas.

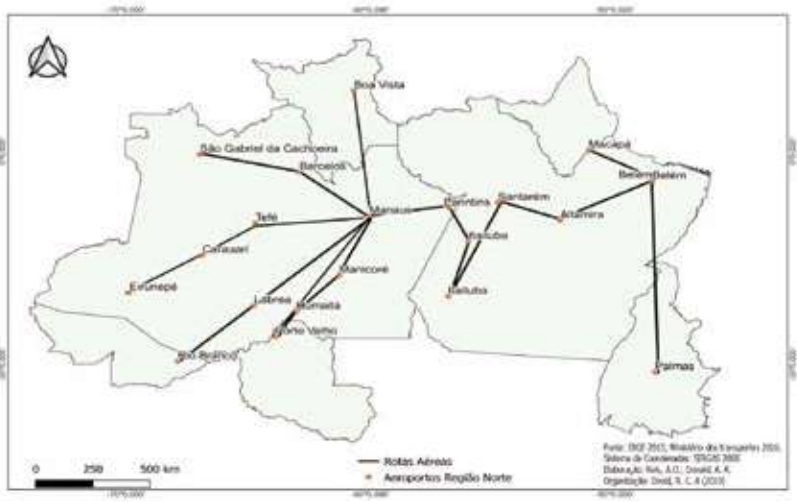


Figura 3: Malha aérea entre principais cidades da Amazônia, 22/03/2019
 Fonte: André Reis (colaborador) e Robert David (Organização).

No entanto, a maioria das cidades da região não possuem estrutura aeroportuária para operar voos comerciais frequentes. Aliado a isso, os valores praticados pelas companhias aéreas podem se apresentar com valor bem mais elevado que os dos barcos, além de terem pontos de parada bastante restritos na rede aérea regional, se comparados com as paradas realizadas na navegação fluvial. Na viagem entre Manaus e Tabatinga, por exemplo, os aviões quando realizam escala, param apenas em Tefé, enquanto que nas viagens de barco, as paradas ocorrem em quase todas as cidades na rota (Codajás, Coari, Tefé, Alvarães, Fonte Boa, Jutai, Tonantins, Santo Antônio do Iça, Amaturá, São Paulo de Olivença, Benjamin Constant e Tabatinga). Assim, mesmo com a entrada dos aviões na concorrência, em alguns trechos as embarcações ainda se apresentam como fundamentais para a interligação na maioria das rotas regionais.

Apesar de terem tempo de viagem superior ao das viagens aéreas, os Expressos se apresentam como alternativa aos padrões de velocidade, pois reduziram bastante o tempo de viagem em relação às embarcações tradicionais. Além disso, os preços praticados por essas lanchas não oscilam como o preço dos aviões. Excetuando-se o trecho entre Manaus e Santarém, onde as viagens frequentes entre as duas cidades se realizam através, principalmente, de transporte regional misto e aviões, nas outras rotas cresceu a presença de Expressos.

As passagens aéreas podem apresentar preços mais atraentes que dos Expressos em alguns trechos, mas isto depende do período do ano e da procura das viagens para cada município. Dessa forma, os preços das passagens aéreas nesses trechos são sazonais e, na maioria das vezes, caso as passagens não sejam compradas com antecedência, os preços tornam-se elevados. Já os barcos Expressos não estão sujeitos a diversas sazonalidades como ocorre na aviação, apesar de algumas embarcações ajustarem preços em datas comemorativas como o período do Natal, por exemplo. Em geral, o transporte fluvial sofre poucas variações ao longo do ano, não encarecendo o preço, mesmo que a passagem seja comprada com poucos dias de antecedência.

Com o passar dos anos, novas técnicas foram introduzidas à navegação fluvial regional, atreladas às transformações ocorridas no espaço, como foi o caso da utilização de motores mais potentes e objetos tecnológicos que passaram a fazer parte do navegar cotidiano

do homem amazônico. Estas mudanças tornaram o transporte mais dinâmico através de uma cadeia de relações.

O transporte fluvial regional passa a se adequar aos novos ditames do mercado que impõe mudanças concernentes ao tempo e à velocidade. O espaço amazônico não é o mesmo, e nem suas embarcações, que passam a assumir características voltadas à economia de mercado. Neste processo de adequação, alguns armadores não conseguem acompanhar a dinâmica do mercado, seja pela ausência de capital, pela concorrência na rota praticada ou até a dificuldade de acesso aos sistemas de crédito estabelecidos pelo mercado, não havendo, dessa maneira, uma uniformidade no transporte fluvial regional.

Assim, embarcações tradicionais passaram gradativamente a se estabelecer como empresas, visando a aumentar a competitividade, aprimorando diversos equipamentos e adotando novas técnicas. No entanto, mesmo com as mudanças, não há um abandono total do saber local, sendo possível, em alguns casos, perceber a adequação de formas tradicionais de transportar com novas formas.

Objetivando atender à demanda do mercado regional, a partir da década de 90, alguns armadores passam a empreender esforços à construção de embarcações mais velozes, voltadas ao transporte de passageiros. Hoje, estão presentes em diversos municípios do Amazonas, esses barcos conhecidos como Expressos ou Ajatos, que reestruturaram o transporte local, adequando o transporte regional ao contexto do meio técnico-científico-informacional.

Com o objetivo de intensificar a fluidez entre os mercados das diversas regiões do planeta, uma busca incessante por melhorias no campo técnico se faz presente. Na Amazônia, ocorreram diversas transformações que demonstram sua maior inserção nos moldes do sistema econômico capitalista, tais transformações podem ser reveladas através do transporte fluvial regional que vem passando por profundas mudanças no âmbito técnico, intensificadas a partir da implementação do segmento fluvial Expresso. Cumpre ressaltar que esse processo está em pleno curso, sendo a penetração dessas novas práticas dependentes da aceitação dos sujeitos e das dinâmicas locais. Assim sendo, é imposto pela natureza do objeto pesquisado constante articulação entre o global e o local.

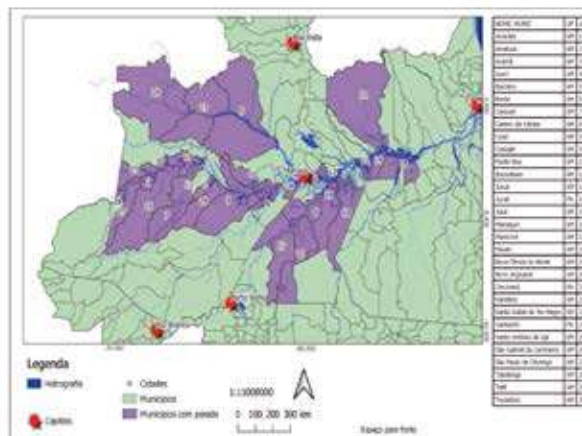


Figura 4: Mapa de cidades onde circulam Expresso no Amazonas, 2018
Fonte: André Reis(colaborador) e Robert David (Organização), 2018.

Apesar das lanchas possuírem dimensões menores que as dos barcos de transporte misto com semelhante capacidade de passageiros, a motorização se dá através de motores a diesel de capacidades semelhantes ou superiores aos utilizados pelos barcos de transporte misto. Alguns Expressos, inclusive, visando ao ganho de velocidade, trabalham com dois motores. Assim, o investimento no motor é primordial para o alcance da velocidade desejada, pois seu valor é de grande influência no custo final da embarcação, além de contribuir bastante para o valor de manutenção dela.

O custo de construção das embarcações do tipo Expresso varia bastante, em função, principalmente, da dimensão e do material utilizado em sua produção. Além disso, em algumas dessas lanchas, são instalados condicionadores de ar, televisores e outros equipamentos para entretenimento e conforto dos passageiros, elevando o valor final da embarcação e, por consequência, da passagem que será cobrada.

Os motores variam bastante de valor a partir da sua potência. Os motores mais utilizados nos Expressos são os fabricados pela Scannia, Yanmar. Os principais distribuidores da região são as empresas Supermaq (Scannia) e Motor Norte (Yanmar). Além do motor, o “casco”, também, tem grande importância e utiliza o

alumínio como elemento principal. Outros equipamentos, também, influenciam consideravelmente no valor da embarcação, como poltronas, condicionadores de ar e outros equipamentos eletrônicos.



Figura 5: Equipamentos de motorização de lancha expresso no Amazonas, 2018

Fonte: Pesquisa de Campo, 2018.

Além da motorização, nesses barcos há elevado investimento em conforto do passageiro. Vários são climatizados e apresentam bancos acolchoados, visando a tornar a estadia do passageiro mais confortável ao decorrer da viagem. O investimento em conforto, que acarreta importante percentual no custo de construção da embarcação, tem a finalidade de atender melhor os passageiros dos Expressos, pois podem passar mais de um dia navegando, como é o caso dos que realizam viagem com o destino final para Tabatinga que tem duração de 36 horas.

A concomitância no mesmo horário ou dia de partida amplia-se a partir do distanciamento do diálogo entre os armadores, que nesse caso são de balsas diferentes. Apesar da competição entre as embarcações, a diferença de preço é relativamente baixa, se dando principalmente pela qualidade dos serviços de transporte oferecidos, atendimento, condições físicas da embarcação, conforto, alimentação e entretenimento.

Internamente, as lanchas vêm obtendo vários ganhos no que se refere às melhorias de conforto e entretenimento durante as viagens, que variam a partir de fatores como: preço de passagem, duração da viagem, dinamicidade da calha e capitalização dos



Figura 6: Lanchas que fazem o trecho Manaus – Parintins-AM, 2018
Fonte: Pesquisa de Campo, 2018.

40

proprietários. Para Tabatinga, por exemplo, a partir de Manaus a viagem pode ocorrer em 34 horas, diferente dos barcos tradicionais onde as viagens são realizadas em redes de dormir, que para muitos é um fator que “abrevia o tempo”. No Expresso o passageiro acomoda-se em poltronas. Nesse caso, as embarcações procuram gerar maior conforto com maior número de entretenimento possível. Assim, podemos dizer que os fatores - velocidade e tempo - passam a ser os principais itens que definem a concorrência nesta atividade, visto que a variação de preço entre as embarcações é muito pequena.



Figura 7: Lancha, sem climatização, Manaus – AM, 2018
Fonte: Pesquisa de Campo, 2018.



Figura 8: Lancha Missone, Iranduba – AM, 2019

Fonte: Pesquisa de Campo, 2019.

As lanchas apresentam diferenças internas quanto à questão do investimento em conforto. Essa prática está relacionada à movimentação econômica de cada lancha, já que algumas rotas apresentam passageiros mais capitalizados, dispostos a pagar mais caro pelo conforto oferecido.

Enquanto isso, outros trechos apresentam maiores dificuldades relacionadas à renda daqueles que utilizam o transporte, obtendo lanchas com acomodações mais modestas, demonstrando que não há padronização quanto ao investimento interno da lancha, e que este está diretamente relacionado ao capital do armador e ao poder aquisitivo dos passageiros do trecho. Vale ressaltar que algumas embarcações, mesmo sem estarem nas principais rotas, investem em conforto, buscando aumentar o número de passageiros como ocorre em embarcações do Careiro da Várzea e Manaquiri, cobrando o mesmo preço das embarcações de qualidade inferior

Independente das diferenças de motorização e design entre as lanchas, todas têm um objetivo comum, que é o de interligar de maneira mais veloz diversos pontos da região, sejam comunidades, cidades no mesmo estado ou em outros estados da região. Os

Expressos têm cumprido essa missão fundamental de conectar diversos pontos da Amazônia mais velozmente, oferecendo àqueles que podem pagar pelo serviço uma opção de mobilidade, que em alguns lugares pode ser a única, inclusive, enquanto em outras faz parte da convivência entre a tradicional maneira de transportar e o modelo novo. Esse novo segmento apresenta preços diferenciados do tradicional, demonstrando que a velocidade não é para todos, mas para aqueles que podem pagar ou precisam fazer um esforço financeiro para chegar mais rápido ao seu destino.

Os Expressos não materializam apenas a ideia de que a redução do tempo de viagem está relacionada ao aumento do acúmulo financeiro, mas que a diminuição de tempo de viagens pode favorecer o gasto do tempo em outras relações, viabilizando o maior usufruto da vida. Segundo José Aguiar, pioneiro no segmento, “tempo é vida” e quanto menor tempo de deslocamento houver na região, mais as pessoas vão poder utilizá-lo à sua maneira.

3. CONCLUSÕES

Na Amazônia, bem como em diversos lugares, as transformações da sociedade podem ser evidenciadas através de materializações, que evidenciam as ações do tempo no espaço. O transporte fluvial, por exemplo, sempre fez parte desse processo. Com a economia gomífera, por exemplo, diversas novas técnicas passaram a fazer parte do cotidiano regional, sendo introduzidas ao saber local e passando a fazer parte dele. Mais recentemente, os Barcos Expressos, também, demonstram esse caráter interligado das regiões que passam a absorver padrões que anteriormente não existiam. Entretanto, sem abandonar totalmente suas práticas tradicionais.

Movimentar-se mais rapidamente permite que o tempo seja utilizado com outras atividades no cotidiano. No Amazonas, essa movimentação mais rápida é realizada por meio dos Expressos. Diferentemente de outras localidades, onde o transporte se desenvolveu controlado por empresas e grupos alheios ao saber local, o Expresso foi idealizado por empreendedores da região, que desenvolveram e aprimoraram as embarcações, na busca

incessante de interligar cidades de maneira mais rápida, com isso, reorganizando a mobilidade no estado, uma vez que há toda uma estrutura de venda e transporte, objetivando a movimentação de barcos do segmento Expresso.

Mesmo com diferenças de investimento e capitalização dos armadores do segmento Expresso, o que reflete em diferenças entre as lanchas, o segmento se estabeleceu no Amazonas, compreendendo a interligação entre as principais cidades do estado, interligando comunidades, sendo a velocidade a primazia do Expresso e seu fator diferenciador no mercado regional.

O investimento em motorização, conforto e pontualidade são fatores que podem definir a escolha entre barcos que atuam na mesma rota, já que transportar mais rápido e com qualidade, representa estar na frente dos demais concorrentes. Há uma busca constante pelo aprimoramento técnico e melhorias nas embarcações. Mesmo concorrendo entre si, existe cooperação técnica entre armadores, que trocam informações sobre motorização, construção e manutenção do empreendimento.

Apesar da importância dos pioneiros no segmento e seus familiares, novos armadores têm adentrado em rotas anteriormente realizadas apenas por tradicionais armadores da região. Esses novos armadores são provenientes de outros ramos de atividade e veem no transporte fluvial possibilidade de novos ganhos, trazendo um caráter mais formal e menos familiar ao segmento.

O crescimento do Expresso não representa que outras formas tradicionais de transporte desaparecerão, mas que há uma dinâmica intensa no transporte fluvial local que varia a partir das calhas. No eixo Solimões-Amazonas, entre Manaus, Tabatinga, Manaus e Parintins há procura é maior e constante pelas viagens em todos os dias da semana, já com uma demanda consolidada nos trechos. Em rotas fora do Eixo Amazonas-Solimões, como no Rio Negro e Madeira, o crescimento das viagens regulares, também, tem ocorrido nos últimos anos com lanchas cada vez maiores e confortáveis. Em destinos mais próximos a capital, que compreendem cidades e comunidades, os Expressos são amplamente utilizados, sendo em várias delas o principal meio de interligação entre um ponto e outro.

Agradecimentos

Parte significativa dessa pesquisa foi ancorada nos dados e aprendizados obtidos a partir da tese de doutorado do autor deste artigo, intitulada “Esse rio é minha rua: perspectivas para o transporte fluvial no Amazonas”. Nesse período, o autor teve o privilégio de ser orientado pelo Professor José Aldemir de Oliveira que após dura baralha contra o câncer veio a falecer. Professor Aldemir foi brilhante em sua carreira acadêmica, publicando diversas obras que são de grande serventia aqueles que desejam navegar nesse oceano de conhecimentos que é a Amazônia. Assim, fica aqui o reconhecimento e agradecimento ao amazonense que de maneira poética e realista deixou um importante legado de conhecimentos sobre os rios, cidades e florestas da região.

REFERÊNCIAS

- AMAZONAS - CODEAMA (1982). *Amazonas: diagnóstico do transporte fluvial*. Manaus.
- BASTOS, A. C. T. (1975). *O Vale do Amazonas*. Brasília: Nacional.
- BECKER, B. (2013). *A urbe amazônica: a floresta e a cidade*. Rio de Janeiro: Garamond.
- BEY, J. M. P. e PONS, J. M. S. (1999). *Geografía de redes y sistemas de transporte*. Madrid: Sintesis.
- CARRETEIRO, R. (1987). *A navegação na Amazônia*. Manaus: Ed. Calderaro.
- CASTELLS, M. (1999). *A Sociedade em Rede*. São Paulo: Paz e Terra.
- CORRÊA, R. L. (2006). *Estudos sobre a rede urbana*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.
- DAVID, R. (2019). *Esse rio é minha rua: perspectivas para o transporte fluvial na Amazônia*. Manaus: UFAM.
- FIGUEIREDO, N. (1982). Transporte fluvial de passageiros de baixa renda na Amazônia. *Revista Portos e Navios*. Rio de Janeiro.
- FRAZÃO, E. M. (1982). Transporte de passageiros na Amazônia; In: *I Encontro Sobre Navegação Fluvial na Amazônia*. Manaus: ENASA.
- HARVEY, D. (2014). *Cidades rebeldes: do direito à cidade à revolução urbana*. São Paulo: Martins Fontes.
- MORAES, R. (1960). *Na planície Amazônica*. Rio de Janeiro: Conquista.
- MUXI, Z. (2004). *La arquitectura de la ciudad global*. Barcelona: Ed. Gustavo Gil.

- NAZARÉ, R. (1993). *Economia e Política do Transporte Fluvial*. Belém: Salesiana.
- NAZARÉ, R. (1989). *O Complexo Amazônico e sua Navegação Interior*. Belém: CEJUP.
- NOGUEIRA, R. J. B. (1999). *Amazonas um Estado ribeirinho*. Manaus: EDUA.
- OLIVEIRA, J. A. (1997). *Cidades na Selva*. Manaus: EDUA.
- TOCANTINS, L. (1984). *Amazônia: Natureza, homem e tempo*. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira.
- TOCANTINS, L. (1985). *O rio comanda a vida: uma interpretação da Amazônia*. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira.
- VIRILIO, P. (1996). *A arte do motor*. São Paulo: Estação Liberdade.

Endereço para correspondência:

- (1) David, Robert Carvalho de Azevedo. Av. General Rodrigo Octavio Jordão Ramos, 1200 - Coroado I, Manaus - AM, 69067-005, robert.carvalhodavid@gmail.com.
- (1) Universidade Federal do Amazonas - UFAM

DIAGNOSIS OF THE POTENTIAL FOR BRASILIAN SOYBEAN FLOW THROUGH PORTS IN THE PARA STATE: A BIBLIOGRAPHIC AND DOCUMENTARY ANALYSIS

*DIAGNÓSTICO DO POTENCIAL PARA ESCOAMENTO
DA SOJA BRASILEIRA ATRAVÉS DE PORTOS NO
ESTADO DO PARÁ: UMA ANÁLISE BIBLIOGRÁFICA
E DOCUMENTAL*

MELO, A. C. S¹; VIEIRA, A.T. S²; CORDEIRO, B. A. F³
(1;2;3) Universidade do Estado do Pará

ABSTRACT

With increases in grain harvests in 2015, which reached 209 million tons, 8.2% above the previous harvest, and the high export rate, sufficient to balance the drop of grain prices in the same year, it is notorious that agribusiness growth in Brazil comes against the current context of economic and political crisis in the country. In this sense, the present article addressed the relationship between the growth in the production of one of the most profitable commodities in Brazil, soybean, and its logistical impacts in the current export infrastructure, also considering new possibilities for the export of these grains through the north region gates of Brazil. The research was discussed focusing on the possibility of transferring part of the soybean export demand from the southeast and south regions, currently operating with overload of its port capacity, to the north region, seeking to reduce costs, improve the quality of transportation and expansion of export capacity. A bibliographic survey was conducted to characterize the growth of commodity production in Brazil and the imbalance of the transport matrix for export, relating the excess of demand of Santos and Paranaguá to the current operational bottlenecks and analyzing the North Arc as a new option for grain exports. In addition, through a qualitative analysis, a diagnosis of the ports of Pará with the potential to

surplus soybean demand was conducted. The results showed the current operational context of the north and northern ports of Brazil, the main opportunities for commodities outflow and the major infrastructure bottlenecks that the region faces in order to expand its capacity and meet the high demand.

Keywords: Soybean. Outflow. Export. Ports. Logistic cost.

RESUMO

Com os aumentos das safras de grãos, em 2015, que chegaram a 209 milhões de toneladas, 8,2% acima da safra anterior e do elevado índice de exportação, suficiente para neutralizar a queda nos preços desses grãos, no mesmo ano, é notório que crescimento do agronegócio no Brasil vem na contramão do atual contexto de crise econômica e política no país. Neste sentido, o presente artigo abordou a relação entre o crescimento na produção de uma das commodities mais rentáveis do Brasil, a soja, e seus impactos logísticos na atual infraestrutura de exportação, considerando ainda novas possibilidades de escoamento para exportação desses grãos pela região norte do país. A pesquisa foi discutida com foco na possibilidade de transferir parte da demanda de exportação de soja das regiões sudeste e sul, atualmente operando com sobrecarga de sua capacidade portuária, para a região norte, em busca de redução de custos, melhoria da qualidade do transporte e ampliação de capacidade de exportação. Para tal considerou-se um levantamento bibliográfico para caracterizar o crescimento da produção de commodities no Brasil e o desequilíbrio da matriz de transporte para exportação, relacionando-se o excesso de demanda para os portos de Santos e Paranaguá aos atuais gargalos operacionais e analisando o Arco Norte como nova opção para exportação de grãos. Além disso, por meio de análise qualitativa, foi realizado um diagnóstico dos portos paraenses com potencial para escoamento da demanda excedente de soja. Os resultados encontrados mostraram o atual contexto operacional dos portos do norte do Brasil, as principais oportunidades de escoamento de commodities e os principais gargalos de infraestrutura que a região enfrenta para expandir sua capacidade e atender à alta demanda.

Palavras-chave: Soja. Escoamento. Exportação. Portos. Custo logístico.

1. INTRODUCTION

The notorious growth in agribusiness in Brazil comes against the current context of economic and political crisis (CANAL RURAL, 2016). After increases in 2015, the grain harvest reached the mark of 209 million tons, 8.2% above the previous harvest; Export index high enough to counteract the fall in the price of the grain commodity in the same year (PORTAL BRASIL, 2015). Driven by grain production, agribusiness faces the need to adapt to the country's structural difficulties; The produced volume grows and exerts pressure on the transport infrastructure, unable to support such scale (NET, 2013).

The national production of the largest volume of grain (Central-West) is mostly drained through the transport network of the Southeastern region of Brazil, whose articulations of port access roads present very adverse conditions. Not only the road network is inadequate, but also the saturation of exportation ports, whose quality service capacity is lower than the current demand, generating queues of trucks and ships, according to Antaq (2016).

The Ministry of Agriculture (2016) points out that, in this scenario, an alternative route that proves to be viable and is target of investment planning in infrastructure, is the outflow of other regions of equal or lesser proximity, such as North Arc, a region that Extends from Rondônia to Bahia. Signing as one of the main flow corridors, North Arc carried out 20% of total shipments in the country in 2015, 54% higher than in 2014 (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2016). Due to the continental dimensions of Brazil, economies with logistics can represent a competitive differential of sustainability and growth to agribusiness, especially for productive areas far from the exit ports.

The reduction of logistical costs of exporting through new routes is fundamental to sustain the competitiveness of national grain production while facing countries such as the United States and India, which, along with Brazil, lead the world production of soybeans (CONAB, 2016). In this context, the objective of this work is to diagnose the situation of the ports of the state of Pará, that present vocation for exportation of soybeans, identifying operational indicators and, in view of the logistical failures in the current

outflow, to analyze their capacity to receive part of the exceeding demand of the main exportation ports, leading to a reduction in the associated logistics costs, generated by the better distribution of demand between the ports of North and South.

2.THEORETICAL FRAMEWORK

2.1. The expansion of grain production in Brazil

Brazil is the second largest producer of soybeans in the world, only behind North American harvest, with a production corresponding to 95,631 million tons in 2015, of which 42,5 million were destined for domestic consumption and the rest, exported in the form of grains and other soybean derivatives (NAÇÕES UNIDAS BRASIL, 2016).

The soybeans production is concentrated in the states of the Center-South portion, the State of Mato Grosso leads the production ranking, responsible for about 27% of the national production, followed by the State of Paraná (17.8% of the total) and Rio Grande do Sul (16.9%), according to Embrapa (2016).

The agribusiness trade balance currently accounts for 46.2% of Brazil's commercial revenue, the highest share of agribusiness since the beginning of the historical series (AGÊNCIA ESTADO, 2016). Notably, the soybean complex (bran, oil and soybean) is the most prominent product in the Gross Production Value (VPB); every year, national agriculture reaches new levels in grain production; In 2017, production is estimated to reach 210,3 million tons, 1.3% above the previous harvest (PORTAL BRASIL, 2016).

In this agribusiness expansion scenario, the promotion of infrastructure should keep pace with production, adding competitiveness to the national product against large competitors in the world grain market. Despite the enormous weight of domestic production, facts such as structural constraints such as poor distribution in the transportation matrix, exportation focus in congested ports and inability to meet exceeding demand in the north of the country, direct up to 29% to 34% of the price of grain sales for freight costs (EMBRAPA, 2012).

2.2. The logistics of soy and excessive demand in the current exportation ports

The deficiency in the Brazilian transport matrix negatively affects the trade balance, reducing the international competitiveness of exported products, especially low value-added goods such as grain commodities. The gap between grain farmer and outlets is a considerable constraint on the development of production and the need to use road transport over long distances generates high freight costs, which can account for up to 30% of production revenue, according to distance (EMBRAPA, 2012).

Responsible for 81% of Brazil's grain production, the ports of the Center- South region contribute greatly to the high logistics costs for the producer. There are 10 main corridors of the Mato Grosso production's outflow, of which the ports of Santos (SP), Paranaguá (PR) and Rio Grande (RS) accounted for 68% of exports in the 2014/2015 harvest, when soybean exports reached 61,5 million tons, according to the Ministry of Agriculture (2015). In this context, most representative ports in grain movement were Santos (17.5), Paranaguá (13.8) and Rio Grande (10.8). Table shows that, for the main ports of soybean flow, the product has a great impact on the exports of each port operation.

Table 1: Soy impact on port exportation and operational indicators

Santos	Total export (ton)	Soy export (ton)	Relevance soybean/port
2014	76,574.936	16,464.584	21,50%
2015	87,565.704	17,772.632	20,30%
Paranaguá	Total export (ton)	Soy export (ton)	Relevance soybean/port
2014	14,793.767	10,413.223	70,39%
2015	16,140.000	12,600.000	78,07%

Source: ANTAQ, 2017.

The access corridors to the Santos and Paranaguá ports represent the best outflow structure in the country. The transport bottlenecks are mainly the need of revitalization of highways,

the existence of tolls and slow urban traffic, that, along with the difficulties of port operation, generate the need to reduce demand, in order to improve operational indicators that have a greater impact on freight costs for producers, such as waiting for mooring and operation (LOTO and GOMES, 2005).

In Santos, soybeans and derivatives are the most traded product, accounting for 20.3% of export operations (PORTO DE SANTOS, 2017). In Paranaguá, the soybean representativeness is even greater, accounting for 78% of port export activities. The ports, however, face significant logistical difficulties, given the high numbers of demand for general product outlets (ANTAQ, 2017). Table 2 shows indicators related to the logistic difficulty in the main export ports.

Table 2 identifies the high waiting time for berthing, especially in Paranaguá, where soybeans are the product of the highest traffic. The presented indicators have a direct impact on the service level and quality and cost of transportation. Prolonged waiting time and long stay contribute to fact that Santos and Paranaguá are among the port services of highest costs in the country (Porto de Santos, 2017).

Table 2: Operational indicators in the main soy export ports in 2016

Port	Moorings per year (unit)	Average time at berth (hour)	Average waiting time for berthing (hour)	Waiting time for operation (hour)
Santos	2,746	31,2	102,6	1,9
Paranaguá	1,205	60,7	354,9	1,8
Rio Grande	2,099	26,1	106,5	2,7

Source: Antaq, 2017.

2.3. North Region as an option: reduction of logistics costs

Logistics is considered one of the major challenges for grain producers in Mato Grosso, given the distance to the main exportation ports in Brazil (GLOBO RURAL, 2016). Therefore, the alternative route to the flow of production by the North region appears as a viable solution. The highlight is the several logistic corridors located in the North Arc, specifically in Pará, which operates so that the grains originated in the north of Mato Grosso follow to the north of

Brazil, crossing the State by the BR-163, to a Transshipment terminal in Miritituba district, municipality of Itaituba, where the product is shipped on ferries that leads to Barcarena, traveling more than 1,000 km in river distance. The Barcarena terminal, in the Metropolitan Region of Belém, receives river barges and trucks with soy, making it possible to export through a shorter route to international markets such as Asia and Europe (AGROESTE, 2014).

As shown in Table 3, starting from Sorriso-MT, one of the states's largest soybean producer, the freight cost per ton becomes much lower towards Miritituba-PA, in detriment of the Santos and Paranaguá ports, so that, transporting 10 thousand tons of the grain, for example, would represent an economy of R\$ 600.000.00 and R\$ 300.000.00, respectively.

According to Companhia Docas do Pará - CDP (2014), seven other similar logistics systems in regards to soybean flow in Miritituba and the embarkation in Barcarena, must be built, requiring R\$ 6,2 billion in investments. Still, as reported by CPD (2014), as of the consolidation of the investments, in 2022, Barcarena will have the largest grain export terminal in Brazil, with a capacity of 22 million tons.

Table 3: Comparison of freight costs from Sorriso-MT

Origin	Destination	Cost (R\$/T)*
Sorriso (MT)	Miritituba (PA)	R\$ 140,00
Sorriso (MT)	Santos (SP)	R\$ 200,00
Sorriso (MT)	Paranaguá (PR)	R\$ 170,00

Source: Authors, 2017 (adapted from APROSOJA, 2016).

*No carrier fee and no circulation tax

3. METHODOLOGY

The present paper aimed to diagnose the current situation of the main ports identified as options for exporting soybeans through Pará, seeking to base future work on reallocation of Brazil's surplus demand for grain export to the ports of the State, currently sourced

through the ports of the Center-South. This article was a qualitative research, with the objective of evaluating the level of port service in Pará and its capacity to receive higher demand. It also presented an exploratory character, based entirely on bibliographical and documentary research. The research considered the development of a theoretical reference that characterized the growth of the production of commodities in Brazil and the imbalance of the matrix of transport for exportation; lastly related exceeding demand of the ports of Santos and Paranaguá to the current operating bottlenecks analyzing the North Arc as a potential export option.

In addition, through bibliographical research and qualitative analysis, the following diagnostic steps were performed:

- i. Definition of the ports of Pará with potential to receive the exceeding soybean demand, considering indicators of export potential, operational indicators and structural characteristics that indicate the capacity to move a high demand;
- ii. Comparison of routes between ports in the South/Southeast and ports with potential in Pará;
- iii. Lighthouse of opportunities: SWOT analysis of the flow of commodities by ports in Pará;
- iv. Mato Grosso's production flow to ports in the North Arc: distance, modal conditions, route options through bibliographic research.

4. DIAGNOSIS

4.1. The ports in the State of Pará

The State of Pará has a strategic and privileged location due to its multimodal vocation. Close to markets such as Europe and China (by the Panama Canal), Pará represents some of the best routes for exporting products in the country. The waterway modality is the one with the greatest development potential in the region, with a further 20,000 km navigable and 5 main waterways with navigation potential in the interior of the State

and considerable cargo handling capacity (INVESTPARÁ, 2013).

The port area called Complexo do Pará, managed by Companhia das Docas do Pará (CDP), is composed of 9 public ports, of which Belém and Vila do Conde (both in the metropolitan area) represent 75.46% of the total number of annual movements. The main movements are minerals, fuel, grains and live cargo (CDP, 2017). Table 4 shows data from the ports of CDP, vocation of goods and soybean movement in relation to total movement.

Table 4: Data from public ports managed by CDP in 2015

Port	Annual movements (ton)	Main goods	Soy movement (ton)
Belém	473,409	Wheat, wood, containers	172,84
Miramar Terminal	2,197.253	Liquid bulk	-
Outeiro Terminal	123,977	Ores, wheat, liquid bulk	-
Vila do Conde	15,217.328	Ores, caustic soda	292,11
Santarém	4,984.091	Corn, soy, fertilizers	985,373,77
Altamira	195,257	Liquid bulk	-
Itaituba	671,477	Corn, soy	101,510
Óbidos	3,658	LPG, automobile, fabric	-

Source: CDP, 2017.

According to Table 4, the soy movement is consolidated in Santarém-PA and Itaituba-PA, whose vocation is the movement of grains. There is also potential for outlets in Vila do Conde, located in the industrial complex of Barcarena-PA. To analyze the capacity of the ports, the occupancy rate indicator (%) was used, which demonstrates the percentage of use of cradles for operations. Table 5 presents this indicator for the analyzed ports. From the low numbers of occupancy rate, it is possible to note the idleness of the berth of soybeans handling, indicating the opportunity to increase the demand for outlets for exportation at these ports, in order to increase their profitability and reduce the distances between the

Soybean production centers and outflow.

Table 5: Occupancy rate of ports with vocation for soybean movement in 2015.

Port	Total average occupancy rate (%)	Nº of berths	Nº of berths with occupancy above 50%	Occupancy rates in berths of soybean handling (%)
Vila do conde	41,19	12	5	41
Santarém	43,44	7	5	30,03
Itaituba	50	4	2	19,49

Source: CDP, 2017.

Table 6 presents a comparative scheme between the ports of the North and Center-South of the country, considering the routes between the production center, based in Sorriso (MT), and these ports as outflow points. It is possible to observe the relative decrease of distance of the routes to the North, allowing to infer that, among the main causes for the demand discrepancy directed to the regions, are the conditions of highways access to the highways in the North region, in this context, specifically in Pará.

Table 6: Access conditions to ports of soybean flow

Port	Distancy - Sorriso (MT)	Land route	Conditions
Vila do conde	1,999 km	BR158	Bad – Over 50km of irregular/ non-existent asphalt, bad signaling
Santarém	1,374 km	BR163	Poor - High Traffic Index, 104km without asphalt, regular signaling
Itaituba	1,081 km	BR163	Poor - High Traffic Index, 192km without asphalt, regular signaling
Santos	2,017 km	BR163	Regular - slow urban traffic, about 10 tolls on the route
Paranaguá	2,196 km	BR163	Regular - slow urban traffic, about 10 tolls on the route

Source: GLOBO RURAL, 2016.

The ports of Pará, in addition to having similar access conditions, also resemble operational characteristics. Vila do Conde is consolidated as the port of higher demand and billing of the State, since it is located in an industrial complex, presenting a structure

capable of making large scale movements (see Table 7).

Santarém has solid movements with focus on grain goods and, despite a few piers, the port is situated at an ideal depth, with capacity to serve large vessels. Both ports have operational structure conditions to receive large demands (CDP, 2017). The port of Itaituba, in Miritituba district, has recently entered the port investment lighthouse, presenting a relatively small size and exceptionally strategic location with proximity to production and the international consumer market (INVESTPARÁ, 2013).

Table 7: Informações operacionais de Vila do Conde e Santarém*

Information	Vila do Conde	Santarém
Maximum Draft (m)	2,3 - 10,7	1,3 - 11,5
Depth (m)	12,0 - 13,0	15
Length of ship (m)	107 – 255	130 – 260
Gross Ship Size (TBP)	12,000 - 60,000	12,000 - 60,000
Piers	4	1
Berths	10	7

Source: CDP, 2017.

* Information unavailable for the port of Miritituba

4.2. Main opportunities

As mentioned, the new logistics corridor, that places Miritituba district as a strategic point, opens a new route for the export of soybeans harvested around the municipalities of Sinop, Sorriso, Nova Mutum and Lucas do Rio do Verde, cut by the BR-163 (AMAZON, 2013). The objective is to transform Itaituba-PA into a kind of hub, capable of receiving production from the Mid-North of Mato Grosso and distributing it in barge trains to the exporting ports of Santarém (PA), Santana (AP) and Vila do Conde (PA) (AMAZON, 2013).

According to Portos e Navios (2016), Itaituba Cargo Transshipment Station, located in a privileged position, on the right bank of the Tapajos river in Miritituba, has a complete port structure composed of reception, analysis station, scales, elevators, bulk storage silos (55,000 tons), conveyor belts and floating terminal

with capacity to move up to 3 million tons per year.

In comparative terms, a truck carrying soy from Mato Grosso to the port of Santos travels more than 2,000 kilometers on the asphalt, while the cargoes to the north take part of the way through waterways, increasing the product's competitiveness and providing a margin gain of the production chain for the exporters (BRASIL 247, 2014). In addition these benefits, according the Ministério do Transporte, Ports and Civil Aviation (2017), each barge that leaves Miritituba towards the ports, transports the equivalent of 60 trucks. This replacement reduces congestion in the ports of the Southeast region and brings a reduction in transportation costs to producers. In Figure 1, routes from the mentioned ports are shown, whose traffic conditions are character



Figure 1: Logistics corridor BR-163 – Tapajós River
Source: Amazonia, 2013.

It should be noted that there are several routes linking the production centers to the outlets to all exportation ports; those corresponding to the ones with the shortest land route were highlighted in this paper, as of the relevance of the modal in the transport matrix and easier accessibility to it by soy producers.

4.3. Swot analysis

Table 8, based on the identified references, shows a SWOT analysis, describing main forces, weaknesses, opportunities and threats to soybean production from Mato Grosso, using the routes to north of Brazil, specifically those in Pará. As it shows, ports of Pará have as their main competitive advantage a privileged geographic location, related to the soybean production chain. It points out, however, the considerable need for investments, especially in the adaptation of the region's road network.

Table 8: SWOT analysis of the outflow for export of soybeans by the State of Pará

	Positive	Negative
Intern	<ul style="list-style-type: none"> - Geographic proximity to the north of Mato Grosso, the main soy producing region of Brazil; - Geographic proximity of the American and European markets; - Proximity to the Panama Canal (route to the Chinese market); - Hydrographic basin with several waterways, allowing intermodality and reducing the use of the road modal and prioritizing the use of waterways. 	<ul style="list-style-type: none"> - Road modal in lagged conditions; - Absence of rail modal that reaches the main ports of Pará.
Extern	<ul style="list-style-type: none"> - Saturation of the main ports of soybean flow (Santos-SP and Paranaguá-PR); - Investments in logistics infrastructure through public-private partnerships; - Interest of the MT producers in the cost reduction of the grain production flow through North routes; - The occupation rate in the berths of the main ports of Pará below 50%, allowing the fulfillment of new demands 	<ul style="list-style-type: none"> - Political instability; - No conclusion of strategic works, such as the total paving of the BR-163; - New logistics corridor, which crosses a fairly preserved area of the Amazon Forest, exposing social and environmental concerns.

Source: Authors, 2017.

In this context of opportunity, some investments planned for operational improvements and increases of the capacity of the ports are presented in Table 9.

Table 9: Planned investments for the main ports of Pará

Vila do Conde	Santarém	Miritituba/Itaituba
TMU2 Deployment - Multiple Use Terminal	Implantation of a Terminal of Solid Bulks of Vegetable Origin	Implantation of Cargo Transshipment Station.
Implantation of TEFRON - Fronteira Norte Port Terminals, with exclusive berth for soybeans	Expansion of TMU 1 and construction of TMU 2 with capacity up to 1,000 tons per ship.	Construction of access to ports by BR- 230
Construction of the Açailandia- Barcarena stretch of the Norte-Sul Railway	Concession of the Itaituba-Santarém section of Br-163	Concession of the Itaituba-Santarém section of Br-163

Source: Programa de Aceleração de Crescimento - PAC, 2016.

5. CONCLUSIONS

This study aimed to diagnose the operability and capacity to receive new demand, as well as to evaluate the logistic system of access to ports in Pará: Santarém, Vila do Conde and Itaituba (Miritituba), according to their vocations for soybean handling. The aim was to verify the viability of these ports to the soybean production in the north of the State of Mato Grosso, given the overload and high cost of freight to the current exporting ports.

It is well known that there is a need for revitalization and investment in access roads to the ports of Pará, with special attention to the road network, such as BR- 163, that presents harsh transport conditions in many stretches. Despite the urgent need for improvements, the route of the soybean towards the north is still more advantageous, considering three strategic conditions: the proximity of the producers to ports in Pará; the proximity of these with American, European and Asian markets, and the multimodality allowed by the region, being part of the route of the soybean to the ports by waterway, enabling the movements of larger loads.

The relative indicators analysis showed adequate conditions for reception of additional demand. In addition to current consolidated structures and public-private investments in progress, all the ideal navigational conditions, the presented ports operate with an occupancy rate of less than 50% in soybeans destined berths. The analysis showed that it is not only feasible, but the outflow of the Mato Grosso soybean through the ports of Pará, highlighted in this study, is an economic competitive advantage to Brazilian producers, mainly those moving grains in minor proportions, maximizing the gained profit by reducing the impact of the freight in the cashflow. The results open space for the future works that could aim at the quantification of the exceeding export demand to be reallocated, the products that are still drained by the ports of the Center-South and by the North ports.

REFERENCES

- AGÊNCIA ESTADO (2016). *Agronegócio: 43% da balança comercial brasileira*. Disponível em <<http://www.apla.org.br/agronegocio-43-da-balanca-comercial>>. Acesso em jan. 2017.
- AGROESTE (2017). *Brasil abre nova rota para escoamento de soja pelo Norte*. Disponível em: <<http://www.agroeste.com.br/noticia/4447/brasil-abre-nova-rota-para-escoamento-de-soja-pelo-norte>>. Acesso em jan. 2017.
- AMAZÔNIA (2013). *Mega investimento abre nova rota para soja*. Disponível em: <<http://amazonia.org.br/2013/01/megainvestimento-abre-nova-rota-para-soja/>>. Acesso em jan. 2017.
- ANTAQ (2017). *Sistema de informações gerenciais*. Disponível em <<http://www.antaq.gov.br/Portal/ServicosOnline.asp#>> Acesso em jan. 2017.
- APROSOJA (2017). *Fretes interestaduais da soja*. Disponível em: <<http://www.aprosoja.com.br/soja-e-milho/historico-cotacao/fretes-interestaduais-da-soja>>. Acesso em jan. 2017.
- BRASIL 247 (2017). *A soja mais competitiva do Brasil abre caminhos pelo Norte*. Disponível em: <<http://www.brasil247.com/pt/247/agro/140937/A-soja-mais-competitiva-do-Brasil-abre-caminhos-pelo-Norte.htm>>. Acesso em jan. 2017.
- CANAL RURAL (2016). *Mesmo com crise, agronegócio projeta desempenho positivo em 2016*. Disponível em: <<http://www.canalrural.com.br/noticias/agricultura/mesmo-com-crise-agronegocio-projeta-desempenho-positivo-2016-61128>>. Acesso em dez. 2016.

- CDP (2017). *Informações Operacionais*. Disponível em <<https://www.cdp.com.br/seguranca-na-navegacao-porto-belem>>. Acesso em jan. 2017.
- COMPANHIA DOCAS DO PARÁ (2015). Exportação de soja ganha atalho pelo Norte. *Folha de São Paulo*. Disponível em: <<https://www.cdp.com.br/conteudo?id=44517851&estrutura=39151>>. Acesso em jan. 2017.
- EMBRAPA (2019). *Soja em números (safra 2015/2016)*. Disponível em <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>>. Acesso em jan. 2017.
- EMBRAPA (2012). *Soja, transporte. 2012*. Disponível em <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/soja/arvore/CONTAG01_15_271020069131.html>. Acesso em dez. 2016.
- GLOBO RURAL (2016). *Nova rota diminui custo de transporte da soja produzida em MT*. Disponível em: <<http://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2016/03/nova-rotadiminui-custo-de-transporte-da-soja-produzida-em-mt.html>>. Acesso em jan. 2017.
- GLOBO RURAL (2016). *BR 163 tem 92km sem asfalto*. Disponível em <<http://revistagloborural.globo.com/Noticias/Infraestrutura-e-Logistica/noticia/2016/01/br-163-precisa-de-192-km-de-asfalto-entre-sinop-e-santarem-diz-aprosoja-mt.html>>. Acesso em jan. 2017.
- INVESTPARÁ (2013). *Logística e Infraestrutura*. Disponível em <<http://www.investpara.pa.gov.br/pt-br/node/57>>. Acesso em jan. 2017.
- LOTO, R. A. and GOMES, R. L. (2005). Estudo da logística de transportes da soja no estado do Mato Grosso. In: *48º Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural (SOBER)*. Ribeirão Preto. Instituições, Eficiência, Gestão e Contratos no Sistema Agroindustrial: SOBER.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA (2015). Centro Oeste produz cerca de 42% da safra brasileira. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/comunicacao/noticias/2015/10/centro-oeste-produz-cerca-de-42porcento-da-safra-brasileira-de-graos>>. Acesso em dez. 2016.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA (2015). *Exportações de soja e milho pelos portos do Arco Norte cresceram 54% em 2015*. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/comunicacao/noticias/2016/02/exportacoes-de-soja-e-milho-pelos-portos-do-arco-norte-cresceram-quase-54porcento-em-2015>>. Acesso em dez. 2016.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA (2015). *Volume exportado de soja em grão, milho, café, frango e celulose bate recorde em 2015*. Disponível em <<http://www.agricultura.gov.br/noticias/volume-exportado-de-soja-em-grao-milho-cafe-frango-e-celulose-bate-recorde-em-2015>>. Acesso em dez. 2016.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, PORTOS E AVIAÇÃO CIVIL (2015). *Ministério dos transportes faz visita técnica ao Pará*. Disponível em: <<http://www.transportes.gov.br/ultimas-noticias/4001-minist%C3%A9rio-dos-transportes-faz-visita-t%C3%A9cnica-ao-par%C3%A1.html>>. Acesso em 2017 jan.

NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL (2015). *Brasil deve substituir EUA como maior exportador de soja em 2025, diz FAO*. Disponível em <<https://nacoesunidas.org/brasil-deve-substituir-eua-como-maior-exportador-de-soja-em-2025-diz-fao/>>. Acesso em jan. 2017.

NETO, J. (2013). *O mercado de exportação de soja e os portos brasileiros*. Disponível em <http://www.antaq.gov.br/Portal/pdf/Artigos/20150123_Artigo_Jose_Goncalves_Moreira_Neto.pdf>. Acesso em jan. 2017.

PORTAL BRASIL (2016). *A produção de grãos deve chegar em 210,3 milhões de toneladas*. Disponível em <<http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2016/03/producao-de-graos-deve-chegar-a-210-3-milhoes-de-toneladas>>. Acesso em dez. 2016.

PORTAL BRASIL (2015). *Safra de grãos bate recorde com 209 milhões de toneladas*. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2015/09/safra-de-graos-bate-recorde-com-209-milhoes-de-toneladas>>. Acesso em dez. 2016.

PORTO DE SANTOS (2019). *Resumo das movimentações de carga no porto de santos*. Disponível em: <<http://www.portodesantos.com.br/imprensa.php?pagina=resano>> Acesso em jan. 2017.

PORTOS E NAVIOS (2019). *Cianport, em Miritituba (PA) e porto de Santana (AP) iniciam operação em junho*. Disponível em: <<https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/33898-cianport-em-miritituba-pa-e-porto-de-santana-ap-iniciam-operacao-em-junho>>. Acesso em jan. 2017.

Endereço para correspondência:

(1) Melo, André Cristiano Silva – acsmelo@yahoo.com.br;

(2) Vieira, Amanda Thais Santos – amandasnv@gmail.com;

(3) Cordeiro, Bruna Adriele Furtado – brunafurtado23@gmail.com;

(1;2;3) Universidade do Estado do Pará – UEPA (Centro de Ciências Naturais e Tecnologia – CCNT).

TRANSPORTE DE SOJA POR MEIO DE CONTÊINERES E OS TERMINAIS PORTUÁRIOS DE MANAUS COMO DIFERENCIAL PARA EXPORTAÇÃO DA SOJA BRASILEIRA

*SOYBEAN TRANSPORTATION THROUGH
CONTAINER SHIPPING: MANAUS PORT
TERMINALS AS A DIFFERENTIAL FACTOR
IN BRAZILIAN SOYBEAN EXPORT*

OLIVEIRA, B. D.¹; ROCHA, A. C. B.²
(1;2) Universidade Federal do Amazonas

RESUMO

A soja é uma das *commodities* que mais influencia positivamente a balança comercial do país. O Brasil possui grandes vantagens neste mercado e boa produtividade. Porém, tem problemas na infraestrutura de transporte, elevando o valor do produto e tornando-o menos competitivo. Produtores do Centro-Oeste brasileiro buscam rotas alternativas para escoar a produção e reduzir custos no transporte. Neste cenário encontra-se a região Norte, com numerosos rios para desafogar estradas do Centro-Sul do Brasil, e a cidade de Manaus, com 90% de contêineres vazios oriundos, em grande parte, da importação de componentes para Zona Franca de Manaus. Esta pesquisa foi desenvolvida por meio de métodos exploratórios, revisão bibliográfica e documental, e estudo de campo com entrevistas semiestruturadas. Caracterizou-se e descreveu-se a estrutura e a composição dos custos no transporte de soja com base no aproveitamento dos contêineres vazios da cidade de Manaus, fundamentados no método de Custeio Baseado em Atividades. Como resultado, da utilização de contêineres vazios para exportação de Manaus se teve o custo de transporte, na comparação final, 2,18% mais elevado do que o observado na rota predominante rodoviária para embarque

a granel em Santos. A avaliação da viabilidade deste modelo fundamentou-se na Análise Custo-Benefício. Concluiu-se que é viável o transporte de soja por meio de contêineres vazios, a partir de terminais portuários de Manaus e Porto Velho, sinalizando para uma nova rota de exportação da soja do Centro-oeste brasileiro pelo Norte do Brasil.

Palavras-chave: Contêineres. Soja. Exportação. Portos de Manaus.

ABSTRACT

Soybean is one of the main commodities positively influencing the Brazilian trade balance. Brazil is one of the world's country possessing outstanding participation in the soybean market due to its production and good production. However, cost problems in transport infrastructure have lead to low market competitiveness. Producers in central Brazil have been searching for alternatives to help them lower transportation costs. Brazil's Northern Region appears in this scenario with an immense hydrographic potential to alleviate soybean transportation bottlenecks and lower its costs. The city of Manaus also comes to help with this thanks to a significant number of empty ship containers available after Manaus Trade Zone importation operations. Soybean transportation costs were characterized and described according to the review of technical literature, official documents, and semi-structured interviews under the perspective of using empty ship containers available in the city of Manaus. Activity-Based costing was used to run cost analyses. The use of empty containers for soybean exportation through Manaus port present transportation costs 2,18% higher in comparison to loaded ships, considering the road route to Santos port. Evaluation of the feasibility of the model proposed was assured by Cost-Benefit Analysis. Conclusions show that empty containers are a feasible means to export soybean from central Brazil through Manaus and Porto Velho ports, pointing to a potential export route in Northern Brazil.

Keywords: Containers. Soybean. Exportation. Ports of Manaus.

1. INTRODUÇÃO

A soja vem impulsionando o desenvolvimento do agronegócio e movimentando o setor logístico mundial. Atualmente, é a principal oleaginosa produzida no mundo, sendo amplamente utilizada pelas indústrias de alimentos, ração animal e outros produtos no setor industrial e farmacêutico. Especialmente no Brasil, aquece o mercado de várias regiões e fortalece a exportação e a indústria de maquinários e implementos agrícolas, desta forma contribuindo para o desenvolvimento de empresas e portos do país e para o superávit da balança comercial. Em 2017 foi o 2º produto mais exportado, ficando atrás somente do minério de ferro (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA, 2014).

Introduzida no Brasil em 1822, a soja foi usada, nesse período, para alimentação animal, tendo seu valor reconhecido somente no início do século XX, quando seu cultivo comercial passou a ser desenvolvido em escala crescente, dado o crescimento do interesse para estudos em institutos agrícolas. Tal fato teve origem no sul do país e expandiu-se para o cerrado, abrangendo o território conhecido como polígono dos solos ácidos: Triângulo Mineiro em Minas Gerais; Mato Grosso do Sul; Mato Grosso; Goiás; Tocantins; sul do Maranhão; sul do Piauí e oeste da Bahia (CISOJA, 2014).

O investimento e o desenvolvimento em tecnologias, cadeias produtivas, infraestrutura, biogenética e agroindústria vêm favorecendo avanços e modernização no plantio e industrialização da soja. Porém, a expansão e o desenvolvimento observados na produção para o interior do país não ocorrem no contexto logístico, tendo em vista a inadequação da matriz de transporte do escoamento da produção do Centro-oeste, por exemplo, concentrada no modal rodoviário. Esta matriz é representada por estradas precárias e de centro produtivo distantes dos portos de exportação localizados nas extremidades do país, ocasionando a formação de grandes filas, penalizações por espera e sobre-estadia, ou seja, multa determinada em contrato paga pelo contratante de um navio quando ultrapassado o tempo limite de permanência nos portos de carregamento ou descarregamento (demurrage), elevando os custos e diminuindo a competitividade (JANK *et al.*, 2005).

Segundo histórico do Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços/Secretaria de Comércio Exterior (2014), a partir da década de 1990 a região Norte do país e seus portos começaram a aparecer nas estatísticas de exportação de soja, devido ao congestionamento das rotas e portos tradicionais, geralmente localizados nas regiões Sul e Sudeste. Outros caminhos para a exportação da soja oriunda de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul passaram, então, a ser efetivamente considerados. Exemplo disso é o escoamento da soja por Rondônia até o porto de Itacoatiara, no centro-sul do Amazonas, seguindo daí em navios de longo curso para o restante do mundo (OLIVEIRA, 2015). A região Norte, desta forma, revela um grande potencial exportador com base no modal aquaviário, ampliando o repertório de alternativas viáveis ao transporte tradicional de grãos por rotas que partem do Sul e do Sudeste do Brasil. Na década de 2000, surgem atividades de maior volume relacionadas ao escoamento da soja nos portos de Santarém e, a partir de 2016, Barcarena e Vila do Conde, no estado do Pará, e no porto de Itaquí, no Maranhão (ANTAQ, 2017).

A produção de soja em grãos do Centro-oeste brasileiro, oriunda do Mato Grosso, e que já possui um percentual escoado pela região Norte do país, a partir dos portos de Itacoatiara e Santarém, depende do transbordo do modal rodoviário para o hidroviário em Porto Velho, operação desenvolvida pelas empresas Hermasa e Cargill. A exportação realizada por portos localizados no Norte e Nordeste do Brasil, proporciona uma redução total de US\$ 50.00/t no custo logístico da soja e milho em comparação com portos das regiões Sul e Sudeste.

As dificuldades logísticas encontradas a nível nacional estão relacionadas à concentração de portos nas regiões Sul e Sudeste, tornando o transporte mais caro e moroso em decorrência das grandes distâncias entre as áreas produtoras e os portos exportadores e da falta de infraestrutura na área próxima da produção, reforçando a necessidade de novas práticas de escoamento da soja nacional (MIDIC/DEAEX, 2013 e MAPA, 2014).

A exportação da soja brasileira é fortemente dependente do modal rodoviário, implicando numa logística e num processo de produção extremamente sensíveis a eventos externos (por exemplo,

as greves de fevereiro e março de 2015 e maio de 2018). A greve dos caminhoneiros afetou a distribuição de combustíveis e, em consequência, a colheita e exportação da soja, as máquinas nos campos não possuíam óleo diesel para funcionar e os caminhões não chegavam aos portos para as exportações, ocasionando mais atrasos e filas de navios. O mesmo pôde ser observado na greve dos caminhoneiros de 2018 (CHIARA, 2018).

Com a necessidade de otimização do escoamento da soja, a busca pela redução de custos, o crescimento da inter-relação entre setores-chave (produção de farelo, óleo e ração; produção animal, principalmente frango e suínos; transporte e produção de fertilizantes, dentre outras produções), o aumento da produtividade logística e a exigência de melhores índices de custo/benefício no transporte da soja, abriu-se a oportunidade de utilização de contêineres vazios nos portos para o escoamento da produção agrícola (OLIVEIRA, 2015). Como exemplo, a empresa administradora do Terminal de Contêineres de Paranaguá - TCP (2016) afirma que a quantidade de contêineres com grãos exportados pelo Porto de Paranaguá nos últimos quatro anos, até 2016, cresceu 90%.

As vantagens da utilização de contêineres para o transporte da soja incluem a possibilidade de realizar-se a exportação em lotes parcelados, ou seja, um melhor rastreamento do produto e aproveitamento dos contêineres vazios que voltam para a China. Esta situação permite, como desdobramento efetivo, ganhos financeiros relativos a custos diretos e indiretos, além de outros pertinentes à esfera socioambiental. Alguns destes ganhos estão representados pela redução dos custos de demurrage e de transporte rodoviário; redução do tempo em fila de espera e do monopólio no embarque nos portos; opções de novos fretes e diminuição de valores em fretes de entrada casados com os de saída; e utilização da capacidade de embarque dos navios que transportam os contêineres vazios entre outros (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA, 2014).

Segundo a ANTAQ (2017), a cidade de Manaus apresentou significativa diferença de contêineres desembarcados e embarcados no longo curso. Os índices de movimentação de contêineres desembarcados em 2017 somaram 11.765 TEUs,

enquanto os embarcados totalizaram 1.087 TEUs, o que equivale, somente, a 8,5% de TEUs exportados. Este quadro é resultado do constante tráfego de navios de longo curso com destino a Manaus e consequente atracação destes no complexo portuário da cidade (SEP, 2013). Ressalte-se que todas as atividades realizadas no transporte de contêineres vazios igualam-se, em termos de custos, às de contêineres ocupados, porém com valor agregado claramente inferior.

Uma lacuna de oportunidade logística surge com o elevado número de navios em Manaus sem movimentar cargas, já que os contêineres que chegam carregados de componentes para o PIM (Polo Industrial de Manaus) retornam, em sua maioria, vazios para o país de origem ou são encaminhados para porto de Santos.

Os produtos acabados resultantes da produção do PIM são transportados em semirreboques no modal rodoviário ou em embarques aéreos para o mercado nacional. O não aproveitamento dos contêineres no retorno ocasiona um maior custo em transporte para as empresas de Manaus, pois cada contêiner para ser transportado vazio de volta para à Ásia, ou qualquer outra área ou região, possui custos que são repassados indiretamente aos clientes dos fretes. Quanto aos contêineres vazios oriundos do PIM, estes são utilizados para o transporte de grãos e é possível gerar uma nova atividade econômica para os portos da cidade, para os transportadores e para os armadores, propiciando produção de riquezas e maior oferta de empregos. Portanto, verifica-se aí uma variedade de oferta de rotas e fretes para escoamento da soja pela região Norte e, especificamente, a partir de Manaus, no período de escoramento de safra, que aumenta a demanda dos modais, e que pode contemplar a utilização de contêineres vazios (OLIVEIRA, 2015).

A rota do rio Madeira, de Porto Velho à Manaus, já é utilizada para o transporte de contêineres entre o PIM e o restante do país, no entanto, o maior volume é no formato em carretas (prática conhecida como rô-rô caboclo, roro, Roll on-Roll off). Nesse contexto, para a melhoria desta rota, no que diz respeito ao transporte e ao escoamento de cargas na região amazônica (incluindo a soja), a Superintendência da Zona Franca de Manaus

destaca que “O corredor do rio Madeira, principal via de ligação entre Porto Velho e Manaus, precisa receber investimentos os quais incluem: i) a adequação dessa hidrovia; ii) a construção de um novo terminal de contêineres em Rondônia; iii) a construção de um novo porto em Manaus e; iv) um novo terminal no porto de Itacoatiara-AM”.

Desde 2005 passaram a ser exportados, por contêineres, itens como café, açúcar, sal e algodão, os quais eram tradicionalmente embarcados em sacas. Segundo a Agência Nacional de Transportes Aquaviários - ANTAQ (2014), a movimentação brasileira de contêineres em 2007 foi de 4.163.969 unidades, saltando para 5.706.982 unidades em 2013, evidência, já neste período, de uma tendência na logística nacional alinhada com a tendência mundial de ampliação no uso de contêineres.

O transporte marítimo de grãos em contêineres apresenta uma redução de custos de, aproximadamente, 40% em comparação com o transporte a granel, apesar de ser necessário o ajuste do embarque à produção. O envio de uma tonelada de grãos por contêiner do Paraná, por exemplo, tem um custo de US\$ 37.00, enquanto o envio a granel varia de US\$ 40.00 a US\$ 60.00, ou seja, o uso de contêiner reduz os custos do frete marítimo, como apontado por Guimarães Filho (2014). O autor revela que, no Paraná, o terminal de contêineres de Paranaguá movimentou 10.850 unidades de contêineres com soja em 2013.

Diante do exposto, o problema central que se pretende tratar no presente artigo é: a rota logística de exportação da soja brasileira pode explorar o modal aquaviário a ponto de tornar-se, significativamente, mais competitiva? Para o equacionamento deste problema, os seguintes objetivos foram estabelecidos: a) Verificar a viabilidade de utilização de contêineres vazios de Manaus enviados para transbordo em Porto Velho, retornando para exportação a partir do porto de Manaus; b) Comparar, entre os modelos de custeio existentes, aquele que melhor corresponde ao transporte da soja na multimodalidade; c) Identificar e comparar o custo de transporte total da soja nas hidrovias da região Norte e na principal rota de escoamento do Sudeste destinada à exportação.

2. A PRODUÇÃO DE SOJA NO MUNDO E NO BRASIL

2.1. Histórico da produção de soja

Inúmeros dados e informações sobre a trajetória do plantio da soja ao longo dos anos, e sobre aspectos relacionados à logística e à comercialização de seu complexo no mundo e em países produtores de destaque, como o Brasil, encontram-se disponíveis a partir de abundantes fontes, vide EMBRAPA (2000); Brum *et al.* (2005); Jank *et al.* (2005) para citar apenas alguns exemplos. A grande importância que a soja tem hoje no Brasil e no mundo, sob as mais variadas perspectivas, justifica a atenção maciça de publicações sobre o tema.

Admite-se que o cultivo da soja tenha se originado no sudeste asiático, a partir de variedades de plantas selvagens que se desenvolviam na costa leste da Ásia, principalmente ao longo do rio Amarelo, na China. Consta que somente no século XVIII a soja foi introduzida no Ocidente, quando foi plantada pela primeira vez na França e na Inglaterra; nas Américas, no início do século XIX, a soja começou a ser cultivada em pequena quantidade nos EUA, desenvolvendo-se até a segunda década do século XX marcando o início da exploração comercial (primeiro como forrageira e, posteriormente, como grão).

A partir de 1919, com a criação da *American Soybean Association* (ASA), a soja passa a ser desenvolvida nos EUA, mas somente em 1923 vem a ser produzida de fato, ano em que surgem as primeiras estatísticas sobre sua produção. Com as mudanças ocasionadas pela industrialização e pelo modelo norte-americano de produção em grande escala, voltado para o consumo de massa de produtos industrializados, aumentou significativamente a utilização de farelo e óleo.

Diversos momentos históricos estimularam o desenvolvimento e o crescimento da produção da soja no mundo. O aumento do consumo após a Segunda Guerra Mundial (1939-1945) e a Revolução Verde (1950) permitiram a difusão da agricultura mecanizada, especializada e de monocultura de escala. Seguindo nesta linha, as instabilidades monetárias e de preços de *commodities* em virtude da ruptura, por parte dos EUA, do acordo de *Bretton*

Woods (disposições acertadas entre cerca de 45 países aliados, em julho de 1944, para definir os parâmetros que iriam reger a economia mundial após a Segunda Guerra Mundial), bem como o embargo comercial americano às importações da soja da então Comunidade Econômica Europeia – CEE, provocaram a reação desta entidade a diversificar as fontes de suprimentos de óleo-proteaginosas (colza, mamona, girassol), buscando novos países fornecedores. Daí emergiram e se consolidaram novos países produtores e exportadores da soja e derivados, como o Brasil e a Argentina.

2.2. Produção de soja no Brasil

A soja chegou ao Brasil via EUA, em 1882. Em 1900 e 1901, o Instituto Agrônomo de Campinas, no estado de São Paulo, promoveu a primeira distribuição de sementes de soja para produtores.

Os registros iniciais do cultivo da soja no Brasil datam de 1914 no município de Santa Rosa, no Rio Grande do Sul. Somente a partir dos anos 1940, demonstrou um volume considerável. Contudo, foi apenas a partir da década de 1960, impulsionada pela política de subsídios ao trigo na busca por autossuficiência, que a soja se estabeleceu como cultura economicamente importante para o Brasil. Desde esse período, a utilização do grão para a produção de óleo e ração animal cresceu consideravelmente, levando à expansão de seu cultivo em diversas localidades no mundo.

Ao longo dos anos de 1970 e 1980, a soja foi introduzida no cerrado brasileiro, sobretudo nos estados do Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás, região Centro-oeste. Nos anos de 1990 e 2000 ocorreu um grande aumento na área plantada de soja, que passou de pouco mais de 10 milhões de hectares (ha) para uma área superior a 22 milhões de hectares. Esta expansão foi acompanhada pelo aumento da produtividade e, também, por um aumento considerável nas exportações (MDIC/SECEX, 2014).

Entre 2000 e 2001, a área plantada de soja no Brasil era de cerca de 13.687 mil ha; já entre os anos de 2017 e 2018, a área plantada subiu para 35.822 mil ha. O estado do Mato Grosso apresentava 2.968 mil ha e estes dois últimos anos um total 9.700 mil ha, com crescimento de 227% de área plantada demonstrando, assim, a

expansão da produção de soja para o interior do país (CONAB, 2014; EMBRAPA, 2019). Essa transformação e tendência promoveram o estado de Mato Grosso do status de produtor coadjuvante a líder nacional de produção e produtividade de soja.

Em 2012 a produção avançou para mais 66.3 milhões de toneladas, e 32.9 milhões vão para o mercado internacional. No ano de 2018/19 esses números chegaram em 114,843 milhões de toneladas e a exportação de soja em grão 83,6 milhões de toneladas, sendo, principalmente, para a China, o maior importador de soja do Brasil atualmente. (MDIC/SECEX, 2014; CONAB, 2014, EMBRAPA, 2019). O Centro-oeste, em especial o Estado do Mato Grosso (maior produtor brasileiro de soja) possui uma produção de 32,455 milhões de toneladas 2018/19. Os municípios de Sapezal e Campo Novo do Parecis estão entre os dez maiores produtores a nível nacional.

Este volume representa uma grande oportunidade de utilização dos portos da região Norte, pois com as devidas adequações estruturais ao transporte multimodal e excelência na oferta dos serviços, a distância percorrida no modal aquaviário proporciona vantagens competitivas frente ao escoamento, via modal rodoviário, para os portos do Sul e Sudeste do país.

3. LOGÍSTICA DA SOJA E CONCEITOS RELACIONADOS

A logística é vista como uma ferramenta capaz de aumentar a eficiência organizacional por meio da redução dos custos operacionais, melhorando os processos em toda a cadeia de suprimentos. Novaes (2003) afirma que a logística é o processo de planejar, implementar e controlar, de maneira eficiente, o fluxo e a armazenagem de produtos e, até mesmo, os serviços e informações relacionados que vão desde o ponto de origem até o ponto de consumo, com o objetivo de atender às necessidades do consumidor.

A distribuição física constitui a movimentação dos produtos acabados e semiacabados. Segundo Martins (2009, p. 36) “é a última fase da logística antes do começo da utilização do produto pelo cliente”. Neste caso, para o agricultor é a fase após a colheita, de toda a preparação necessária ao despacho do produto até a chegada ao consumidor final.

No desenvolvimento do conjunto de atividades e operações logística o transporte tem posição de destaque, gerando muitas dúvidas entre os usuários quando se pretende delimitar as etapas do processo logístico. Este é um fator importante na relação das organizações com os clientes, fornecedores, produtores e parceiros, ou seja, com toda a cadeia de suprimentos; o interesse deve ser o de que o processo logístico propicie ganhos para todos os elos da cadeia de suprimentos.

3.1. Transporte da soja brasileira em comparação aos EUA e Argentina

O país que mais exporta soja no mundo, atualmente, são os EUA, seguidos de Brasil, Argentina e China, países que possuem características produtivas diferentes das do país norte-americano e, também, diferem quanto à produtividade, aos custos de produção e logísticos, à infraestrutura, às distâncias, às matrizes de transporte e à oferta de vantagens diferenciadas (CONAB, 2014).

O Ministério dos Transportes (2012) explica que, nos EUA a participação do transporte aquaviário possui uma parcela significativa dentre os modais, que é de, aproximadamente 30%. Os portos para escoamento da produção estão localizados estrategicamente, como pode ser visto ao longo do rio Mississipi que corta extensas regiões de produção agroindustrial.

De toda a soja produzida e transportada no Brasil, apenas 11% circulam em hidrovias e as regiões brasileiras desenvolvidas para a agroindústrias estão localizadas, em sua maioria, ao longo das rodovias e em regiões interiores distantes de portos (CNT, 2013).

No comparativo do transporte da soja o Brasil concentra 50% de atividade no modal rodoviário, com isso impondo, acredita-se, gargalos logísticos e uma consequente falta de competitividade ao escoamento do grão. Nos EUA, diferentemente, o transporte da soja está mais concentrado no modal aquaviário (60%), propício para commodities como a soja. Já na Argentina, terceira maior exportadora mundial, as

áreas de produção são próximas aos portos de exportação ou beneficiamento, com trajetos percorridos que não ultrapassam 400 km, minimizando as desvantagens em transportar grandes quantidades de soja via modal rodoviário que correspondem em 80% de toda carga (CNT, 2013).

O Gráfico 1 a seguir apresenta os custos do transporte de soja nos EUA, Argentina e Brasil, permitindo comparar a relação entre estes custos e os modais predominantes.

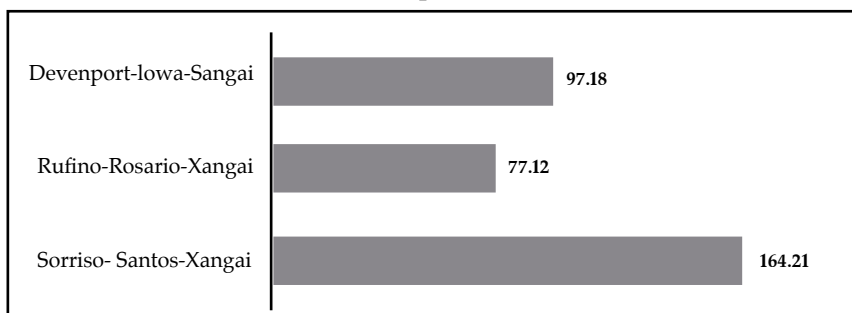


Gráfico 1: Custos médios dos anos de 2009-2013 no transporte da soja dos EUA, Argentina e Brasil em US\$/ton.

Fonte: Oliveira, 2015.

O Gráfico 1 demonstra que, apesar da Argentina utilizar preferencialmente o modal rodoviário no transporte interno da soja, a distância reduzida do produtor para os portos compensa esta opção. De acordo com USDA (2014) e USSEC (2014) os percentuais de custos no transporte interno de 2009-2013 correspondem a 31% nos EUA, 29% na Argentina e 70% no Brasil. A partir destes dados, verifica-se que o Brasil empata custos elevados no transporte da soja desde a origem até o porto de embarque.

No Brasil a soja apresenta destaque na movimentação de carga nos portos organizados e Terminais de Uso Privado – TUPs. Representou 7% da tonelagem agregada de cargas relacionadas ao transporte aquaviário no país (ANTAQ, 2014). Tais números são de suma importância para economia brasileira e sinalizam para o amplo potencial de expansão do transporte aquaviário, permitindo o crescimento de áreas com baixa exploração comercial como as que se identificam na região Norte do país.

3.2. Estrutura do transporte da soja no Brasil

O panorama atual do transporte da soja no Brasil é fruto da política econômica adotada pelo governo brasileiro ao longo das décadas. Esta política está, em grande parte, representada, de um lado, pela falta marcante de manutenção estrutural dos modais e, de outro lado, pela ineficiência de uma gestão calcada em privatizações e concessões destes modais. Além do desequilíbrio na composição de custos dos modais, como exemplo, taxas e pedágios aumentaram em volume e valores no modal rodoviário, prejudicando o formato logístico e ocasionando outros problemas. Resultado disso é a busca por rotas alternativas que permitam a fuga de caminhos sobretaxados.

A existência de planejamento precário em situações de safra recorde e de alta demanda, no período da colheita, ocasiona variações de até 40% de apenas um ano para o outro, precariedade determinada pela carência de infraestrutura de estoque próximo à produção e, também, pela escassez de opções de escoamento da soja, deixando o setor logístico refém da especulação.

O processo de escoamento da soja no Brasil exige a intermodalidade, e não a utilização maciça do modal rodoviário ao longo de todo o processo como tem-se verificado por décadas. O modal rodoviário é adequado para atuar somente nas “pontas”: local de origem/áreas produtoras, local de destino/armazéns ou terminais hidroviários e ferroviários.

Segundo Coeli (2004) todo o processo de comercialização da soja é iniciado com a venda dos grãos, pelo produtor, para as agroindústrias, cooperativas e, principalmente, para as empresas de *trading*. Estas organizações possuem maior capacidade de beneficiar os grãos e, também, de realizar as exportações da soja e seu complexo.

Internamente, apenas 11% do volume de soja produzido é transportado por modal aquaviário. Fica evidente que o Brasil dispõe de uma matriz logística para escoamento da soja centrada no modal rodoviário, atualmente uma das mais caras, ambientalmente insustentável, altamente dependente das especulações de mercado. Com as dificuldades logísticas e

o caos característicos do período de escoamento da produção de soja. Produtores e *tradings* têm buscado alternativas viáveis para melhoria deste serviço. Isto inclui a identificação de novas rotas e modais viários diferenciados que permitam que estes gargalos logísticos sejam minimizados, como a utilização de portos como os de Vitória, do Maranhão e do Norte do país.

3.3. Transporte da soja utilizando a região norte do país

Atualmente apresenta-se como a mais promissora das regiões brasileiras para o escoamento da soja oriunda do Mato Grosso, por permitir uma redução da distância entre as áreas de produção (inclusive com a expansão da produção para o estado do Pará) e o porto de exportação, maior viabilidade de utilização do modal aquaviário (o mais indicado para o transporte de *commodities*) e, principalmente, uma redução de custo de, aproximadamente, 30% a 40% frente às rotas do Sul e Sudeste. Abrange o chamado “Arco Norte”, incluindo os estados do Amapá, do Amazonas, do Pará, de Rondônia e, também, do Maranhão.

A produção de soja do norte do Mato Grosso tem sido intensamente escoada pela região Norte do Brasil, mais exatamente por Porto Velho de onde seguem pela hidrovia até os terminais de Itacoatiara (AM) e Santarém (PA) e daí navegam pelo rio Amazonas rumo ao oceano Atlântico. A produção do Nordeste, por sua vez, também pode usufruir das vantagens de ser escoada pelo norte do país, desde que, preferencialmente, pelos estados do Pará ou do Maranhão devido à maior proximidade dos portos às áreas produtoras. Ao longo dos últimos anos, portanto, tem-se observado uma maior pulverização entre os portos do Brasil em relação à exportação do complexo da soja, com breve redução na exportação pelo porto de Santos, mas que ainda se mantém como o maior porto exportador de soja do país.

O desempenho da região Norte com os portos do Arco Norte já despontam como uma segunda força à nível nacional, na movimentação de volume de soja exportado e superando portos como os de Paranaguá e Rio Grande que, historicamente, se alternam na segunda posição.

Em geral, a dificuldade e a falta de investimento em infraestrutura de escoamento da soja têm proporcionado ao Brasil uma descentralização deste processo, em verdade a duras penas e graças, basicamente, a interesses da iniciativa privada e de cooperativas de produtores que se veem obrigados a encontrarem ou desenvolverem novas rotas. Exemplo disso são as ações dos grupos Cargill e Amaggi na década de 1990, com a construção de portos graneleiros em Santarém (PA) e Itacoatiara (AM) para exportação, e uma base em Porto Velho para transbordo, no contexto da hidrovia do rio Madeira. Segundo Silva (2007), no caso de Itacoatiara, esta rota proporciona uma redução de US\$ 32.00/t na soja exportada para Europa, dos quais US\$ 20.00/t corresponderiam, à época, ao custo operacional. Além disso, proporciona o aproveitamento das barcaças vazias que, após descarga da soja em Itacoatiara, retornariam a Porto Velho carregadas, por exemplo, com fertilizantes, permitindo, ainda, a redução do valor do frete nesta operação.

Apesar das dificuldades e da falta de investimentos necessários na malha hidroviária, a Hidrovia do Madeira destaca-se no contexto nacional, conforme ANTAQ (2013), sendo a terceira maior hidrovia em toneladas transportadas na navegação interior e a principal hidrovia brasileira em termos de TKU, com mais de 5,4 bilhões, ultrapassando a Hidrovia Solimões-Amazonas, que transportou 5,3 bilhões de TKU em 2012.

Na Figura 1 são ilustradas as rotas de escoamento da soja de Mato Grosso nos estados do Pará, Amazonas e Rondônia, os modais empregados no processo e a mais recente rota pelo distrito de Miritituba, que desponta como a principal atração de investimentos e promessa de diferencial em relação à logística das regiões Sudeste e Sul do país.

O que se observa hoje no Brasil, apesar da grande variedade de rios navegáveis e um enorme litoral, é uma malha hidroviária minúscula, fruto da falta de interesse no desenvolvimento eficiente deste setor de transporte, devido a ideia errônea de geração de desemprego no setor rodoviário.



Figura 1: Rotas de escoamento da soja na região Norte e modais empregados no processo

Fonte: Oliveira, 2015.

Um fator a se ressaltar é a possibilidade de utilização de contêineres vazios disponibilizados no modal aquaviário, representando não somente potenciais vantagens de custeio, mas também, ganhos ambientais, já que cada comboio de seis balsas transportando 10,2 mil toneladas de cargas equivale a 275 carretas bitrem. Isto proporciona a redução na emissão de CO₂ para a atmosfera como consequência de menor consumo de combustíveis tanto no transporte da carga quanto na confecção de peças e equipamentos (ROCHA, 2009). A Figura 2 ilustra a quantidade de caminhões retirados das estradas com a implementação do transporte aquaviário a partir da utilização de barcaças e contêineres no transporte da soja.

3.4. Principais rotas e modais de escoamento da soja no Brasil

As regiões Sul e Sudeste do Brasil apresentam a melhor estrutura para a logística do agronegócio brasileiro. Isto se deve ao desenvolvimento de políticas estruturais no seguimento agroindustrial desde a década de 1960, contemplando variados setores e estabelecendo, portanto, um complexo modal bastante

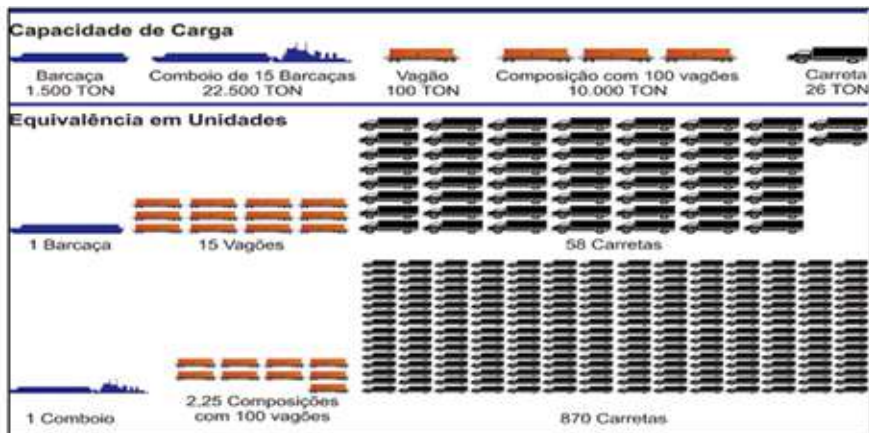


Figura 2: Relações de equivalência entre as toneladas transportadas nos modais aquaviário, ferroviário e rodoviário

Fonte: CNT, 2011.

desenvolvido nesta região. Porém, o crescimento da produção brasileira e de carnes nas últimas décadas não foi acompanhado pelo aumento de uma capacidade de investimento que fosse compatível com os processos de descentralização e de interiorização desta produção. No contexto específico do escoamento de grãos/soja, o desafio que se impunha era o de se estabelecer rotas, em outras regiões do Brasil, que reduzissem as distâncias entre os polos produtivos mais centralizados.

- i) Região Sudeste: malha rodoviária ampla e diversificada, com boa infraestrutura, porém, uma das mais caras em decorrência do grande número de pontos de pedágios. Uma das opções refere-se a BR-050 que liga o Triângulo Mineiro a São Paulo. Grande parte da soja do Centro-Oeste segue no modal rodoviário com destino ao porto de Santos, ocasionando grande congestionamento nas rodovias e uma intensa busca por rotas de “fuga” dos pedágios. Desde 2013 os produtores do Centro-Oeste dispõem da opção ferroviária desde o município de Rondonópolis até o porto de Santos. A malha ferroviária brasileira está concentrada nas regiões Sul e Sudeste do Brasil,

mas com previsão de ampliação para a área central em função do destaque da região Centro-oeste na produção nacional de grãos (IPEA, 2011).

- ii) Região Centro-oeste: as duas principais rodovias da região – BR-163 e BR-364 – são utilizadas para o escoamento da maior produção de soja registrada para o país, no Centro-Oeste brasileiro. Ainda em obras de alargamento e de melhoria da pavimentação, a BR-163 interliga as áreas produtoras do estado do Mato Grosso ao porto de Paranaguá (PR) e, mais recentemente, no sentido contrário (para o Norte do estado), ao porto de Santarém (PA). A BR-364 faz a ligação do estado do Mato Grosso aos estados do Mato Grosso do Sul e de Rondônia, a partir do qual verifica-se a opção pelo modal hidroviário com destino aos portos de Itacoatiara (AM) e Santarém (PA) pela hidrovia do Madeira ao longo de, aproximadamente, 1.030km e, no sentido contrário, ao porto de Santos (SP). Atendendo ao redirecionamento do escoamento da produção regional, é também utilizada a BR-070. A opção intermodal rododiferroviária está representada pela ferrovia Alto Araguaia em direção à Rondonópolis e ao porto de Santos, denominada América Latina Logística Malha Norte S.A (ROCHA, 2009 e OJIMA, 2006).

4. METODOLOGIA

Esta pesquisa é de natureza descritiva, exploratória e documental-bibliográfica. A abordagem utilizada para a análise de dados é quantitativa e comparativa, e fundamentada nas técnicas de análise de custo baseado em atividades (*Activity-Based Costing – ABC*) e Análise custo-benefício (*Benefit-cost Analysis*).

O trabalho de campo, realizado por meio de entrevistas semiestruturadas com informantes, foi utilizado para, como sugere Gil (2002), permitir a observação direta das atividades dos grupos estudados, indo além da análise de documentos e propiciando um melhor entendimento dos aspectos relacionados ao problema

da pesquisa, sugerindo explicações adicionais/complementares e fortalecendo a produção de resultados fidedignos.

Por se tratar de uma pesquisa sobre a viabilidade do transporte da soja de Mato Grosso para Manaus, com fins de exportação, foi necessário incluir dados e informações sobre múltiplos aspectos relacionados a este processo, tais como: custos de todas as atividades pertinentes ao transporte, valores dos fretes de todos os fluxos envolvidos, custos das perdas, estadias, estoques em trânsito, envios, custos de estufagem da carga e das taxas portuárias, além de rotas comparativas já praticadas para outras regiões.

4.1. Rotas de escoamento

Rotas de escoamento referem-se aos caminhos utilizados para levar a produção ao porto de embarque desde seu ponto de origem, neste caso, a propriedade agrícola produtora. As rotas de escoamento da soja selecionadas para validação do modelo são amplamente utilizadas por transportadoras do estado do Mato Grosso e da região Norte, para exportação no formato a granel e, por este motivo, figuram nesta pesquisa.

A decisão de determinar o estado do Mato Grosso como ponto de origem das rotas para o Norte deu-se em função dos seguintes fatores: distância das áreas produtoras deste estado aos portos de exportação; maior volume nacional na produção do grão; elevados custos logísticos envolvendo o escoamento da soja; e possibilidade real de redução de custos logísticos a partir da utilização de rotas pela região Norte do país, com navegação pelos rios Madeira e Amazonas.

Os portos selecionados como destinos das cargas para análise foram os de Santos e Manaus, o primeiro por exportar grandes volumes de soja oriunda de Mato Grosso e que sofre as consequências de gargalos logísticos no embarque dos produtos, servindo, portanto, como porto de referência para as análises aqui encaminhadas. Vide Quadro 1.

ORIGEM	DESTINO	MODAL
Rota 1 Sapezal (MT) Porto Velho (RO)	Porto Velho (RO) Itacoatiara (AM)	Rodoviário Hidroviário
Rota 2 Sapezal (MT)	Santos (SP)	Rodoviário
Rota 3 Sapezal (MT)	Santarém (PA)	Rodoviário
Rota 4 Sapezal (MT) Porto Velho (RO)	Porto Velho (RO) Manaus (AM)	Rodoviário Hidroviário
Rota 5 Campo Novo do Parecis (MT) Porto Velho (RO)	Porto Velho (RO) Itacoatiara (AM)	Rodoviário Hidroviário
Rota 6 Campo Novo do Parecis (MT)	Santos (SP)	Rodoviário
Rota 7 Campo Novo do Parecis (MT)	Santarém (PA)	Rodoviário
Rota 8 Campo Novo do Parecis (MT) Porto Velho (RO)	Porto Velho (RO) Manaus (AM)	Rodoviário Hidroviário

Quadro 1: Rotas de análises comparativas e de realização da pesquisa proposta

Fonte: Oliveira, 2015.

Quanto à escolha dos municípios de oferta, foram pontuados os municípios mato-grossenses a Noroeste do estado com as maiores produções de soja e que já escoavam estas produções por portos do Norte do país. Isto inclui, em especial, Sapezal e municípios circunscritos que realizam transbordo na cidade de Porto Velho e dão prosseguimento ao escoamento até outros portos da região para exportação, como Itacoatiara e Santarém (MDIC, 2014). O menor trajeto rodoviário até o porto de transbordo, como sugerido acima, foi critério

adotado para a escolha dos municípios de Sapezal e Campo Novo do Parecis, ambos localizados ao Norte do estado do Mato Grosso.

A rota com destino em Manaus prevê a utilização de contêineres que são esvaziados no porto desta cidade, vão vazios no trecho hidroviário até Porto Velho e de lá retornam carregados com soja para ser exportada. No Quadro 1 estão explicitadas rotas, modais, cidades e portos envolvidos na pesquisa de análise de custos, bem como os comparativos com rotas praticadas usualmente no mercado nacional.

4.2. Método de identificação do custo total

Nesta etapa são feitas algumas considerações importantes sobre o desenvolvimento e a escolha do modelo de análise utilizado na pesquisa.

A precificação da soja utilizada nesta pesquisa foi coletada do sítio da APROSOJA, em que é publicada diariamente a cotação na cidade produtora já adequada a bolsa de Chicago (valores já inclusos o prêmio localidade).

As rotas destinadas ao porto de Santos foram analisadas com o objetivo de desenvolver todo o traçado no modal rodoviário e comparar os custos de envio da soja do Noroeste de Mato Grosso (região com elevados índices de produção) para Santos ou pela região Norte do país.

Os direcionadores de custo utilizados neste artigo apresentam características desenvolvidas em outras pesquisas de campo, como as realizadas por Ângelo (2005), Kussano (2010), que sustentam práticas já consolidadas e comprovadas na área. Definem-se, assim, os seguintes direcionadores de custos, considerados adequados ao desenvolvimento de avaliações de custos totais do transporte dos diversos modais: i) Custos: $C \text{ frete} = C \text{ serviço} + C \text{ tributos} + C \text{ seguros} + C \text{ pedágios}$; ii) $C \text{ tributário} = C \text{ ICMS frete} + C \text{ ISS transbordo}$; iii) $C \text{ estoque em trânsito} = () * \text{Valor da mercadoria em trânsito}$; iv) $C \text{ portuários} = C \text{ portuário} = C \text{ Taxas portuárias}$; v) $C \text{ transbordo} = C \text{ taxa transbordo} + C \text{ perda}$; $C \text{ perda} = \% \text{ perdido} * \text{preço da mercadoria}$; vi) $C \text{ estadia} = n \text{ dias} * \text{tonelada} * \text{preço diária}$; vii) $C \text{ envio} = C \text{ movimentação} + C$

frete de envio (C serviço + C taxas portuárias + C seguro)

O custo de envio foi incluso neste modelo em decorrência da necessidade de envio dos contêineres vazios de Manaus para a cidade de Porto Velho, incorporando-se o cálculo dos custos da exportação por Manaus.

Após a identificação das atividades de transporte de soja com a utilização de contêineres vazios e de todos os custos envolvidos no processo, chegou-se ao modelo representado na Equação a seguir:

C transporte soja

$$\begin{aligned} &= C \text{ frete} (C \text{ serviço} + C \text{ tributos} + C \text{ seguros} \\ &+ C \text{ pedágios} + C \text{ envio} + C \text{ perdas} \\ &+ C \text{ estoque em trânsito} + C \text{ transbordo} + C \text{ estoque} \end{aligned}$$

A análise pelo método de custeio por atividade justifica-se, portanto, por apresentar vantagens frente a outros métodos, como diminuição de arbitrariedades no rateio, maior adequação à análise de serviços e maior acurácia na identificação das atividades mais caras dos processos.

4.3. Análise de custo-benefício

O método de Análise de Custo–Benefício (CBA) foi escolhido para validar a análise de viabilidade da proposta aqui encaminhada. Este método representa um processo sistemático para calcular e comparar os benefícios e custos de um projeto para duas finalidades: determinar se é um bom investimento (justificação e viabilidade, como no presente caso) e verificar como ele se compara com projetos alternativos (atribuição de prioridade e ranking).

A análise dos resultados pelo método CBA deve considerar todos os benefícios e custos proporcionados para alguém, comunidade, organização ou o coletivo destes, com destaque para alguns tipos de impactos. Outros grupos que acumulam custos e benefícios significativos, também, devem ter estes custos e benefícios identificados e estimados, já que são potenciais fontes de apoio ou de oposição ao projeto.

5. RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados da pesquisa de campo referente aos custos do transporte de soja nas rotas escolhidas para análise com o levantamento das atividades desde a cidade produtora ao porto de embarque no Brasil. Esta avalia a utilização de contêineres de 20' e 40', de acordo com o devido tratamento dos dados obtidos nos variados órgãos, transportadores, armadores, portos e centros de pesquisas consultados ao longo da pesquisa.

Na etapa seguinte uma análise total dos custos de transportar a soja até o destino final, ou seja, desde o produtor no Brasil até o porto de destino, Xangai na China.

5.1. Custos nacionais de transportar soja utilizando contêiner de 20' e 40'

As rotas analisadas neste artigo compreendem, na origem, o momento da colheita da soja, todo o trajeto percorrido pela carga nos distintos modais chegando no porto de embarque para exportação e no porto de destino final. Em alguns casos, a soja colhida é transferida diretamente ao caminhão transportador dentro da propriedade, daí seguindo prontamente para o porto.

O custo de transbordo da soja oriunda de Mato Grosso, de caminhões bitrem para contêineres no TUP de Porto Velho, estão embutidos na taxa portuária, que inclui o uso de equipamento para sucção e transferência de grãos, lona de proteção do contêiner e taxa do serviço de transferência.

O frete interno, ou seja, do produtor ao porto de embarque, na rota em destaque, nesse caso Manaus, apresentou um dos menores valores em representatividade, comparando ao porto de Santos, ao custo total de transporte: 65,54% e 66,06% saindo de Sapezal e Campo Novo do Parecis respectivamente. No entanto, esta análise demonstra quanto o percentual do custo de frete interfere nos custos totais de transportar soja ao porto de embarque. Estes percentuais elevados na participação do frete no custo total foram apontados no trabalho de Kussano (2010).

O Gráfico 2 detalha o percentual de todos custos envolvidos no transporte da rota de Manaus utilizando contêiner de 20'. O Gráfico 2 mostra as atividades de transbordo e envio com, aproximadamente, 19% e 12% dos custos totais, respectivamente, e confirmam a participação relevante destes percentuais na composição do custo total, identificando a relevância dos custos de transbordo na formação dos custos totais.

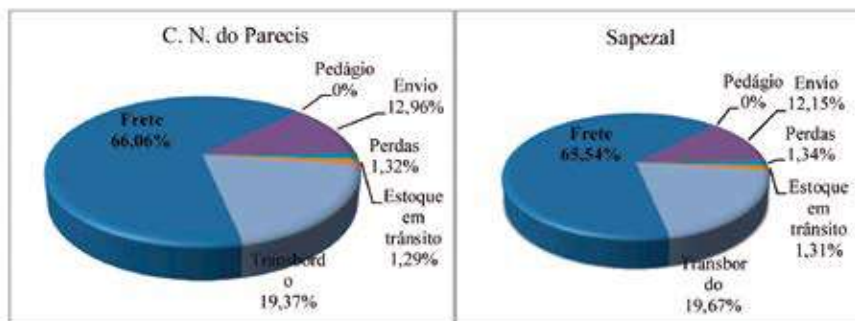


Gráfico 2: Participação dos custos por atividades no custo total de transporte utilizando contêiner de 20'

Fonte: Oliveira, 2015.

Nos portos de Manaus, aproximadamente 80% dos contêineres vazios são de 40', apresentando altos índices de ociosidade que pode ser revertida e encorajar o incremento de rotas de exportação pela região norte.

O Gráfico 3 exibe os percentuais de custo total do transporte de soja com a utilização de contêineres de 20' e 40', a partir de Manaus e ao longo de outras rotas; os custos de referência utilizados dizem respeito à rota com destino ao porto de Santos (SP).

No Gráfico 3 é possível identificar o percentual de diferença dos valores entre as rotas analisadas e a rota de Santos. Transportar soja utilizando contêineres de 40', e exportá-la por Manaus, possui um custo 38% mais elevado, desde a origem em Sapezal, do que a exportação pelo porto de Santos. Quando a origem é Campo Novo do Parecis, o custo eleva-se em 43,7%.

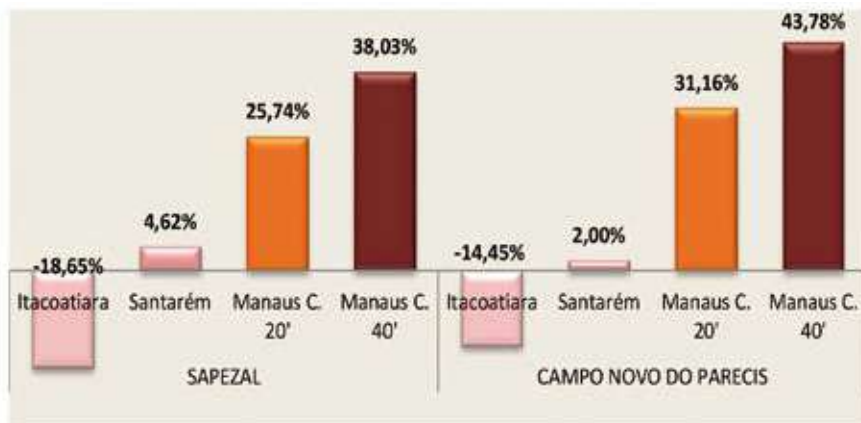


Gráfico 3: Percentual de diferença do custo total no transporte de soja utilizando contêiner de 20' e 40'

Fonte: Oliveira 2015.

5.2. Transporte Marítimo e o Custo Total na Exportação

A comparação dos valores de exportação do porto de embarque no Brasil para o seu destino, se faz necessária para permitir a averiguação das vantagens para produtor, ao utilizar a rota proposta e, da mesma forma, para o comprador estrangeiro em termos do porto a utilizar. Foi escolhida a China (Xangai) como o país de destino das exportações em decorrência do expressivo volume de soja adquirido do Brasil e da origem predominantemente asiática dos contêineres disponíveis em Manaus.

Na Tabela 1 são apresentados os valores dos fretes a partir dos portos de Itacoatiara, Santarém, Santos e Manaus com relação ao contêiner de 20' e 40'. É demonstrada, também, a somatória dos custos do transporte nacional, desde os municípios produtores, incluindo o total de todos os custos marítimos. Permitindo a visualização do tempo de viagem, distância do transporte e dos custos da soja até o destino final (porto de Xangai, China).

Tabela 1: Custo do transporte marítimo em contêineres de 20' e 40' valor total da soja entregue na China com valores reduzidos no frete interno, em US\$

	Rota 1	Rota 2	Rota 3	Rota 4	Rota 5	Rota 6	Rota 7	Rota 8
Custo no transporte nacional	91.17	112.06	117.24	140.91	93.30	109.07	111.25	143.05
	91.84	112.06	117.91	154.68	93.98	109.07	111.92	156.82
Custo no transporte marítimo	22.72	44.83	22.72	22.72	22.72	44.83	22.72	22.72
	24.07	44.83	24.07	24.07	24.07	44.83	24.07	24.07
Distância no transporte (mn)	11490	11056	11193	11592	11490	11056	11193	11592
	11490	11056	11193	11592	11490	11056	11193	11592
Dias de transporte	32,20	30,71	31,12	32,20	32,20	30,71	31,12	32,20
	32, 5	30, 17	31,30	32,05	32,50	30, 17	31,30	32,05
Custo total do transporte	113.89	156.89	139.96	166.63	116.02	153.90	133.97	165.77
	115.91	156.89	141.98	178.75	118.05	153.90	135.99	180.89
Custo da soja no país de destino	493.00	536.00	519.07	542.74	495.13	533.01	513.08	544.88
	495.02	536.00	521.09	557.86	497.16	533.01	515.10	560.00

Fonte: Oliveira, 2015.

Obs: os números em itálico correspondem aos contêineres de 40'

De acordo com a Tabela 1, os preços marítimos reduzidos (descontos devido ao aumento de serviços com a utilização da soja) utilizando o contêiner de 20' e 40' e os valores com o preço final da soja mostrou-se competitivo em relação a Santos. Porém as rotas 4 e 8, referentes ao município de Manaus, ainda apresentam valores elevados em decorrência dos custos no transporte interior.

Os custos de utilizar o contêiner de 40' em comparação aos de 20' analisadas desde a saída de Sapezal e Campo Novo do Parecis apresentam preços praticados por armadores, são 8,7% maiores na rota de Manaus quando comparados aos contêineres de 20'.

5.3. Análise Custo-benefício

A aplicação da metodologia ABC permitiu identificar os custos totais de transporte do produtor (exportador) de soja de dois municípios do estado do Mato Grosso ao longo do processo de escoamento de sua produção, em oito diferentes rotas, até os portos de exportação e porto do cliente (importador externo). Permitiu, também, identificar os custos do uso de contêineres para esse transporte.

Na comparação entre as rotas de Manaus e de Santos por meio da Análise de custo-benefício (CBA), se emprega a técnica de avaliação econômica destinada a comparar os custos e benefícios de alternativas de implementação e tomada de decisão. Esta técnica permite a avaliação dos custos totais e, também, dos benefícios não monetário. A Tabela 2 apresenta os índices de custo-benefício associados à decisão de se utilizar contêineres vazios para o transporte e exportação de soja, a partir do porto de Manaus, em alternativa ao Porto de Santos.

Tabela 2 Análise de custo-benefício em utilizar os TUPs de Manaus para exportação de soja por contêineres

Rotas	Custos US\$	Benefícios
Rota 02 - Sapezal - Santos - Xangai	19.295.400	Trânsito total: 45 dias 4 dias em espera no transbordo 2 dias em viagem rodoviário 8 dias em espera de navio 31 dias em viagem marítimo
Rota 04 -Sapezal - Manaus - Xangai	19.919.664	Trânsito total: 41 dias 4 dias em espera no transbordo 1 dia em viagem rodoviário 4 dias em viagem aquaviária 32 dias em viagem marítimo Redução de 1.120 km no transporte rodoviário
Rota 06 - C. N. Parecis - Santos - Xangai	19.188.360	Trânsito total: 45 dias 4 dias em espera no transbordo 2 dias em viagem rodoviário 8 dias em espera de navio 31 dias em viagem marítimo
Rota 08 -C. N. Parecis - Manaus - Xangai	19.615.680	Trânsito total: 41 dias 4 dias em espera no transbordo 1 dia em viagem rodoviário 4 dias em viagem aquaviária 32 dias em viagem marítimo Redução de 1.120 km no transporte rodoviário

Fonte: Oliveira, 2015.

A Tabela 2 relaciona os custos aos benefícios em geral, como na redução da fila de espera dos caminhões e navios, na redução do impacto ambiental com a utilização do modal aquaviário, nos dias de viagem da fazenda ao porto de embarque e deste ao porto de destino.

A viabilidade de rotas associadas ao uso de contêineres vazios e TUPs de Manaus para exportação desponta como um fator de superioridade sobre as rotas relacionadas ao porto de Santos. Estas rotas apresentam vantagens monetárias que podem beneficiar o produtor no longo prazo, tais como: a utilização de 53% do transporte no modal aquaviário, reduzindo consideravelmente a pegada de carbono; 4 dias de vantagem no trânsito total até o país de destino; e a opção de negociar prazos e preços da soja em decorrência de maior fluidez no escoamento da safra.

Portanto, observa-se que o percentual de 2,8% mais elevado nos custos da rota de Manaus, passíveis de redução com melhorias no processo, é diminuto quanto os benefícios apresentados no acumulado e para todos os envolvidos na cadeia desde que a prática permita possíveis alternativas de escoamento com o ganho e redução de impactos ambientais e elevação dos impactos econômicos e sociais em detrimento da manutenção de métodos saturados e que os agentes envolvidos não possuem margem para ganhos satisfatórios, concentrando-se somente em um elo da cadeia.

6. CONCLUSÕES

A oferta de uma nova rota por Manaus pode beneficiar outros agentes da cadeia, dentre eles o comprador, que não necessita pagar o *demurrage*, incumbência frequente no porto de Santos, bem como o importador, que arca com custos reduzidos nesta rota, pois o custo do transporte marítimo, por exemplo, é 45% menor que aqueles observados na rota de Santos. Outro beneficiado na utilização de contêineres vazios a partir de Manaus é o Armador, que não necessita enviar o navio para outros portos em busca de fretes, seguindo diretamente para China e ganhando

produtividade, uma vez que, partindo de Manaus com contêineres vazios, o tempo de retorno a China é de, aproximadamente, 90 dias, com a necessidade de completar as cargas em outros portos. O agente portuário, também, se beneficia desta rota, pois os índices de produtividade podem alcançar parâmetros próximos do ótimo na movimentação de contêineres, neste caso estufado de soja.

Com a introdução dos volumes de contêineres vazios da cidade de Manaus, os índices de exportação da soja através dos portos do Norte dariam um salto considerado em volume exportado, possibilitando um volume de aproximadamente 1,6 mi de toneladas/ano, representando assim, em volume, entre os tradicionais portos de exportação de soja do país, com ampliação dos números de Manaus e da navegação aquaviária no Arco Norte sem a necessidade de investimentos maiores em infraestrutura (OLIVEIRA, 2015)

Acredita-se que, com o desenvolvimento destas atividades por Manaus, os índices nacionais quanto à distribuição da matriz de transporte tende a melhorar, tanto nos TUPs da região Norte, quanto nos do Sul e Sudeste, com a diminuição da concentração das atividades nestes. Deve-se destacar que é diminuta necessidade de investimentos em estrutura portuária e de apoio. Além do mais, cria-se a oportunidade de benefícios para o Polo Industrial de Manaus, pois existindo o frete de retorno pode-se reduzir o frete de importação.

Foram identificados três fatores preponderantes para a elevação dos custos das rotas relacionadas ao porto de Manaus: o frete de envio dos contêineres vazios para o porto de Porto Velho; o frete de retorno em contêineres e o transbordo dos caminhões para contêineres.

No entanto, conclui-se que é viável transportar soja utilizando os contêineres vazios de Manaus, e um dos fatores determinantes para isto é evidenciado, especificamente, no frete ser mais barato que utilizar o frete rodoviário para Santos.

REFERÊNCIAS

- ÂNGELO, L. B. (2005). Custos Logísticos de Transferência de Produtos. *Estudos realizados-GELOG-UFSC*. Disponível em: <ww.gelog.ufsc.br/joomla/attachments/047_2005-2>. Acesso em jun. 2014.
- ANTAQ - Agência Nacional de Transportes Aquaviário (2014). *Boletim anual de movimentação de cargas 2013: análise da movimentação de cargas nos portos organizados e terminais de uso privado*. Brasília.
- ANTAQ - Agência Nacional de Transportes Aquaviário (2017). *Boletim anual de movimentação de carga*. Brasília. Disponível em: <<http://web.antaq.gov.br/Anuario/>>. Acessado em set. 2018.
- BRUM, A. L. *et al.* (2005) A economia mundial da soja: impactos na cadeia produtiva da oleaginosa no Rio Grande do Sul 1970-2000. Congresso da Sober em Ribeirão Preto, 43, São Paulo. *Anais*. Brasília: SOBER. Disponível em: <www.scielo.br/scielo.php>. Acesso em mar. 2014.
- CHIARA, M. (2018). *Paralisação dos caminhoneiros afeta o agronegócio*. O Estado de S. Paulo. Disponível em: <<https://economia.estadao.com.br/noticias/geral,apesar-dos-transtornos-produtores-de-soja-do-mt-apoiam-greve-dos-caminhoneiro>> em: 23.09.2018.
- CISOJA – Centro de Inteligência da Soja (2014). *Histórico*. Disponível em: <<http://www.cisoja.com.br/index.php?p=historico>>. Acesso em Jul. 2014.
- CNT – Confederação Nacional do Transporte (dez., 2013). *Boletim estatístico*. Disponível em: <http://www.cnt.org.br/Imagens%20CNT/PDFs%20CNT/Boletim>>. Acesso em maio, 2014.
- COELI, C. M. C. (2004). Análise da demanda por transporte ferroviário: o caso de transporte de grãos e farelo de soja na Ferronorte. *Dissertação de Mestrado*. Instituto CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. (2014). *Série Histórica de Área Plantada, Produtividade e Produção – Grãos*. Disponível em: <www.conab.gov.br> Acesso em mar. 2014.
- COPPEAD de administração - UFRJ,
- CORREA, V. H. C.; RAMOS, P. (2010). A precariedade do transporte rodoviário brasileiro para o escoamento da produção de soja do Centro-Oeste: situação e perspectivas. *Rev. Econ. Sociol. Rural* vol.48 no.2 Brasília.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2000). *Agronegócio da soja, 2000*. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>>. Acesso em nov. 2019.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2014). *Soja em números – Safra 2018-19*. Disponível em: <www.cnpso.embrapa.br/producao/soja/SojanoBrasil>. Acesso em fev. 2019.
- GIL, A. C. (2002). *Como elaborar projetos de pesquisa*, 4. ed. São Paulo: Atlas.

- GUIMARÃES FILHO, C. (abril, 2014). *Paraná alavanca exportação nacional de grãos em contêineres*. Disponível em: <<http://agro.gazetadopovo.com.br/noticias/logistica/graos>>. Acesso em ago. 2014.
- IPEA (2009). *Ferrovias - O futuro sobre trilhos - Volume de cargas transportadas e investimento em alta*. Disponível em: <<http://www.ipea.gov.br/desafios>>. Acesso em ago. 2014.
- JANK, M. S.; NASSAR, A. M.; ACHINARDI, M. H. (2004-2005) Agronegócio e comércio exterior brasileiro. *Revista USP*, São Paulo, n.64, p. 14-27.
- KUSSANO, M. R. (2010). Proposta de modelo de estrutura do custo logístico do escoamento da soja brasileira para o mercado externo: o caso do mato grosso. *Dissertação de Mestrado*. São Carlos: UFSCAR.
- MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2014). *Balança comercial brasileira e balanço comercial do agronegócio: 1989 a 2013*. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/internacional/indicadores-e-estatisticas/balanca-comercial>>. Acesso em Jun. 2014.
- MARTINS, P. G. (2009). *Administração de materiais e recursos patrimoniais*. 3. ed. São Paulo: Saraiva.
- MDIC/DEAEX - Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Departamento de Estatística e Apoio à Exportação. *Balança comercial brasileira (2013)*. Disponível em: <<http://www.desenvolvimento.gov.br/sitio/interna/busca.php>>. Acesso em abr. 2014.
- MDIC/SECEX - Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (2014). Secretaria de Comércio Exterior. *Estatística, exportação de commodities*. Disponível em: <<http://www.desenvolvimento.gov.br/sitio/interna/busca.php>>. Acesso em abr. 2014.
- MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES (2012). *PNLT - Plano Nacional de Logística e Transportes*. Relatório final do projeto referente ao contrato no 18/2010-SPNT/MT, firmado entre o Ministério dos Transportes e o Consórcio LOGIT/GISTRAN. Brasília.
- NOVAES, A. G. (2003). *Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição: estratégia, operação e avaliação*. Rio de Janeiro: Campus.
- OJIMA, A. L. R. O. (2006). Perfil da logística de transporte de soja no Brasil. *Revista Informações econômicas*, São Paulo, v.36, n.1, jan.
- OLIVEIRA, B. D. (2015). *Análise dos custos de transporte de soja por meio de contêineres e os terminais portuários de Manaus como uma nova rota para exportação da soja brasileira*. *Dissertação de Mestrado*. Manaus: UFAM.
- ROCHA, B. S. O. (2013). Diagnóstico e perspectiva do transporte aquaviário da soja e do trigo no Brasil. *Dissertação de Mestrado em engenharia de transporte - Curso de pós-graduação em Engenharia de transporte*, Instituto militar de engenharia, Rio de Janeiro. p.193.

SEP – Secretaria de Portos da Presidência da República (2013). *Plano Mestre. Porto de Manaus.*

TCP - Terminal de Contêineres de Paranaguá (2016). *Exportação de grãos por contêiner cresce 90% na TCP.* Disponível em : <<https://www.tcp.com.br/exporta-cao-de-graos-por-conteiner-cresce-90-na-tcp/>> Acesso em set., 2018.

USDA/MAS - U.S. Dept. of Agriculture, Agricultural Marketing Service (2014). *Grain Transportation Report, July 31, 2014.* Disponível em: <<http://www.ams.usda.gov/AMSV1.0>>. Acesso em ago., 2014.

USSEC - United States Soybean Export Council (2014). *Analysis of Transit Times, Transportation Costs and Predictability of Delivery.*

.

Endereço para correspondência:

- (1) Oliveira, Bruno Duarte. Rua N. Sra. do Rosário, S/N, Tiradentes – Itacoatiara - AM, brunoduarte@ufam.edu.br
 - (2) Rocha, Augusto Cesar Barreto. Av. Rodrigo Otávio, S/N, Coroado – Manaus - AM, augusto@ufam.edu.br
- (1;2) Universidade Federal do Amazonas - UFAM

A IMPORTÂNCIA DO SERVIÇO DE TRÁFEGO DE NAVIOS (VTS) NA BACIA AMAZÔNICA

THE IMPORTANCE OF VESSEL TRAFFIC SYSTEM (VTS) IN THE AMAZONA BASIN

OLIVEIRA, M. H.¹; FIGUEIREDO, N. M.²
(1;2) Universidade Federal do Pará

RESUMO

Em águas restritas, o sistema de Serviço de Tráfego de Navios (VTS) é estritamente necessário quando há a existência de restrições físicas, tais como proximidade de terra, perigos à navegação e baixo calado. O VTS deve ser visto como um sistema que otimiza o tráfego, e que procura manter um nível desejado de segurança. Apesar de não haver acidentes significativos de poluição ou de grande risco à vida humana, faz-se necessário ter um sistema que diminua ou anule as possibilidades de acidentes que venham a causar um impacto maior no transporte de grãos exportados internacionalmente pelos rios da Amazônia.

Palavras-chave: Serviço de tráfego de navios (VTS). Tráfego fluvial na Amazônia. Gerenciamento de tráfego.

ABSTRACT

In shallow waters, the Ship Traffic Service (VTS) system is strictly necessary when there are physical restrictions such as proximity to land, navigation hazards and low draft. VTS should be viewed as a traffic-optimizing system that seeks to maintain a desired level of security. Although there are no significant pollution accidents or major *et al.* risks to human life, it is necessary to have a system to reduce or nullify the possibility of accidents that may have a greater impact on the transport of grains exported internationally by Amazonian rivers.

Keywords: Ship traffic service (VTS). Amazon river traffic. Traffic management

1. INTRODUÇÃO

A movimentação de commodities agrícolas e minerais tem fomentado a navegação na região norte. O acesso às bacias hidrográficas do Amazonas e do Tocantins ocorre através do complexo estuarino dos rios Amazonas conhecido como Barra Norte e Barra Sul, e rio Pará, através dos Canais do Quiriri e Espadarte, incluindo-se a margem da Ilha do Marajó, no qual representam o ponto inicial de entrada para os navios que acessam importantes portos da Região Amazônica, tais como: Vila do Conde-PA, Santana-AP, Munguba-PA, Santarém-PA, Trombetas, Juruti-PA, Itacoatiara-AM e Manaus-AM.

Nesse diapasão, encontra-se a Baía do rio Amazonas que possui importância global por ser a maior baía mundial e concentrar um quinto das águas doces fornecidas aos oceanos através do Rio Amazonas, um dos maiores rios navegáveis do planeta. Em águas restritas, o sistema de VTS é estritamente necessário quando há a existência de restrições físicas, tais como proximidade de terra, perigos à navegação e baixo calado.

O VTS deve ser visto como um sistema que otimiza o tráfego, e que procura manter um nível desejado de segurança. Apesar de não haver acidentes significativos de poluição ou de grande risco à vida humana na Amazônia, faz-se necessário ter um sistema que diminua ou anule as possibilidades de acidentes que venham a causar um impacto maior no transporte de grãos exportados internacionalmente.

2. TRÁFEGO FLUVIAL NA AMAZÔNIA

O tráfego fluvial na Amazônia possui características próprias que o distingue dos demais sistemas de transporte, tais como o rodoviário e o aéreo, pois possui papel de vital importância no cenário social e econômico da bacia amazônica, e se constitui no principal e único modo de integração da região, onde os rios muitas vezes podem ser o elemento que separa, mas que ao mesmo tempo rompem com as distâncias através da navegabilidade dos rios que a compõem.

Conforme BRASIL (2019), “o modal rodoviário só não predomina na região amazônica, onde o transporte por vias fluviais tem grande importância, devido à densa rede hidrográfica natural.”

As duas características que mais se destacam na Amazônia no transporte fluvial de cargas são os comboios e a autonomia que permite operar por semanas sem reabastecimento ou assistência.

Segundo Padovezi (2003), a tentativa de se obter desempenhos econômicos significativos usufruindo da fluidez dos rios faz com se tente compensar as baixas velocidades com um grande volume de carga transportado, para que exista uma eficiência econômica do transporte utilizando as vias navegáveis.

A tecnologia é uma constante na sociedade moderna, mas as vias fluviais na Amazônia ainda são, em muitos casos, a única forma de transporte e comunicação com os demais municípios, pois o rio representa a estrada para os ribeirinhos, além de possuir grande importância para a economia local e se estender beneficiando a economia brasileira através das exportações de grãos levados pelos comboios e navios até os portos exportadores.

3. GERENCIAMENTO DE TRÁFEGO DE NAVIOS (VTM)

Conforme Westrener (2014), o gerenciamento de tráfego possui três níveis de controle: estratégico, tático e controle operacional. O primeiro é sobre a seleção dos meios, o segundo sobre o uso dos meios e o terceiro sobre o controle dos meios.

O processo de entrada na região possui três níveis de controle que são associados a três janelas de tempo. O foco do período de controle de tempo é representado na Figura 1.

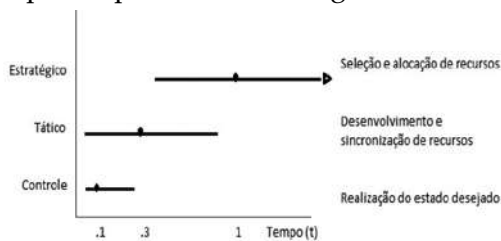


Figura 1: Níveis de controle em tempo

Fonte: Westrener, 2014.

A decisão tomada em controle estratégico está no planejamento do tráfego comercial, bem como no planejamento da detecção e da resolução de conflito. Nesse estágio faz-se necessário ter as informações dos níveis da cadeia inferior sobre o desempenho do sistema e planos individuais para situações mais comuns. A decisão no nível tático está voltada para a manobra e resolução de conflitos pela definição de rotas através de novos *waypoints* ou novas derrotas.

No controle operacional, lemes e *thrusters* são selecionados para realizar o rumo e velocidade desejada como, por exemplo, trazer o prático a bordo e continuar mantendo a fluência do tráfego

Westrener (2014) complementa que o controle de navios pode ser feito em três níveis através de derrotas (*waypoints*), vetorização (rumo e velocidade) e manobra (leme e *thrusters*).

A escolha do nível depende de quão grande são as margens de segurança referentes à navegação. Na Figura 2 foram construídas algumas sugestões de controle para a região amazônica. Todavia, não são estáticas tendo em vista a diversa malha hidroviária da região, em diversos rios que a compõe.



Figura 2: Três tipos de controles de navio adaptados à densidade do tráfego: 1 - Derrotas, 2 - Vetorização e 3 - Manobras
Fonte: Elaboração própria, 2019.

De qualquer forma, faz-se necessário conhecer os players que farão a adesão para que sejam inseridos no sistema, e assim, esses navios possam ser acompanhados na verificação de suas derrotas e pontos críticos, no momento em que estiver no desenvolvimento dessas rotas.

A escolha do nível depende de quão grande são as margens de segurança referentes à navegação, pois quanto menores as margens de segurança, maior o tipo de controle realizado no navio selecionado. A área com os mais altos níveis de controle é a menor – a de número 3, depois a de nível 2 e 1. No menor nível de controle, a carga de trabalho aumenta consideravelmente.

Westrener (2014) diz ainda, que um padrão semelhante pode ser visto quando navios que estão navegando próximos aos outros ficam juntos. Nota-se um baixo controle exercido e o controle é transferido do navio para terra.

4. SERVIÇO DE TRÁFEGO DE EMBARCAÇÕES E DOMÍNIO FLUVIAL

Conforme BRASIL (2018), o Serviço de Tráfego de Embarcações (VTS) é um auxílio eletrônico à navegação, com capacidade de prover monitorização ativa do tráfego aquaviário, cujo propósito é ampliar a segurança da vida humana no mar, a segurança da navegação e a proteção ao meio ambiente, nas áreas em que haja intensa movimentação de embarcações ou risco de acidente de grandes proporções.

Para IALA (2016), os principais objetivos de um VTS são ajudar o navegante na segurança e uso eficiente das vias navegáveis, permitir livre acesso para prosseguir com a navegação comercial e atividades de esporte e recreio, respeitando as restrições que possam existir, e contribuir para a manutenção do mar e meio ambiente adjacente, livre de poluição.

IALA (2016), também, diz que dependendo do serviço prestado podem incluir, e tampouco se limita a: monitorar o tráfego de navios, acompanhamento dos regulamentos e regras, aconselhamento supervisionado em áreas de passagem, orientação

aos navios através de informações a respeito da posição relativa do centro do canal, orientações sobre mudanças de rumo e velocidade, e informações sobre o tráfego da área.

Segundo IMO (1997) através da Resolução A.857(20), que trata das diretivas para Serviços de Tráfego de Embarcações, e descreve o VTS como sendo um serviço “implementado por uma Autoridade Competente, projetado para melhorar a segurança e a eficiência do tráfego de embarcações e para proteger o meio ambiente”. Tal serviço deve ter a “capacidade de interagir com o tráfego e responder a situações, nesse âmbito, que se desenvolvam dentro da área de VTS”.

No Brasil, a Autoridade Competente de que trata essa resolução é a Autoridade Marítima, conforme (BRASIL, 1997a), a Lei Complementar nº 97/99, art. 17, inciso II e parágrafo único, combinado com o art. 4º, inciso I, alíneas b e l da Lei nº 9.537/97, lei de Segurança do Tráfego Aquaviário – LESTA (BRASIL, 1997b).

Segundo IALA (2008), existem três diferentes tipos de serviço em terra conectados ao VTS, tais como: Serviço de Informação (Information Service – INS), Serviço de Assistência à Navegação (Navigation Assistance Service – NAS) e Serviço de Organização de Tráfego (Traffic Organization Service).

No que tange ao INS, IALA (2008), diz que esse serviço municia os processos de tomada de decisão a bordo, pois provê informações essenciais dentro da área do VTS, intenções de manobra, limites, procedimentos, contato rádio, pontos de comunicação, informações que influenciam a navegação, manobrabilidade do navio, encontros de navios em mesmo ponto, situação dos auxílios da navegação locais, congestionamento do tráfego, informações meteorológicas e muitas outras.

Bento (2013) pontua que as informações de caráter genérico são transmitidas em intervalos regulares ou por solicitação do navegante. As informações de caráter eventual, que envolvam a segurança da navegação, são transmitidas por iniciativa do operador do VTS (VTSO), como no caso dos navios que se desviem de suas derrotas e se dirijam para áreas potencialmente perigosas.

Consoante à associação, IALA (2008), o Serviço de Assistência à Navegação (NAS) tem o objetivo de apoiar através de informações

essenciais para a navegação. O NAS está dividido em duas partes de informação à navegação e avisos aos navegantes.

As informações disponibilizadas pelo NAS sobre a navegação podem conter o rumo e a velocidade desenvolvida pelo navio, bem como avisos específicos de determinados navios, posicionamento do fluxo de tráfego, acompanhamento de posições do eixo do canal e waypoints.

Os avisos aos navegantes têm uma participação ativa na tomada de decisão a bordo. E no que tange a decisão a ser tomada a bordo em determinadas situações, a Autoridade Competente emite sua deliberação em qual o melhor momento o VTS deverá ser utilizado.

Bento (2013) diz que as informações podem ser fornecidas quando solicitadas por uma embarcação ou quando avaliada a necessidade de opinar em dada situação de perigo por um Operador de Serviço de Tráfego de Embarcações (VTSO), auxiliando no método de tomada de decisão a bordo. Também, assessora nos momentos de adversidade encontradas na navegação, por avaria, mau funcionamento de equipamento de bordo ou condições ambientais desfavoráveis à navegação.

Wielgosz (2016) cita que o operado de VTS, quando encaminha informações, recomendações ou avisos, deve levar em conta o movimento de outros navios e a presença de perigos à navegação, tais como redes de pesca, cascos soçobrados, áreas restritas ou conhecidas por suas condições especiais. E ao mesmo tempo deve entender o grau de risco que a embarcação avaliada representa para outros navios e outros, assim como os com características distintas.

IALA (2016) descreve o Serviço de Organização de Tráfego (TOS) como um serviço que tem por objetivo manter o tráfego seguro, fluído e eficiente na área de acompanhamento do VTS.

O TOS visa manter a pró-atividade do planejamento no movimento do tráfego aquaviário, especialmente em casos de congestionamento ou em outros aspectos que tenham impacto direto no tráfego da área de atuação, bem como também monitora o tráfego e cumpre as regras vigentes da área sendo esta uma parte do serviço prestado.

Como mencionado anteriormente, embora regulado a nível internacional, o VTS é implementado localmente. Isso significa que os serviços oferecidos dependem daquilo que a autoridade competente julgue ser adequado. Especial atenção deve ser dada ao tipo de embarcação que irá utilizar o VTS e aos possíveis prejuízos causados ao meio ambiente em caso de acidente na área do VTS.

4.1. Domínio anti-colisão

Segundo, Wielgosz (2016), o termo chamado domínio anti-colisão refere-se ao domínio de navios que leva em consideração somente objetos flutuantes e exclui objetos abaixo da água e objetos fixos que representem perigo à navegação.

O autor descreve o modelo matemático do domínio do navio em área restrita que leva em consideração o tamanho e velocidade do navio como mostrado nas Equações abaixo:

$$x(t) = x_0 + a \cdot \cos(t); \quad [\text{Eq. 1}]$$

$$y(t) = y_0 + b \cdot \sin(t); \quad [\text{Eq. 2}]$$

quando:

$$a = (a_{1L} \cdot L^{b_{1L}} + c_{1L}) + a_{1v} (v^{b_{1v}} - 2^{b_{1v}}); \quad [\text{Eq. 3}]$$

$$b = (a_{2L} \cdot L^{b_{2L}} + c_{2L}) + a_{2v} (v^{b_{2v}} - 2^{b_{2v}}); \quad [\text{Eq. 4}]$$

$$x_0 = p_x \cdot L + q_x \cdot v + r_x; \quad [\text{Eq. 5}]$$

$$y_0 = p_y \cdot L + q_y \cdot V + r_y; \quad [\text{Eq. 6}]$$

onde:

L = comprimento do navio (m);

v = velocidade do navio;

$a_{1L}, b_{1L}, c_{1L}, a_{2L}, b_{2L}, c_{2L}$ - coeficiente de influência de comprimento;

$a_{1v}, b_{1v}, c_{1v}, a_{2v}, b_{2v}$ - coeficiente de influência de velocidade;

t - marcação relativa;

p_x, q_x, r_x - coeficiente de deslocamento central do eixo X; e

p_y, q_y, r_y - coeficiente de deslocamento central do eixo Y.

Wielgosz (2016) complementa que os coeficientes de função para diferentes domínios estão disponíveis como grupos de coeficientes relativos ao comprimento do semi-eixo e deslocamento da elipse central.

E complementa que o processo de geração e apresentação visual desse tipo de domínio na tela do sistema de carta eletrônica do operador de VTS deve ser muito simples comparado às zonas de aquisição automática usadas nos sistemas ECDIS e ARPA.

A Figura 3 ilustra a situação de rumos cruzados, quando o domínio do navio A é violado no momento em que ele necessita manobrar para evitar um abalroamento, enquanto que o navio B permanece intacto, mantendo seu rumo e velocidade.

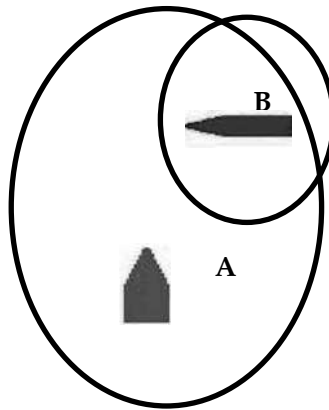


Figura 3: Sobreposição de domínios

Fonte: Wielgosz, 2016.

O comportamento do navio tem como objetivo manter a maior mobilidade do navio sem comprometer o desempenho de segurança e pode referir-se à navegação efetuada, como também a manobra do navio para evitar a colisão.

De acordo com Pietrzykowski *et al.* (2012), a sobreposição de domínios pode ser melhorada através do *e-navigation*, pois este sistema garante o planejamento de manobras de dois ou mais navios que tenham entrado no domínio um do outro.

5. CONCLUSÃO

O controle de tráfego através do VTS de todos os navios que naveguem na Baía Amazônica deve ser mandatório e estabelecido através das Normas e Procedimentos das Capitânicas dos Portos (NPCP) localizada em Belém e Manaus, bem como nas Normas e Procedimentos da Capitania Fluvial (NPCF) de Santarém e Tabatinga. O ideal é que o VTS fosse implementado pela Autoridade Marítima, acompanhado pelas Capitânicas, mas nada impede que o mesmo seja implementado pelos players organizados que navegam na região no intuito de manter a segurança da navegação local e maior gerenciamento da sua frota.

REFERÊNCIAS

- BRASIL (2019). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *IBGE Mapeia a infraestrutura dos transportes no Brasil*. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/14707-asi-ibge-mapeia-a-infraestrutura-dos-transportes-no-brasil>>. Acesso em 30 set de 2019.
- BRASIL. Marinha. Diretoria de Hidrografia e Navegação – DHN (2018). Normas da Autoridade Marítima para Serviço de Tráfego de Embarcações (VTS): *Normam-26/DHN*. 3. rev. Rio de Janeiro: Marinha do Brasil. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/dhn/sites/www.marinha.mil.br/dhn/files/normam/NORMAM-26-Rev3.pdf>>. Acesso em 04 out. 2019.
- BRASIL. Presidência da República. Casa Civil (1997a). Subchefia para Assuntos Jurídicos. Lei complementar nº 97, de 9 de julho de 1999. *Dispõe sobre as normas gerais para a organização, o preparo e o emprego das Forças Armadas*. Brasília, DF: Presidência da República. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/LCP/Lcp97.htm>. Acesso em 04 out. 2019.
- BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos (1997b). Lei nº 9.537, de 11 de dezembro de 1997. *Dispõe sobre a segurança do tráfego aquaviário em águas sob jurisdição nacional e dá outras providências*. Brasília, DF: Presidência da República. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9537.HTM>. Acesso em 04 out. 2019.
- BENTO. C. N. (2013). Stumpf. *Navegação Integrada*. [S.l]: e-nav.net. <Disponível em: <http://www.e-nav.net>>. Acesso em 04 Out 2019.

- IALA. International Association of Lighthouse Authorities (2016). *Vessel Traffic Services Manual*. 6. ed. France: International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities.
- IALA. International Association of Lighthouse Authorities (2008) *Vessel Traffic Services Manual*. 4. ed. France: Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities.
- IMO. International Maritime Organization (1997). *Resolution A 857(20) adopted on 27 november 1997*. London: Guidelines for Vessel Traffic Services Disponível em: [http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Assembly/Documents/A.857\(20\).pdf](http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Assembly/Documents/A.857(20).pdf). Acesso em 04 out. 2019.
- PADOVEZI, C. D. (2003). *Conceito de embarcações adaptadas à via aplicado à navegação fluvial no Brasil*. 2003. 284 f. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Naval e Oceânica, São Paulo.
- PIETRZYKOWSKI *et al* (2012). Zbigniew *et al*. *Ship domain in the restricted area simulation research*. Zeszyty Naukowe/Akademia Morska w Szczecinie, n. 32 (104) z. 2, p. 152-156.
- WESTRENER, F. (2014). *Modelling arrival control in a vessel traffic management system*. Cognition, Tecnology & Work, London, v. 16, issue. 4, p. 501-508.
- WIELGOZ, M. (2013). *Declarative ship domais in restricted area*. Scientific Journals of Maritime University of Szczecin, [S.l], v. 46. p. 217-222.

Endereço para correspondência:

- (1) Oliveira, Munik Holanda de. Av. Vicente de Castro, S/N, Fortaleza/CE. E-mail: munik23@hotmail.com;
 - (2) Figueiredo, Nelio Moura.de. E-mail: nelio@ufpa.com;
- (1;2) Universidade Federal do Pará – UFPA (PPGENAV), Rua Augusto Corrêa, 01 – Guamá.

PANORAMA DOS PROJETOS DE INFRAESTRUTURA HIDROVIÁRIA: UM LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO DE PROJETOS NA HIDROVIA JURUENA- TELES PIRES-TAPAJÓS

OVERVIEW OF WATERWAY INFRASTRUCTURE PROJECTS: A BIBLIOGRAPHIC SURVEY OF PROJECTS IN JURUENA-TELES PIRES-TAPAJOS WATERWAY

SALOMÃO, B. H. N¹; MOTA, A. E. A. S²; MELO, A. C. S³
(1;2;3) Universidade do Estado do Pará

RESUMO

Em um contexto de crise e altos custos na rede de transporte brasileira, a exportação de commodities se tornou cada vez mais inviável pelo modal mais utilizado, o rodoviário. Visando diminuir esses custos, foi proposto a melhoria da navegabilidade da rede hidroviária, com medidas como eclusas para hidrelétricas, derrocamento, dragagem, balizamento e sinalização. Entre essas hidrovias, este artigo aborda a Juruena-Teles Pires-Tapajós, a qual já possui trechos navegáveis e muitos projetos para sua melhoria, embora não concretizados, seja por atrasos ou suspensão de projeto. A fim de identificar os motivos de não conclusão, a hipótese, proposta e testada, da principal causa foi a falta de integração entre as instituições envolvidas. Desse modo, por meio de pesquisa documental e bibliográfica, foram identificados os motivos de estagnação de cada projeto de hidrelétricas, eclusas, e ajustes de navegação na hidrovia estudada para verificar a validade da hipótese. Além dos diversos motivos de não conclusão de hidrelétricas e eclusas, foi identificado o atraso no EVTEA, que autoriza a realização dos demais projetos. Assim, identificou-se a interferência no gerenciamento da cadeia de suprimentos, já que foi identificada a falta de integração e de fluxo de informações na cadeia.

Palavras-chave: Commodities. Navegabilidade. EVTEA

ABSTRACT

In a context of crisis and high costs in Brazil's transport network, the export of commodities has become increasingly unaffordable with the most used modal, the highway. Aiming to reduce these costs, was proposed the improvement navigability of the waterway network, with measures like sluices for hydroelectrics, demolition, dredging, marking and signage. Among these waterways, this article discusses the Juruena-Teles Pires-Tapajós, which already has navigable stretches and many projects for improvement, though not implemented, whether by delays or project suspension. In order to identify the reasons for non-completion, the hypothesis of the main cause being the lack of integration between the institutions involved has been proposed and tested. In this way, through documental and bibliographic research, the reasons of stagnation for each project about hydroelectric, sluices and navigation settings have been identified in the waterway studied to verify the validity of the hypothesis. In addition to several reasons for non-completion of hydroelectric and sluices, was identified a delay in EVTEA authorizing, which can enable the realization of the other projects. Thus, was identified an interference in the management of the Supply Chain, since it was identified the lack of integration and information flow in the chain.

Keywords: *Commodities*. Navigability. EVTEA.

1. INTRODUÇÃO

A repercussão dos custos logísticos no preço final dos produtos impacta diretamente na eficiência da cadeia produtiva. Devido a isso, no caso das *commodities* agrícolas, esses custos adquirem contornos mais expressivos, dado o baixo valor agregado associado a esses produtos. Ademais, o Brasil ainda tem grande dependência no transporte rodoviário, o que significa maior consumo de combustíveis, além dos custos relativos às grandes distâncias e baixa qualidade das rodovias, fazendo com que esses e outros custos, inclusos no valor do frete rodoviário, representem, em média, 10% a 30% do custo total dessas *commodities* (CAIXETA FILHO, 2010).

Para esse autor, esses fatores impactam tanto internamente, onde se observam níveis exagerados de perdas físicas, quanto no mercado externo que, embora possua custos de produção bastante competitivos, as despesas logísticas comprometem o sucesso de determinado tipo de negociação que envolva clientes internacionais. Assim, é preciso que esse custo seja diminuído para que os produtos se tornem competitivos em escala global.

O equilíbrio dos modais na multimodalidade é uma opção alternativa para a redução desses custos logísticos. Esse equilíbrio pode ser feito por meio de investimentos em um modal que possua maior capacidade de transporte e menores custos para uma entrega de longo prazo, como a hidrovia, já que os produtos são *commodities* de baixo valor agregado e não perecíveis (POMPERMAYER; CAMPOS NETO; PAULA, 2014).

Um exemplo de potencial transporte para as *commodities* é o rio Tapajós, que usualmente funciona como meio de transporte, principalmente, para granéis sólidos, seguido de granéis sólidos agrícolas e, em menor escala, de carga geral. Esse uso mostra a importância estratégica da bacia do Tapajós que, se adequada à multimodalidade, deve tornar a hidrovia Tapajós – Teles Pires, após sua implantação total, a melhor rota para o escoamento de grãos do centro-norte do estado de Mato Grosso e leste paraense (MACHADO, 2014).

Embora exista essa capacidade, a hidrovia não possui condições de navegabilidade visto que, no trecho entre as cachoeiras de São Luís do Tapajós e a confluência dos rios Teles Pires e Juruena, ainda devem ser transpostas as corredeiras de São Luís do Tapajós e do Chacorão. Ademais, o trecho do baixo Teles Pires possui bancos de areia (FAJARDO, 2016). Desse modo, a potencial economia com o uso deste modal não é aproveitada, aumentando os custos de transporte dessas *commodities*.

Visando possibilitar essa navegação, vários projetos foram planejados e estruturados. Na hidrovia estudada, foram identificados 43 projetos, dos quais apenas 9 (nove) estão em andamento, contrastando com os 28 projetados, os 2 em licitação, os 4 que foram só idealizados (MOTA *et al.*, 2016), o que comprova o fato desses projetos, por algum motivo, não se concretizarem.

Baseado nos conceitos de gerenciamento da cadeia de suprimentos, uma hipótese de falha de integração foi formulada. Nela, supõe-se que, entre as empresas envolvidas nesses projetos não há ou há pouco fluxo de informações e, consequentes conflitos de interesses, sendo esta a causa da estagnação dos projetos identificados. Essa hipótese poderá ser validada após o estudo das instituições envolvidas em cada projeto.

2. REFERENCIAL

2.1. Commodities

O termo *commodity* refere-se aos tipos de mercadorias primárias, parcialmente ou não manufaturadas, sujeitas a serem negociadas em bolsas de mercadorias. Este tipo de produto caracteriza-se por apresentar um nível de qualidade praticamente uniforme, produção em larga escala, além de possuírem baixo valor agregado (ADVFN, 2016). Segundo Barone (2016), as *commodities* podem ser classificadas em quatro categorias: agrícolas (soja, trigo, algodão), minerais (minério de ferro, alumínio, petróleo), financeiras (títulos públicos de governos federais) e ambientais (crédito de carbono).

Ainda segundo Barone, no resultado revelado em 2015 pela Conferência da ONU sobre Comércio e Desenvolvimento (UNCTAD), foi possível identificar que cerca de 60% dos países emergentes, entre eles o Brasil, são dependentes da exportação de matéria prima na sua economia. No ano de 2015, o país teve em média 190 bilhões de dólares em exportações de *commodities*, sendo de fundamental importância produtos como, minério de ferro, ferro fundido e aço, óleos brutos de petróleo, soja e derivados, os quais representaram aproximadamente 30% das suas vendas externas.

Nesse cenário, o estado do Pará enquadra-se em posição de destaque, já que detém o título de segundo maior produtor de minério do Brasil, com destaque para ferro, bauxita, manganês, níquel, cobre, entre outros (INVESTPARÁ, 2016a). Além disso, o estado possui um papel relevante na agricultura por ser o maior

produtor nacional de dendê e açaí, o segundo maior produtor de cacau, entre outros produtos (INVESTPARÁ, 2016b). Nesse sentido, a necessidade por investimento logístico, visando o uso transporte por modais mais eficientes, como as hidrovias, contribuiria para redução dos custos de exportação, acarretando em vantagem competitiva para comercialização (MOTA, 2016).

2.2. Hidrovia Juruena-Teles Pires-Tapajós

De acordo com Bernardes *apud* Mota *et al.* (2016), o rio Teles Pires prolonga-se por 1.450 quilômetros até sua nascente, por sua vez, o rio Juruena percorre cerca de 1.250 Km, até o encontro com o rio Teles Pires para formar o Tapajós, o qual é navegável no trecho compreendido entre sua foz e a localidade de São Luís do Tapajós no Km 320, e em trechos intermediários.

Devido à extensão e ao potencial dos rios mencionados, acredita-se que uma das soluções logísticas ao agronegócio brasileiro será hidrovia Juruena-Teles Pires-Tapajós, que irá contribuir ao escoamento da produção de grãos do centro-norte, reduzindo custos logísticos e fluxos de carga da hidrovia Madeira e das BR 163 e 364.

Por outro lado, para a viabilização dessa hidrovia, inúmeras intervenções devem ser feitas, como derrocamentos, dragagens, balizamento, construção de canais e dispositivos de transposição, contudo todo o planejamento deve ocorrer de maneira cautelosa, uma vez que a hidrovia possui, nas margens de seus rios, comunidades indígenas, gerando focos sensíveis à negociação. Em contrapartida, estão previstas as construções de diversas barragens para geração de energia elétrica como em São Luís de Tapajós, Chacorão, São Manoel, entre outras.

2.3. Eclusas e hidrelétricas

De acordo com Wolney (2014), após a realização de estudos divulgados pelo Comitê Brasileiro de Barragens (CBDB) e Academia Nacional de Engenharia (ANE), observou-se que o Brasil dispõe da maior reserva de água doce superficial no planeta, a qual tem o

terceiro maior potencial técnico de geração hidrelétrica (260 GW).

Ainda segundo Wolney, para o aproveitamento consciente deste vasto potencial, o país deve investir em barragens ambientalmente corretas, assegurando a capacidade de energia elétrica, além de promover o transporte fluvial, por meio de eclusas, e as práticas recreativas, as quais podem estimular as indústrias da pesca e turismo.

Nesse sentido, uma usina hidrelétrica pode ser deliberada como um conjunto de obras e equipamentos que visam a geração de energia elétrica por meio do aproveitamento do potencial hidráulico existente em um determinado rio, o qual é proporcional à vazão hidráulica e aos desníveis existentes ao longo do curso deste (FURNAS, 2016).

Por sua vez, as eclusas funcionam como elevadores aquáticos ajudando as embarcações a transpor rios ou canais onde existem desnível durante o percurso, funcionando como grandes câmaras de concreto com portões de aço instalados em usinas hidrelétricas (VALOR, 2015). Dessa maneira, nota-se que é de suma importância a construção das eclusas simultaneamente à construção das barragens, quando estas forem feitas em vias com potencial navegável.

2.4. Balizamento e sinalização hidroviária

Assim como as estradas ou as ferrovias, os rios também precisam de sinalização. Segundo o DNIT (2015), devido a não estabilidade fluvial, os canais de navegação devem ser anualmente redefinidos. Desse modo, devem ser realizados os processos para rebalizamento e resinalização, onde é compreendido o levantamento batimétrico, novos canais de navegação, confecção de cartas ou croquis náuticos, entre outros.

Conceitualmente, o balizamento e a sinalização náutica representam o agrupamento de sistemas e recursos visuais, sonoros, eletrônicos, radioelétricos, designados para permitir a condução das embarcações de maneira segura (MARTINS e MARTINS, 2016). Sendo identificado por Brasil (2013) *apud* Huber (2013) como itens que visam direcionar quais manobras são necessárias aos navegantes,

a fim de mantê-los no canal de navegação, sinalizando quais locais têm as melhores condições para as embarcações.

Nesse sentido, de acordo com a Marinha do Brasil (2008), o balizamento é composto por um conjunto de balizas, boias, barcas-faróis, objetos naturais ou artificiais, faróis e faroletes, sendo de responsabilidade do DNIT a implantação e controle desses recursos nas hidrovias (MACHADO, 2014).

2.5. Dragagem e derrocamento

Segundo Lima (2008), dragagem é um processo onde sedimentos e solos são realocados, a fim de construir e manter uma via aquática para viabilizar o transporte hidroviário. Visando realizar esse procedimento, é realizada a limpeza, desobstrução, remoção, derrocamento ou escavação de material do fundo de rios, lagos, mares, baías e canais, consistindo o derrocamento no desmonte de rochas duras por meio de dois métodos: à quente, onde se utiliza explosivos, e à frio, no qual o desmonte se faz com o uso de equipamentos de percussão.

Esses processos são usados para aprofundamento, alargamento ou expansão de áreas portuárias e hidrovias, além de canais de navegação, bacias de evolução e fundeio, e berços de atracação, assim como serviços de natureza contínua, visando manter as condições de profundidade estabelecidas no projeto proposto (AGUIAR, 2016).

2.6. Gerenciamento da cadeia de suprimentos (GCS)

O GCS se conceitua como a gestão de todas as partes envolvidas, direta ou indiretamente, na realização de um pedido de um cliente (CHOPRA e MEINDL, 2011), onde um de seus resultados é a possibilidade de ganho de todos os componentes da rede em vez da tradicional abordagem conflituosa na qual, para alguns membros na rede ganharem, outros precisam perder (CORRÊA, 2010).

Uma das características de relevância do GCS é a integração, sendo seu desafio a coordenação de atividades da cadeia de ma-

neira que a empresa possa melhorar seu desempenho. Para isso, as empresas devem, não apenas coordenar a produção, transporte e estoques, mas também a integração do final ao início da cadeia de suprimentos. Segundo os autores, a disponibilidade de informações é o que possibilita essa integração, devendo a cadeia ser projetada para disponibilizar essas informações ou obter vantagens destas que já estão disponíveis (SIMCHI-LEVI, D; K AMINSKY e SIMCHI-LEVI, E, 2010).

No contexto da administração pública, é comum apriorização de projetos, por diversos motivos. Um exemplo deste fato é a falta de integração que ocorreu no Plano Plurianual (2004-2007), na Amazônia, onde houve a priorização de uma ou outra obra e percebeu-se diferentes investimentos competindo entre si, os quais envolveram investidores, em parte estatais em parte privados, dentro de um jogo de alta complexidade, inclusive, de competição intraestatal (SMERALDI, 2005).

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A presente pesquisa caracterizou-se como exploratória, tendo como ponto os seus objetivos, uma vez que possibilitaram uma investigação detalhada do cenário estudado, identificando pontos que carecem de mais atenção. Nesta pesquisa foram apresentados os principais projetos de infraestrutura que visam tornar a hidrovia Juruena-Teles Pires-Tapajós completamente navegável, além de identificar quais entidades envolvidas, cujas relações culminam ao atual status destes.

Visando desenvolver o objetivo proposto, a pesquisa foi classificada como de natureza documental e bibliográfica, considerando documentação indireta, consolidando-se a partir de materiais já publicados, documentos gerados por instituições públicas, periódicos, entre outros. Dessa maneira, foram levantados dados documentais que identificam o potencial hidroviário dos rios estudados e os principais projetos existentes para a consolidação destes como hidrovia. Posteriormente, cada projeto foi analisado e estudado, por meio de uma pesquisa documental, com o intuito de

averiguar quais entidades estão envolvidas no desenvolvimento ou não destes. A partir do resultado encontrado, foi possível propor soluções alternativas de integração para as propostas estudadas, e assim as etapas da pesquisa seguiram conforme a Figura 1.



Figura 1: Etapas da pesquisa

Fonte: Autores, 2016.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Projetos de eclusas e usinas hidrelétricas (UH) na hidrovia

À hidrovia Juruena-Teles Pires-Tapajós, 11 projetos de usinas hidrelétricas foram propostos, como mostrado no Quadro 1. Contudo, devido a diversos fatores, estes foram suspensos ou ainda estão apenas em fase de planejamento ou na etapa de licitação (MOTA *et al.*, 2016).

A ideia do governo é implantar para as Usinas Hidrelétricas de São Luiz do Tapajós e Jatobá o conceito de “Usina-Plataforma”, a qual prevê menor dano ambiental ao entorno dos projetos. Por outro lado, os dois empreendimentos acarretam no alagamento das unidades de conservação e de terras indígenas. Para viabilizá-las, o Governo Federal diminuiu a área das florestas protegidas, distanciando as restrições legais à implantação destas em unidades de conservação.

Visando solucionar estes problemas, as empresas encarregadas da construção propuseram a remoção desses povos da área que será comprometida, contudo a Fundação Nacional do Índio (FUNAI) considerou essa proposta inconstitucional, recomendando a suspensão do licenciamento da obra. Após a demarcação da Terra Indígena (TI) Sawré Muybu, ou seja, reconhecimento a

UH	Empresas responsáveis	Terra indígena atingida	Unidades de Conservação atingidas	Municípios afetados	Órgãos envolvidos
Jatobá	Eletronorte; Eletrobras; Cemig (M G); Copelque (PR); GDF-suez; EDF; Endesa Brasil; Neoenergia; Construção e comércio Camargo Corrêa(b)	TI Munduruku; TI Sai-Cinza (c)	Floresta Nacional de Amanã (a)	Itaituba (PA) e Jacareacanga (PA) (e)	Funai; Ibama; Greenpeace; EPE
São Luiz do Tapajós	Eletronorte; Eletrobras; Cemig (M G); Copelque (PR); GDF-suez; EDF; Endesa Brasil; Neoenergia; Construção e comércio Camargo Corrêa(b)	TI Sawré Muybu (d)	Parque Nacional da Amazônia; Floresta Nacional Itaituba-I; Floresta Nacional Itaituba-II (a)	Itaituba (PA) e Trairão (PA)(f)	Funai; Ibama; Greenpeace; EPE
Chacorão	-	TI Munduruku Kayabi, e Apiakás (h)	Parque Nacional do Juruena(l)	Maués (AM), Jacareacanga (PA) (f)	Funai; Ibama; ANEEL
São Manoel	Energia São Manoel – EESM, constituída pelos acionistas: EDP BRASIL S.A., Furnas Centrais Elétricas, China Three Gorges Corporation – CTG e Construtora Andrade Gutierrez S.A. (b)	TI Kayabi (a)	Parques Estaduais do Cristalino I e II e a Reserva Ecológica Estadual Apiakás (i)	Jacareacanga (PA), Paranaíta e Apiakás (MT) (e)	Fórum Teles Pires; Funai; Ibama; EPE
Tucumã	-	TI Japuira (a)	-	Municípios em Mato Grosso (l)	-
Erikpatsa	-	TI Erikpatsá (a)	-	Municípios em Mato Grosso e Ama zonas (l)	-
Escondido	-	TI Escondido (a)	-	Cotriguaçu, Nova Bandeirante, Juruena e Juara (MT) (f)	-
São Simão Alto	-	TI Apiaká do Pontal (i)	Parna do Juruena, Parque Estadual Igarapés do Juruena, Parque Estadual Sucunduri, Parque Nacional Juruena (j)	Apiakás (MT), Apuí (AM) e Cotriguaçu (MT) (e)	Ambientalista, WWF Brasil

Quadro 1: Características dos processos de UH

Fonte: Grupo de Estudo Tapajós, 2014.

ocupação tradicional ao povo Munduruku, foi assegurado a eles a prevalência dos direitos indígenas no território em relação aos projetos planejados. Esse fato se deve ao Artigo 231 da Constituição Federal, na qual é vedada a remoção de grupos indígenas de suas terras, exceto em caso de catástrofe ou epidemia que ponha em risco

a população. Mesmo nesse caso, após extinção de risco, o retorno imediato é garantido ao povo indígena.

Neste cenário, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA descontinuou o licenciamento ambiental da UH São Luiz do Tapajós, uma vez que, para o prosseguimento do processo, este depende da manifestação conclusiva da FUNAI, inviabilizando a construção das usinas. Segundo Pinto (2015), as duas UH estão com o seu planejamento atrasado. A de São Luiz do Tapajós, por exemplo, foi projetada para entrar em funcionamento no mês de janeiro de 2016, entretanto, sua previsão de conclusão é em 2021; já a de Jatobá, prorrogou de 2020 para 2023, como aponta a nova versão do Plano Decenal de Expansão de Energia, com duração até 2024.

O cenário se repete na UH de Chacorão, onde sua construção implica na inundação de parcela da TI Munduruku e unidades de conservação ambiental, fator que já gerou na Empresa de Pesquisa Energética (EPE) desistência para o prosseguimento do estudo de viabilidade da obra. Dessa maneira, até a regulamentação do artigo 231, o estudo não poderá ser realizado.

Segundo a Agência Nacional de Águas – ANA, a Eletronorte já propôs medidas inconstitucionais para sanar o problema em questão, por meio da “desafetação” da TI Munduruku por meio da remoção do povo da localidade e reinstalação em outro local.

Para a UH de São Manoel, localizada na fronteira dos estados do Pará e do Mato Grosso, a qual busca atender, em média, uma população de 2,5 milhões de pessoas, projeta-se a inundação de 64 km². Apesar disso, a barragem para esta UH está localizada a menos de 1km da TI Kayabi, fato propulsor de diversos conflitos. Embora a UH proposta não ultrapasse os limites das TI, implicações ambientais acontecerão após sua construção nas comunidades indígenas das proximidades (FEARNSIDE, 2015).

Com o intuito de debater sobre os direitos cedidos a esses povos e os grandes empreendimentos planejados que podem afetar as suas terras, uma aliança foi criada entre eles e o Fórum Teles Pires, que reúne agricultores familiares, pescadores e outras comunidades locais atingidas pela construção de UH e outros grandes construções na região do Rio Teles-Pires. A partir dessa união, foi elaborado um

manifesto que apresenta críticas e reivindicações das comunidades indígenas ameaçadas e afetadas pela construção das barragens no Rio Teles Pires (SÃO MANOEL ENERGIA, 2016).

Segundo Monteiro (2013), o planejamento desta usina já gerou diversas falhas, o que acarretou em atrasos para o andamento dos processos e, conseqüentemente, inúmeros erros nos estudos ambientais e no Estudo do Componente Indígena - ECI. Esses erros resultaram em falhas na elaboração do EIA/RIMA, o que acarretou o recuso do estudo perante o IBAMA e a FUNAI, ocasionando dificuldades no encaminhamento desta. Diversos tipos de problemas já prejudicaram o desenvolver da obra, o que acarretou, em 2014, no fim do leilão desta pela falta de aprovação do órgão responsável na Seção Judiciária do estado de Mato Grosso. Esse acontecimento se deu devido à garantia dos direitos dos povos indígenas na região, com base na legislação e uma série de outras divergências existentes.

Tanto a UH Tucumã e a Erikpatsa não possuem previsão para entrada de operação, contudo, mesmo em fase de planejamento, já encontram alguns transtornos, uma vez que na área demarcada para a construção das barragens encontram-se as TI Japuíra e Erikpatsa, fator que pode dificultar a elaboração do Estudo do Componente Indígena e, concomitantemente, causar conflito com a Funai.

No projeto da UH de Escondido é necessário, e está em aguardo, sua liberação pelo Governo Federal. Este empreendimento consta no acompanhamento do Programa de Aceleração do Crescimento, ainda em estágio de ação preparatória, embora seu estudo ainda não possua registro ativo na Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (CORREA, 2010).

Para as UH de São Simão Alto e de Salto Augusto Baixo, a preocupação dos ambientalistas paralisa o prosseguimento dos projetos, uma vez que, para sua construção, terras indígenas e unidades de conservação devem ser alagadas. Por esse motivo, o governo excluiu do Plano Decenal de Energia – 2023 as duas UH, devido à complexidade socioambiental em que estão envolvidas.

Tanto a UH de Sinop quanto a de Colíder já estão em construção, porém, durante esta fase, várias complicações já ocorreram. Em 2011, foi emitida uma liminar baseada no descumprimento da legislação sobre o licenciamento ambiental e em outros erros, já que este estava sendo realizado pela Secretaria de Meio Ambiente de Mato Grosso (SEMA/MT), embora obras desse porte devam ter este documento emitido pelo IBAMA, já que impacta em terras indígenas. O mesmo ocorreu em 2014, quando a construção da usina de Sinop foi interrompida porque o Ministério Público Federal - MPF identificou que os requisitos previstos para concessão da licença prévia não foram alcançados. Apesar disso, a SEMA emitiu a licença de instalação, permitindo o início da obra.

4.2. Projetos de eclusas na hidrovia

Segundo Mota *et al.* (2016), na hidrovia em estudo, foram identificados 9 projetos de eclusas, sendo elas: Teles Pires, Cachoeira Meia Carga, Cachoeira Rasteira, Chacorão, Colíder, Jatobá, São Luiz do Tapajós, São Manoel e Sinop, onde apenas uma está em fase de execução, enquanto as demais encontram-se com estudo de viabilidade em andamento ou sendo objeto de licitação.

De acordo com Pavan (2011), o atraso na viabilização desses empreendimentos está no planejamento e execução desvinculada entre os projetos de UH e eclusas, fator que contribui para a estagnação da maior parte dos projetos de transposição dos rios, como ocorrido na UH Teles Pires. Contudo, para Brasil *apud* Mota *et al.* (2016), o impasse está essencialmente entre o Governo e as empresas responsáveis por esses projetos, uma vez que, cabe ao Ministério dos Transportes a incumbência de assuntos como dispositivos de transposição e, por sua vez, o Ministério das Minas e Energia deve reservar espaço para as eclusas ao lado de cada barragem construída, não concordando com a construção paralela dos projetos, já que acredita que o custo de construção seria repassado aos consumidores finais de energia elétrica.

Para Nascimento (2012), a mudança de cenário desses projetos pode acarretar significativa mudança econômica às

empresas envolvidas. Segundo o autor, quando a construção ocorre de maneira independente, ou seja, a construção das eclusas acontece posterior à conclusão das barragens, estas podem consumir cerca de 30% do valor do empreendimento, por outro lado, quando realizados paralelamente, podem assumir um valor de 7% do investimento total.

Nesse sentido, com o intuito de conciliar a produção de energia e a navegabilidade dos rios, foi aprovada a Lei 13.081, de 2012, a qual determina situação de obrigatoriedade de implantação integral ou parcial de dispositivos de transposição de desníveis, concomitante ou posterior a implantação de barragens, quando houver potencial de navegabilidade durante o curso ou for em uma via navegável (APROSOJA, 2016). No entanto, a norma se aplica somente aos projetos que ainda não foram licitados, não abrangendo as barragens já em construção ou que já foram licitadas (MTPAC, 2015).

4.3. Projetos de navegabilidade

A Hidrovia estudada possui diversos projetos que promovem a sua navegabilidade. Além de projetos de eclusas, supracitados, existem projetos de sinalização e balizamento, sendo estes dos rios Arinos, Juruena, Teles Pires e Tapajós, afora os projetos de derrocamento do Médio Tapajós, Alto Tapajós, Baixo Tapajós, Juruena e Arinos, e os projetos de dragagem do Baixo Teles-Pires, Médio Tapajós, Alto Tapajós, Baixo Tapajós, Juruena, Arinos e Canal de Quiriri (MOTA *et al.*, 2016).

Segundo Haje (2015), esses projetos da hidrovia Juruena-Teles Pires-Tapajós são condicionados à realização prévia de Estudos de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental (EVTEA), o que permite a realização de obras e serviços pelo Poder Executivo somente após esses estudos, a fim de proporcionar a navegação na hidrovia. O EVTEA da hidrovia Arinos-Juruena-Teles Pires-Tapajós é gerenciado pelo DNIT, por meio do Consórcio R. PEOTTA-Hidrotopo-Enefer (FERREIRA, 2016).

Embora esse estudo tenha se iniciado em setembro de

2013, com prazo de 360 dias, não foi concluído (PELISSON, 2013), levando à prorrogação de 93 dias, pelo DNIT (DNIT, 2015). Ainda com essa prorrogação, o estudo deveria concluir-se no fim de 2015 ou início de 2016, entretanto, não se encontra terminado. De acordo com Ferreira (2016), este consórcio apresentou dois problemas: um no rio Teles Pires, no município de Jacareacanga, onde os índios da etnia Mundurucus não permitiram a realização dos estudos, e outro no rio Juruena, no trecho do Parque Nacional do Juruena, onde o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBIO) não permitiu a realização dos estudos.

O autor relatou, também, que neste caso há necessidade da autorização do Congresso Nacional para realização dos estudos. Diante disso, o Movimento Pró Logística do Mato Grosso providenciou, junto à Frente Parlamentar da Agropecuária (FPA), três projetos de decreto legislativo (PDC) de números 118, 119 e 120/2015, os quais foram subscritos pelo Deputado Federal Adilton Sachetti. Estes PDC's autorizam os estudos e, se aprovados, a navegação. Após terem tramitado pelas Comissões de Integração Nacional, Meio Ambiente e Minas e Energia, e serem aprovados em todas, situam-se atualmente na Comissão de Constituição e Justiça (CCJ), de onde será encaminhada ao Plenário da Câmara dos Deputados e, posteriormente, ao Senado Federal. Aprovados no Senado, o consórcio estará autorizado a dar continuidade ao EVTEA da hidrovia estudada.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Frente à necessidade de multimodalidade e descongestionamento de portos para o escoamento da produção das *commodities* brasileiras, diversos projetos têm sido estruturados para importantes rios nacionais, visando explorar suas capacidades de navegação, mesmo quando também se pode aproveitar a capacidade energética. Entre eles, foi considerada a relevância dos projetos de balizamento, derrocamento, sinalização e dragagem, além dos que representam a maioria dos projetos na hidrovia estudada como a construção de UH, barragens e eclusas.

Com base nos estudos realizados da atual situação de cada

projeto e motivos de não conclusão ou atraso, observou-se que estes se devem, principalmente, à falta de integração entre as entidades envolvidas nestes projetos, sejam as entidades privadas ou públicas. Caso fossem alinhados os objetivos de todas as instituições envolvidas em cada projeto e fosse realizado um plano de ações que buscasse abranger a maior parte das exigências dos envolvidos, poderiam ser propostas soluções para os conflitos mais comuns, como a construção de eclusas unidas à UH e o andamento dos EVTEA. Desse modo, seria possível maior fluxo de informações, maior gerência da cadeia de suprimentos, e possível consenso entre as entidades.

A dificuldade no acesso às informações relacionadas aos projetos da hidrovia estudada, constituiu-se a maior restrição ao desenvolvimento deste artigo, o que ressalta a falta de integração entre todas as partes envolvidas, já que, apesar de serem de domínio público, as informações não convergem e não são divulgadas de maneira acessível a todos, possivelmente, menos ainda entre as organizações envolvidas, embora seja apenas um agravante aos diversos outros problemas que impedem o andamento dos projetos e divulgação de informações. No entanto, se colocado em prática o simples compartilhamento de dados, seria possível solucionar ou amenizar boa parte dos problemas de conflitos, acarretando no desenvolvimento da matriz multimodal brasileira concomitantemente com a geração de energia, reduzindo custos logísticos e aumentando a competitividade mundial dos produtos brasileiros.

Para estudos futuros, seria de relevância identificar, na hidrovia Juruena-Teles Pires-Tapajós ou nas demais possíveis hidrovias, no Brasil ou em outros países, os projetos que já foram concretizados e o modo com que cada aprovação foi realizada, a fim de ratificar o uso de alguma prática ou estratégia relacionada a abordagem de GCS.

REFERÊNCIAS

ADVFN (2016). *COMMODITIES* Disponível em: <<http://br.advfn.com/investimentos/commodities>>. Acesso em 01 de agosto de 2016.

- AGUIAR, O. (2016). *Secretaria de portos. Contratação de dragagens*. Disponível em: <<http://portal2.tcu.gov.br/portal/pls/portal/docs/2309040.PDF>>. Acesso em 10 ago. 2016.
- APROSOJA (2016). *A construção obrigatória de eclusas vai facilitar navegabilidade nas hidrovias*. Disponível em: <<http://migre.me/uXZgZ>>. Acesso em 06 de agosto de 2016.
- BARONE, L. (2016). *A importância dos commodities na economia brasileira*. Disponível em: <<http://migre.me/uXZiu>>. Acesso em 01 de agosto de 2016.
- CAIXETA FILHO, J. V. (2010). *O impacto logístico e a cadeia agroindustrial* [26 março 2010]. Notícias ACOM, Piracicaba. Notícia. Disponível em: <<http://www.esalq.usp.br/noticia/detalhe.php?id=960>>. Acesso em 01 de setembro 2016.
- CHOPRA, S. e MEINDL, P. (2011). *Gestão da Cadeia de Suprimentos: estratégia, planejamento e operações*. 4. ed. São Paulo: Pearson, 519 p.
- CORRÊA, H. L. (2010). *Gestão de Redes de Suprimento: integrando cadeias de suprimento no mundo globalizado*. 1. ed. São Paulo: Atlas, 440 p.
- DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. (2015). *Extrato das Deliberações da Diretoria Colegiada/DNIT*. Reunião Extraordinária de 28/08/2015. Disponível em: <<http://migre.me/uXZlh>>. Acesso em 09 set. 2016.
- FAJARDO, A. P. (2016). A Utilização da Hidrovia Tapajós-Teles Pires para a Exportação de Grãos do Mato Grosso. *ANTAQ*. Disponível em: <<http://www.antaq.gov.br/portal/pdf/palestras/palestraanapaulafajardo.pdf>>. Acesso em 31 ago. 2016.
- FERREIRA, E. V. (2016). Informações EVTEA. E-mail. Mato Grosso. Entrevista.
- FURNAS (2016). *Usina Hidrelétrica*. Disponível em: <<http://migre.me/uXZn9>>. Acesso em 27 jul. de 2016.
- GRUPO DE ESTUDO TAPAJÓS (2015). *Quem somos*. Disponível em: <<http://www.grupodeestudostapajos.com.br/quem-somos/>>. Acesso em 14 jun. 2016.
- HAJE, L. (2015). Navegação em trechos dos rios Tapajós, Teles Pires e Juruena é aprovada em comissão. Agência Câmara Notícias, Brasília. Disponível em: <<http://migre.me/uXZp i>>. Acesso em 09 set. 2016.
- HUBER, A. (2013). *Análise e avaliação da qualidade de serviço, infraestrutura e impactos ambientais do porto fluvial de Estrela/RS*. Disponível em: <<http://migre.me/uXZqh>>. Acesso 20 de jul. 2016.
- INVESTPARÁ (2016a). *O Estado do Pará é uma das grandes fronteiras agrícolas do Brasil*. Belém, Secretaria de Estado de Desenvolvimento econômico, Mineração e Energia. Disponível em: <<http://migre.me/uXZrE>>. Acesso em 01 de agosto de 2016b.

INVESTPARÁ (2016b). *O Pará é uma das mais importantes províncias minerais do planeta*. Belém, Secretaria de Estado de Desenvolvimento econômico, Mineração e Energia. Disponível em: <[http:// migre.me/uXZsl](http://migre.me/uXZsl)>. Acesso em 01 de agosto de 2016.

LIMA, R. L. S. (2008). *Dragagem, transporte e disposição final de sedimentos de leito de rio*. 2008. 145 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, São Paulo - SP.

MACHADO, P. C. (2014). *Segurança da navegação em hidrovias: fator fundamental para o desenvolvimento da Região Amazônica. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Altos Estudos de Política e Estratégia, Escola Superior de Guerra - RJ*. P. 70.

MARINHA DO BRASIL (2016). *Normas da autoridade marítima para auxílio à navegação*. Disponível em: <<http://migre.me/uXZtC>>. Acesso em 20 de jul. 2016.

MARTINS, E. e MARTINS, L. (2016). *Segurança da navegação marítima: sistemas de comunicação e sinalização náutica*. Disponível em: <<http://migre.me/uXZmK>>. Acesso 20 de jul. 2016.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, PORTOS E AVIAÇÃO CIVIL - MTPAC (2015). *Hidrovias serão beneficiadas com lei que exige construção de eclusas em barragens*. Disponível em: <<http://www.transportes.gov.br/component/content/article.html?id=2892>>. Acesso em 06 de agosto de 2016.

MOTA, A. E. A. S; SALOMÃO, B. H. N; MELO, A. C. S; NUNES, D. R. L. e MARTINS, V. W. B. (2016). Panorama dos Projetos de Infraestrutura Hidroviária: um levantamento bibliográfico de projetos nas hidrovias Araguaia-Tocantins e Juruena-Teles Pires-Tapajós. In: *Encontro Paraense de Engenharia de Produção*, Belém. Anais... Belém: EPAEP, p. 372-383.

NASCIMENTO, L. (2012). *Falta de eclusas em projetos de usinas pode criar impasse jurídico*. Disponível em: <<http://migre.me/uXZzuu>>. Acesso em 06 de agosto de 2016.

PAVAN, R. (2011). *Projetos de hidroelétricas na Amazônia não preveem eclusas*. Disponível em: <<http://migre.me/uXZv3>>. Acesso em 01 de agosto de 2016.

PELISSON, E. (2013). *Hidrovia Teles Pires-Tapajós. Florestanet, Alta Floresta*. Disponível em: <http://www.florestanet.com.br/economia/id-45237/hidrovia_teles_pires_tapajos>. Acesso em 09 set. 2016.

POMPERMA YER, F. M; CAMPOS NETO, C. A. S; PAULA, J. M. P. (2014). *Hidrovias no Brasil: perspectiva histórica, custos e institucionalidade*. IPEA. Disponível em: <<http://migre.me/uXZwB>>. Acesso em 01 set. 2016.

SÃO MANOEL ENERGIA (2016). *Institucional*. Disponível em: <<http://www.saomanoelenergia.com.br/>>. Acesso em 16 jun. 2016.

SIMCHI-LEVI, D; KAMINS K. Y. P. e SIMCHI-LEVI, E. (2010). *Cadeia de Suprimentos Projeto e Gestão: conceitos estratégicas e estudos de caso*. 3. ed. Porto

Alegre: Bookman, 2010. 584 p.

SMERALDI, S. (2005). Análise das principais grandes obras de infraestrutura do Plano Plurianual (PPA) 2004-2007 na Amazônia. In: COY, M; KOHLHEPP G. *Amazônia Sustentável: desenvolvimento sustentável entre políticas públicas, estratégias inovadoras e experiências locais*. Rio de Janeiro: Garamond. p. 63-73.

VALOR (2015). *Lei permite concessão de eclusas e obriga construção com hidrelétricas*. Disponível em: <<http://migre.me/uXZzf>>. Acesso em 27 jul. de 2016.

WOLNEY, D. (2014). O grande papel do potencial hidrelétrico brasileiro. Disponível em: <<http://migre.me/uXZzT>>. Acesso em 27 jul. de 2016.

Endereço para correspondência:

(1) Salomão, Bárbara Heliodora Negreiros – barbaransalomao@gmail.com;

(2) Mota, Ana Elaje Azevedo Simões – anaazevedomota@hotmail.com;

Melo, André Cristiano Silva – acsmelo@yahoo.com.br;

(1;2;3) – Travessa Enéas Pinheiro, 2626, Marco, Centro de Ciências Naturais e Tecnologia - CCNT, Universidade do Estado do Pará – UEPA, 66095-015, Belém-PA,

METODOLOGIA PARA DEFINIR E PRIORIZAR CRITÉRIOS DE PROJETO PARA EMBARCAÇÃO DE PASSAGEIROS

METHODOLOGY TO DEFINE AND PRIORITIZING DESIGN CRITERIA FOR PASSENGER VESSELS

PALITOT, P. P.¹; MORAES, H. B.²
(1;2) Universidade Federal do Pará

RESUMO

Este artigo apresenta os resultados da utilização de um método multicritério de tomada de decisão - *Analytic Hierarchy Process* - *AHP* aplicado a uma linha de transporte de passageiros para identificar e definir a prioridade de critérios de projeto para embarcação de passageiros. Para a realização do estudo, houve a escolha do método multicritério a ser usado após vasta pesquisa sobre metodologias de tomada de decisão e a busca de um *software* que desse auxílio a resolução do problema. Foram definidos os critérios, subcritérios e alternativas da estrutura hierárquica e por meio de questionários foram coletadas as notas auferidas pelos usuários do transporte e por profissionais de visão técnica no assunto. Foi possível validar o modelo e aplicar a metodologia utilizando o *software Super Decisions* onde foram obtidos os rankings de prioridades. A aplicação da metodologia AHP permitiu hierarquizar as embarcações, e obter como resultados que os critérios de Segurança, Acomodação e Banheiro são os principais para o projeto de embarcação de passageiros segundo avaliação de especialistas e usuários.

Palavras-chave: Embarcação. Transporte hidroviário. Passageiros.

ABSTRACT

This paper presents the results of using a multicriteria decision making method- *Analytic Hierarchy Process* - *AHP* applied in a passenger transport line to identify and prioritize criteria

for passenger vessels projects. For execution the study, there was a choice of a multi-criteria method after wide research about decision-making methods, and the search for a *software* that helps to solve the problem. The criteria, sub criteria and alternatives of the hierarchical structure were defined, and by using questionnaires note were collected given by the users of the transport and by professionals with technical view on the subject. It was achievable validate the model and applying the methodology using the *software* Super Decisions where priority rankings were obtained. The apply of AHP methodology allowed to hierarchized the vessels, and achieve as results that the criterias of Safety, Accommodation and Bathroom are the main ones for the passenger vessel project according to experts and users.

Keywords: Vessel. Water transport. Passengers.

1. INTRODUÇÃO

O transporte aquaviário de cargas e passageiros na Amazônia é vasto devido à extensão da malha hidroviária da região. Além disso, a grande diversidade de tipos, características operacionais e a carência de estudos, levaram ao desenvolvimento desta pesquisa que busca criar soluções que auxiliem na seleção da embarcação mais adequada para o transporte hidroviário de passageiros nas linhas da Amazônia, contribuindo para que o transporte seja mais eficiente, de maneira a melhor atender o usuário, reduzindo custos e aumentando a segurança nas linhas fluviais que ligam as cidades da região.

O Brasil dispõe de uma vasta malha hidroviária composta por bacias hidrográficas que colaboram para que o transporte hidroviário venha a ser uma alternativa inteligente no deslocamento de cargas e pessoas.

A bacia amazônica por sua vez, ocupa 45% do território brasileiro e possui cerca de 50% a 60% das vias navegáveis do país, essas vias navegáveis movimentam a economia da região através de embarcações destinadas ao transporte misto (carga e passageiros) ou somente carga.

A navegação fluvial é o mais importante meio de transporte de pessoas e mercadorias na região amazônica, conectando as diversas comunidades e polos de produção, comercialização e consumo estabelecidos junto à sua vasta e notável malha hidroviária (ANTAQ, 2013).

O transporte misto (passageiros e cargas) atende as principais cidades da Amazônia, principalmente, aquelas que não possuem atratividade para os grandes grupos econômicos. Este fato faz com que esse meio de transporte seja predominante e fundamental para a vida em sociedade da população, já que a grande maioria dos núcleos urbanos está localizada às margens de rios, havendo localidades que a única forma de acesso é por meio fluvial.

Sendo assim, na região amazônica o sistema de transporte hidroviário necessita atender o fluxo de pessoas e cargas com uma infraestrutura que garanta a qualidade e segurança do transporte, e que possa prover o desenvolvimento das regiões que o sistema abrange. Além disso, quanto mais eficiente for o sistema hidroviário, melhor será para a população que irá se beneficiar e terá seu direito de locomoção garantido.

Esse artigo visa apresentar um processo de decisão para definir critérios que auxiliem na elaboração do projeto de embarcações de passageiros, tendo em vista melhorarem o nível de serviço do sistema de transporte hidroviário de passageiros da região amazônica. Busca-se com isso auxiliar as empresas prestadoras do serviço de transporte a selecionarem adequadamente as embarcações que irão operar em cada linha.

2. ASPECTOS GERAIS DO TRANSPORTE HIDROVIÁRIO

O transporte hidroviário no Brasil possui diferenças e características próprias que variam de região para região, portanto, o estudo da malha hidroviária nacional, das vias navegáveis, identificação da ocorrência dos tipos de transporte (passageiro, carga e misto), das demandas e frotas existentes, dão base para entender como esse transporte funciona.

2.1. Malha hidroviária do Brasil

As principais hidrovias brasileiras encontram-se nas Regiões Hidrográficas da Amazônia, do Atlântico Nordeste Ocidental, do Parnaíba, do Tocantins, do São Francisco, do Atlântico do Sul, do Paraná e do Paraguai (BRASIL, 2007).

A Região Amazônica é reconhecida pela sua vastidão de terras e distinta configuração territorial, uma de suas principais características é a sua disponibilidade hídrica.

A Bacia amazônica corresponde a uma área total de 6.110.000 km², sendo 3.879.207 km² (63%) localizados no Brasil, o restante é dividido entre Peru (17%), Bolívia (11%), Colômbia (5,8%), Equador (2,2%), Venezuela (0,7%) e Guiana (0,2%) (BRASIL, 2007).

A Região Hidrográfica Amazônica representa 45% do território nacional (BRASIL, 2007). Abrangendo os estados do Acre, Amapá, Amazonas, Roraima, Rondônia, Pará e Mato Grosso, com uma população de cerca de 20 milhões de habitantes (9% da população do País).

A Lei nº 5.917, de 1973, apresenta uma relação descritiva das vias navegáveis interiores e das interligações de bacias do Plano Nacional de Viação - PNV, são cerca de 40.000 km de hidrovias. De acordo com a relação descritiva do PNV, dos 39.906 km de vias navegáveis do Brasil, na Bacia Amazônica localizam-se 21.618 km, cerca de 54%.

Dessa extensão total em 19.764 km foi identificado o transporte de passageiros em 6.360 km. Em 1.192 km identificaram-se o de transporte de passageiros e cargas (misto), como ilustra a Figura 1. Percebe-se que em termos de potencial hídrico a região amazônica é detentora de 80% das vias economicamente navegáveis.

2.2. Vias navegáveis da Amazônia

A navegação fluvial é o mais importante meio de transporte de pessoas e mercadorias na região amazônica, conectando as diversas comunidades e polos de produção, comercialização e consumo estabelecidos junto à sua vasta e notável malha hidroviária (BRASIL, 2013).



Figura 1: Mapa do transporte de passageiros e Transporte misto na região amazônica

Fonte: QUEIROZ *et al.*, 2013.

Vale ressaltar que cada rio oferece condições bem diferentes de navegabilidade, no que diz respeito ao calado, largura da rota de navegação, raios das curvas presentes, presença de corredeiras, cachoeiras, barragens e eclusas, bem como às variações decorrentes do ciclo hidrológico.

Dos 6.360 km de vias navegáveis onde há o transporte de passageiros na Amazônia (QUEIROZ *et al.*, 2013), existe vias que merecem destaque por ligarem as cidades que são os principais polos origem/destino das linhas fluviais de passageiros.

2.3. Demanda, frota e linhas da Amazônia

Segundo a ANTAQ (BRASIL, 2013) a demanda de transporte de passageiros na região amazônica é de 9.780.324 passageiros por ano em 317 linhas pesquisadas em 2012, sendo projetada para 2022 uma demanda total de 9.948.715 passageiros. Ou seja, o equivalente a quase metade da população da região (20 milhões de habitantes) (BRASIL, 2017).

Essa demanda pode ser explicada por a Região Amazônica

ser uma ampla área territorial cortada por extensa malha hidroviária navegável e inúmeras localidades que se situam às margens de rios, que não possuem outro modo de locomoção e acesso a não ser por meio fluvial. Ver Figura 2. A base de todo o deslocamento de cargas e pessoas é o transporte hidroviário e o seu papel social é significativo, servindo como meio de integração de grande parte da população (BRITO, 2008).

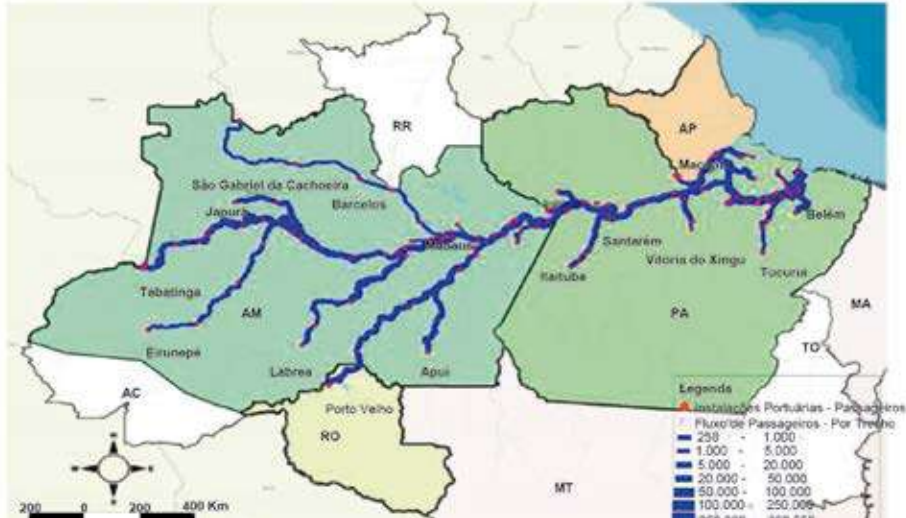


Figura 2: Principais escalas do transporte de passageiros

Fonte: UFPA *apud* ANTAQ, 2018.

De acordo com a ANTAQ (BRASIL, 2013), de um total de 446 embarcações das linhas que circulam na Amazônia, a média de idade é de 11 anos, sendo que 32,3% está entre 1 e 4 anos, 29,9% entre 5 a 10 anos, 21,2% entre 11 e 20 anos, e 16,6% tem mais de 20 anos.

Em relação ao material do casco, a maior parte (63,5%) das embarcações é de madeira. O aço naval se faz presente em 22,0%, o alumínio em 10,1%, e a fibra em 4,5% das embarcações. Ressalta-se que 75,9% das embarcações com casco de madeira circulam a mais de 11 anos nas vias navegáveis da Amazônia.

Segundo pesquisas da ANTAQ há na região amazônica cerca de 130 embarcações mistas que transportam passageiros e cargas, nos estados do Pará, Amazonas, Rondônia e Amapá, com uma

movimentação de 4.575.02 toneladas de carga transportadas no ano de 2012.

2.4. Demanda, frota e linhas da Amazônia

Os sistemas de transporte aquaviário de passageiros no Brasil são prestados, majoritariamente, em aglomerados urbanos localizados na orla marítima do sudeste/nordeste, em apoio a plataformas de petróleo e na bacia Amazônica em linhas urbanas e interestaduais (MORAES, 2002).

Com o surgimento de polos de mineração, agrícolas e industriais na Região Amazônica, houve um considerável crescimento da população, aumentando com isso a demanda pelo transporte fluvial, necessitando-se, portanto, cada vez mais de um transporte adequado e seguro para cada linha de navegação (BRASIL, 2013).

A maior dificuldade para a movimentação de passageiros é um transporte regular e rápido que atenda a padrões de serviço adequados. Os tempos de viagem das embarcações operantes na Amazônia são sempre bastante elevados em relação a embarcações de transporte de passageiros utilizadas no mundo. A melhoria do serviço deve incluir a diminuição do tempo de viagem segundo Moraes e Vasconcelos (2001).

Nesse sentido, Moraes (2002) desenvolveu um modelo matemático para servir como ferramenta de análise para o estudo da implantação de embarcações do tipo catamarã de alta velocidade em linhas de transporte hidroviário de passageiros, com enfoque específico desse tipo de embarcação na região amazônica, analisando a viabilidade técnica, econômica e ambiental dessas embarcações de acordo com as características da via navegável, do meio ambiente e da quantidade de passageiros a ser transportada.

A regularidade no transporte é outro fator a ser observado principalmente nas linhas onde ocorre o transporte misto (passageiros e cargas). Segundo a ANTAQ (BRASIL, 2013), as viagens, em algumas linhas, são estabelecidas conforme o interesse do armador, pois ele só realiza viagens se houver carga que torne a viagem rentável, ou seja, a viagem não é viável apenas com a

tarifa paga pelos passageiros, sendo necessário o frete da carga transportada para arcar com os custos do transporte.

Para Moraes e Vasconcelos (2001) estudos específicos devem ser conduzidos objetivando criar estratégias que diminuam o tempo de viagem sem, contudo, aumentar significativamente o custo da passagem e há a necessidade de melhoria ou implantação de novos terminais destinados, especificamente, a operar com as embarcações de passageiros

Moraes (2011) verificou que o custo do transporte hidroviário de passageiro na Amazônia não é homogêneo, em virtude da grande diversidade de embarcações que operam em cada linha e que a otimização do projeto adequado para cada linha pode ter grande reduções no custo do passageiro transportado.

Merege (2011) desenvolveu uma metodologia para obtenção de informações por meio de índices e indicadores sobre as condições do transporte fluvial na Amazônia. Essas informações referem-se a questões que tem grande importância para os usuários, tais como segurança, higiene e conforto. Em seu artigo o autor concluiu que para o índice de qualidade é necessário a elaboração de um instrumento de pesquisa a ser aplicado aos passageiros e operadores. Isso permitirá a obtenção de dados que representam o ponto de vista das pessoas envolvidas, ou seja, as características subjetivas do transporte misto.

Dentro do cenário atual do sistema de transporte hidroviário de passageiros encontra-se um cenário difuso, onde há diferentes interesses entre as partes envolvidas e também um ambiente onde há informações imprecisas. Não há um padrão de tomada de decisão para as empresas prestadoras do serviço de transporte selecionarem, dentre suas embarcações, a que melhor atenderá cada linha, visto que cada linha tem suas particularidades.

Dessa forma, como se pode decidir, entre as alternativas, qual a embarcação que melhor se adéqua para realizar o transporte de passageiros em determinada linha, de modo a tornar o transporte mais eficiente?

Para se alcançar esse objetivo, pesquisou-se uma metodologia de apoio à tomada de decisão onde se pudesse selecionar critérios e priorizá-los.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Após vasta pesquisa sobre metodologias e *softwares* que dessem auxílio a resolução do problema, o presente estudo apresenta a Análise Hierárquica de Processo (AHP) como método multicritério de tomada de decisão escolhido e o *Software Super Decision* como ferramenta de aplicação.

O AHP foi o método que melhor se adequou a realidade do problema, por possibilitar o ranking das alternativas, a criação de uma estrutura hierárquica em vários níveis, além de ser um método de fácil entendimento, ampla aplicação prática, grande número de publicações científicas e disponibilidade de *software* gratuito. O AHP auxilia na identificação e priorização de critérios de decisão para a elaboração de projetos de embarcações.

Assim como os autores Abreu *et al.* (2000), Xavier (2009), Marins *et al.* (2009), Oliveira e Mello (2009), Gomedes e Barros (2012), Briozzo e Musetti (2015), Alves e Alves (2015) e Tavares (2015), esse estudo proposto utiliza o método AHP para identificar e priorizar os critérios, dado que os autores citados obtiveram resultados satisfatórios em suas pesquisas, muito convergente ao que foi proposto para este trabalho.

3.1. Método de Análise Hierárquica – AHP

Um dos primeiros métodos dedicados ao ambiente decisional multicritério é o método AHP clássico, criado pelo Prof. Thomas L. Saaty em meados da década de 70 (GOMES e GOMES, 2012).

O AHP é escolhido quando o tomador de decisão utiliza seu julgamento ou conhecimento para fazer uma avaliação entre critérios restritivos ou não para uma determinada situação (LEITE e FREITAS, 2012).

Segundo Gomes *apud* Leite e Freitas (2012), o AHP é baseado na comparação paritária dos critérios, buscando responder quais os critérios de maior importância e qual a proporção dessa importância.

Segundo Gomes *et al.* *apud* Tavares (2015), os elementos fundamentais do método AHP são: atributos e prioridades, correlação binária, escala fundamental e hierarquia. Tais elementos são descritos a seguir:

- a) atributos e propriedades: um conjunto finito de alternativas é comparado em função de um conjunto finito de propriedades;
- b) correlação binária: ao serem comparados dois elementos baseados em uma determinada propriedade, realiza-se uma comparação binária, na qual um elemento pode ser preferível ou indiferente a outro;
- c) escala fundamental: a cada elemento associa-se um valor de prioridade sobre os outros elementos, que será lido em uma escala numérica de números positivos e reais;
- d) hierarquia: um conjunto de elementos ordenados por ordem de preferências e homogêneos em seus respectivos níveis hierárquicos

3.2. Construção de hierarquias

O Método AHP, após a divisão do problema em níveis hierárquicos, determina, por meio da síntese dos valores dos agentes de decisão, uma medida global para cada uma das alternativas, priorizando-as ou classificando-as ao final do método (SILVA e BELDERRAIN, 2005).

O decisor deve efetuar a estruturação do problema em estudo, combinando os critérios e alternativas segundo os diversos níveis hierárquicos necessários, para que se obtenha uma representação mais fiel possível do problema (TAVARES, 2015). Dessa forma, determinam-se as alternativas do problema, que serão analisadas em cada critério do nível hierárquico mais baixo. (SILVA e BELDERRAIN, 2005).

A estruturação do problema deve ser feita de tal forma que os critérios aplicados em cada nível devem ser homogêneos e não redundantes. Ou seja, os critérios de um determinado nível devem apresentar o mesmo grau de importância relativa dentro do seu nível (homogeneidade), e um critério de um determinado nível deve ser independente em relação aos critérios dos níveis inferiores (não redundância). Ver Figura 3.

A Figura 3 ilustra como deve ser construída a estrutura hierárquica básica de um problema de decisão.

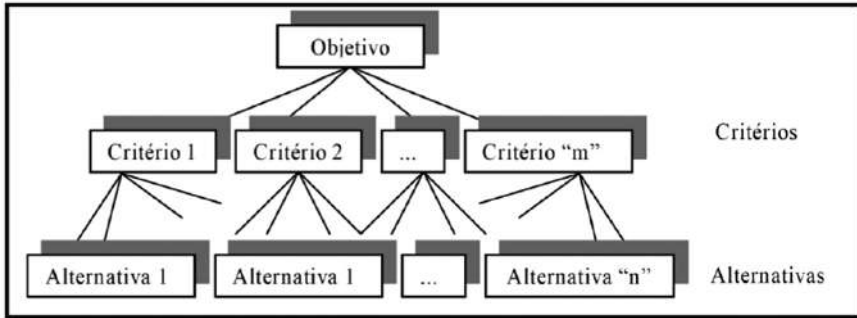


Figura 3: Estrutura hierárquica básica

Fonte: Martins *et al.*, 2009.

Depois de construir a hierarquia, cada decisor deve fazer uma comparação, par a par, de cada elemento em um nível hierárquico dado, criando-se uma matriz de decisão quadrada. Nessa matriz, o decisor representará, a partir de uma escala predefinida, sua preferência entre os elementos comparados, sob o enfoque do nível imediatamente superior (SILVA e BELDERRAIN, 2005).

3.3. Escala de valor

Para o julgamento de cada uma das importâncias relativas previstas, o AHP adota uma escala proposta por Thomas Saaty, em 1980, denominada escala fundamental de Saaty, para padronização dos julgamentos de valor emitidos pelos decisores (SAATY, 1990 *apud* TAVARES, 2015).

O julgamento par a par dos elementos de um nível da hierarquia são feitos à luz de cada elemento em conexão ao nível superior, compondo as matrizes de julgamento (TREVIZANO e FREITAS, 2005 *apud* MARINS, 2009).

A escala fundamental de Saaty é uma escala linear que varia de 1 a 9, onde critérios com o mesmo nível de importância são comparados par a par. A escala numérica pode ser entendida verbalmente como é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Escala fundamental de Saaty

Escala numérica	Escala Verbal	Explicações
1	Igual importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra.
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra, sua dominação de importância é demonstrada na prática
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza.
2,4,6,8	Valores intermediários	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições

Fonte: Saaty *apud* Briozo e Musetti, 2015.

Usualmente aplicam-se questionários para facilitar o entendimento da escala fundamental de Saaty no uso do método AHP, para depois efetuar a modelagem dos dados com as matrizes. (TAVARES, 2015).

Sato *apud* Tavares (2015) disponibiliza um modelo de questionário onde o tomador de decisão visualiza os elementos que está comparando. A Figura 4 demonstra uma adaptação do questionário, onde é realizada a comparação entre alternativas (comparação na localização de armazéns).

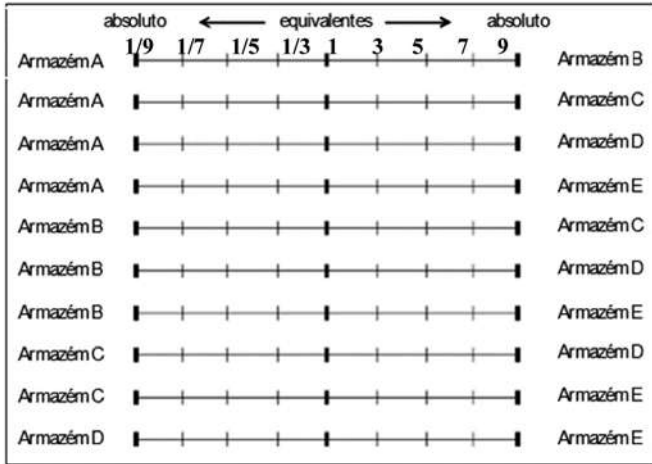


Figura 4: Questionário de Saaty

Fonte: Saaty *apud* Tavares, 2015.

Posteriormente as marcações são transformadas nos valores da escala de Saaty. Neste contexto, a posição do meio é atribuída o valor 1, para a esquerda, varia de 1/3 a 1/9, e para a direita varia de 3 a 9.

O estudo do processo de decisão pelo Método AHP pode ser dividido em duas etapas: a estruturação hierárquica do problema de decisão e, a modelagem do método propriamente dito (TAVARES, 2015).

3.4. Modelagem do método

Definida a estrutura hierárquica, realizou-se a comparação par a par de cada alternativa dentro de cada critério do nível imediatamente superior, ou seja, para cada critério serão relacionadas as alternativas devidamente aplicadas na Escala Fundamental (SILVA e BELDERRAIN, 2005).

Para cada nível da hierarquia é realizada uma comparação de todos os critérios aos pares, à luz de cada um dos elementos ligados a camada superior da hierarquia, em seguida são comparadas os subcritérios e as alternativas, gerando matrizes específicas e uma medida global para cada uma das alternativas, priorizando-as ou classificando-as ao finalizar o método (TAVARES, 2015).

Marins *et al.* (2009) expõem que a quantidade de julgamentos necessários para a construção de uma matriz de julgamentos genérica A é n(n-1)/2, onde n é o número de elementos pertencentes a esta matriz. Os elementos de A são definidos pelas condições:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 1/a_{n1} & 1/a_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix}, \text{ onde:}$$

$$a_{ij} > 0 \Rightarrow \text{positiva}$$

$$a_{ij} = 1 \therefore a_{ji} = 1$$

$$a_{ij} = 1/a_{ji} \Rightarrow \text{recíproca}$$

$$a_{ik} = a_{ij} \cdot a_{jk} \Rightarrow \text{consistência}$$

Figura 5: exemplo de matriz paritária das alternativas

Fonte: Marins *et al.*, 2009.

Xavier, 2009, demonstra o processo de cálculo do método: com base nos valores da matriz são efetuados uma série de cálculos para que se encontre a melhor alternativa. A Equação[1] apresenta o valor do impacto da alternativa j em relação à alternativa i:

$$i(A_j), j=1 \tag{Eq. 1}$$

Em seguida os resultados são normalizados conforme a Equação[2] a seguir, onde n é o número de alternativas comparadas:

$$\sum_{i=1} V_i(A_j) = 1, j=1, \dots, n \tag{Eq. 2}$$

Cada componente do somatório é calculado assim pela Equação[3]:

$$V_i(A_j) = a_{ij} / \sum_{i=1} a_{ij}, j=1, \dots, n \tag{Eq. 3}$$

Na Equação[4] temos o vetor de prioridades da alternativa i em relação ao critério Ck é:

$$V_k(A_i) = (V_i(A_j)) / n, i=1, \dots, n \tag{Eq. 4}$$

Além do cálculo do vetor de prioridade das alternativas, é necessário que se calcule também o vetor de prioridade dos critérios, normalizados.

Na Equação[5], m é o número de critérios em um mesmo nível.

$$W_i(C_j) = C_{ij} / (\sum_{i=1} C_{ij}), j = 1, \dots, m \quad [\text{Eq. 5}]$$

O próximo passo é o cálculo do vetor prioridade dos critérios, que é dado pela Equação[6]:

$$W_i(C_i) = (\sum_{i=1} w(C_j)) / (m, i=1, \dots, m) \quad [\text{Eq. 6}]$$

Por fim, as alternativas são classificadas conforme seus valores finais, que são seus respectivos graus de importância no critério multiplicado pela importância relativa de cada critério, com as notas agregadas para obter um valor único ao fim da etapa de cálculos.

O n da Equação [7] corresponde ao número de alternativas avaliadas.

$$f(A_j) = \sum_{i=1} w(C_j) \times v(A_j), j=1, \dots, n \quad [\text{Eq. 7}]$$

3.5. Análise de consistência

A análise de consistência visa validar os dados inseridos na matriz, ou seja, confirma a validade dos julgamentos.

O método AHP se propõe a calcular a Razão de Consistência dos julgamentos, denotada por $RC = IC/IR$, onde IR é o Índice de Consistência Randômico obtido para uma matriz recíproca de ordem n , com elementos não-negativos e gerada randomicamente. O Índice de Consistência (IC) é dado por $IC = (\lambda_{\text{máx}} - n) / (n-1)$, onde $\lambda_{\text{máx}}$ é o maior autovalor da matriz de julgamentos. (TREVIZANO e FREITAS, 2005 *apud* MARINS *et al.* 2009).

A razão de consistência por Saaty foi obtida pela Equação[8]:

$$RC=IC/IR \quad [Eq. 8]$$

Segundo Gomes *et al. apud* Tavares, (2015), o *IR* é um índice aleatório, calculado para matrizes quadradas de ordem *n*. Este índice varia de acordo com a ordem da matriz desejada (número de alternativas). Alguns valores são demonstrados na Tabela 2.

Tabela 2: Índices de inconsistência aleatória para até sete alternativas

N	2	3	4	5	6	7
IR	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32

Fonte: Saaty, *apud* Tavares, 2015.

Quanto maior for o RC maior será a inconsistência, sendo considerada aceitável para um valor menor ou igual a 0,10 (GOMES *et al. apud* TAVARES, 2015).

Se o índice de consistência excede 0,10 os julgamentos não são confiáveis e o teste não é válido (SAATY *apud* TAVARES, 2015).

4. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Após o estudo dos aspectos gerais da malha hidroviária e das linhas de transporte de passageiros da Amazônia, foi escolhida a linha Belém Macapá para modelar o estudo de caso. A linha Belém-Macapá foi escolhida por ter um tempo de viagem relativamente curto, quando comparado às demais linhas interestaduais da Amazônia, um número de embarcações satisfatório para o espaço amostral da pesquisa e uma operação de viagens regular.

O estudo de caso visou elaborar um procedimento padrão para seleção e avaliação do transporte hidroviário de passageiros por meio de metodologia multicritério.

A linha Belém-Macapá (Santana) tem 514 km, aproximadamente 278 milhas náuticas, o tempo de viagem varia entre 22 a 28 horas nos navios e entre 12 a 18 horas na lancha. Os

terminais de destino que ligam a linha são: o Terminal Hidroviário Luiz Rebelo Neto, em Belém do Pará, e o Porto do Grego em Santana município vizinho a Macapá, estado do Amapá. Ver Figura 5.

Embarcações linha Belém-Macapá (Santana)			
	BRENO		ANA BEATRIZ IV
	ANA BEATRIZ III		ANA BEATRIZ VI

Figura 5: Embarcação da linha Belém-Macapá

Fonte: Autor, 2018.

As embarcações que fazem o transporte dessa linha e a tarifa aplicada estão demonstradas na Tabela 3.

Tabela 3: Embarcações da Linha Belém-Macapá (Santana)

Embarcação	Tipo	Tarifa			
		Rede	Suíte 2 pessoas	Suíte 3 pessoas	Poltrona
Breno	Navio	R\$170	R\$550	R\$700	-
Ana Beatriz III	Navio	R\$170	R\$550	R\$700	-
Ana Beatriz IV	Navio	R\$170	R\$550	R\$700	-
Ana Beatriz VI	Lancha	-	-	-	R\$250

Fonte: Terminal Hidroviário Luiz Rebelo Neto, 2018.

A movimentação de passageiros anual nessa linha segundo a ANTAQ (BRASIL, 2018) é de 69.120 passageiros, com projeção de 109.205 passageiros em 2026.

Após a análise das características da linha escolhida foram definidos os critérios e subcritérios, para classificar a embarcação. Com a aplicação da metodologia AHP, é possível criar uma estruturação hierárquica do problema de decisão. Ver Figura 6.

4.1. Estrutura Hierárquica

As alternativas da estrutura hierárquica são as embarcações que transportam os passageiros na linha Belém-Macapá (Santana).

A criação da estrutura hierárquica baseada em Cardoso (2013) definiu os critérios e subcritérios que serão analisados no processo decisório. Foram definidos como critério e subcritérios os principais elementos que os passageiros conseguem ter percepção ao longo de uma viagem, são eles:

a) Acesso:

- Acesso à embarcação: são as condições de acesso do terminal para a embarcação, assim como as estruturas flutuantes, rampas ou escadas de acesso;
- Mobilidade: são as condições de mobilidade interna dentro da embarcação, áreas de circulação e acesso de um convés ao outro.

b) Segurança:

- Equipamentos de salvatagem: são as condições dos equipamentos, a presença de instruções de uso e a facilidade de acesso a esses equipamentos;
- Equipamentos de combate a incêndio: são as condições dos equipamentos, verificação da presença ou ausência destes;
- Sinalização: são as placas de sinalização, identificação das áreas comuns, equipamentos, locais de acomodação.

c) Acomodação:

- Rede: área do convés destinada para alocação de redes;
- Camarote: área de camarote;
- Poltronas: área de poltronas;
- área de acomodação de bagagem: local específico para acomodação das bagagens dos passageiros (bagageiro, porão).

d) Entretenimento:

- Televisão: presença de televisão para o entretenimento do passageiro ao longo da viagem;
- Wi-fi: presença e qualidade de acesso ao sinal de wi-fi para o entretenimento do passageiro ao longo da viagem;

e) Bar/lançonete:

- Higiene: condições de higiene das áreas de refeição (bar/lançonete);
- Refeição: qualidade e condições da refeição;
- Reserva de água: presença de reservatório de água para atender as áreas de cozinha, bar e lançonete.

f) Banheiro:

- Higiene: condições de higiene dos banheiros;
- Reserva de água: presença de reservatório de água para atender os banheiros (banho, pias, descarga);
- Tanque séptico: presença de tanque séptico para coleta de dejetos.

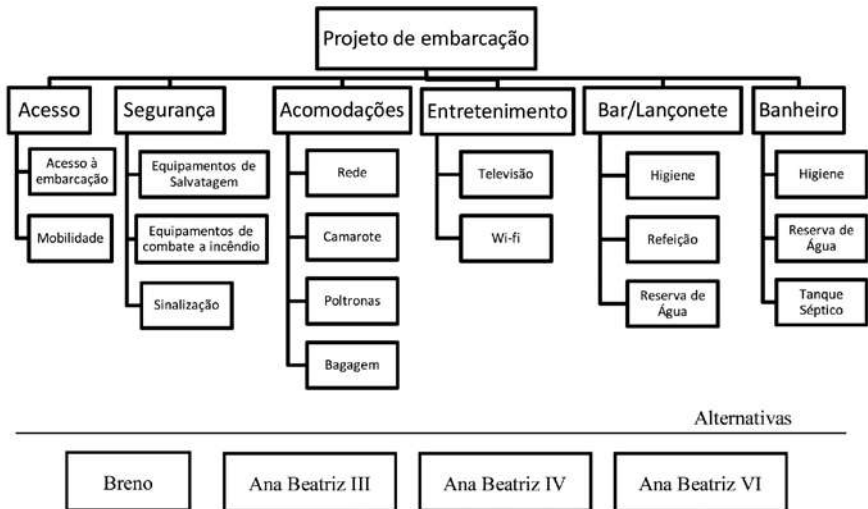


Figura 6: Modelo Hierárquico de estruturação do problema

Fonte: Autor, 2018 adaptado de Cardoso, 2013.

Após a etapa de levantamento das alternativas e dos critérios e subcritérios de avaliação, fez-se a avaliação das alternativas segundo cada critério e subcritério (julgamento da importância).

Para tal, fez-se necessário a montagem de um questionário, de modo a padronizar as respostas, seguindo o que foi proposto por Sato *apud* Tavares (2015), um questionário para avaliação onde a posição do meio é atribuída o valor 1, para a esquerda, varia de 1/3 a 1/9, e para a direita varia de 3 a 9.

Para o preenchimento do questionário de avaliação dos critérios e subcritérios, foram entrevistados usuários do transporte e foram selecionados seis especialistas com atuação reconhecida na área de transporte, porém com ângulos de observação diferentes.

O espaço amostral do número de usuários entrevistados teve como referência a movimentação anual fornecida pela ANTAQ. Esse espaço amostral foi calculado através de uma planilha eletrônica por estatística inferencial com intervalo de confiança de 90% e erro de 5%. Dessa forma, em uma população anual estimada entre 69.120 e 109.205 passageiros o espaço amostral foi de 270 entrevistados.

Os passageiros foram entrevistados no Terminal Hidroviário Luiz Rebelo Neto, em Belém do Pará, nos meses de outubro e novembro de 2017. Os especialistas responderam ao mesmo questionário de maneira eletrônica.

As perguntas do questionário comparam cada critério e subcritério em um mesmo nível. As comparações estão de acordo com a escala fundamental de Saaty que varia de 1 a 9.

Após todos os questionários aplicados os dados foram transferidos para uma planilha eletrônica e para o cálculo do valor final de cada critério foi calculada a média geométrica.

Rabanni e Rabanni *apud* Wolff (2008) concluíram que a média geométrica é a única média que funciona para o método AHP. O recíproco da média geométrica de um conjunto de julgamentos é a média dos recíprocos. Isto não é verdade com a média aritmética ou qualquer outra média.

A Equação[9] apresenta a fórmula da média geométrica que se dá pela raiz enésima dos n elementos multiplicados entre si. Onde n é o número de elementos.

$$\sqrt[n]{a \times b \times c \dots \times n} \quad [\text{Eq. 9}]$$

Saaty e Vargas *apud* Wolff (2008) fazem um estudo das decisões em grupo e consideram que a média geométrica é a única

válida para sintetização dos julgamentos em grupo.

Foi realizada em campo uma avaliação com as quatro embarcações, onde cada critério e subcritério foram julgados como: inexistente, ruim, regular, bom e ótimo. Essa análise levou em consideração as condições e estados de cada critério e subcritério no momento da pesquisa *in loco*.

Após esse processo usou-se os dados apurados como *inputs* (dados de entrada) no *software* Super Decisions.

Tabela 4: Fluxograma das etapas da pesquisa

Etapa	Ordem do Processo		
1	Criação da estrutura hierárquica básica		<i>Software</i>
2	Escolha dos decisores		
3	270 usuários	5 Especialistas	
4	Aplicação dos questionários	Aplicação dos questionários	
5	Resultados dos questionários	Resultados dos questionários	Excel
6	Média geométrica dos resultados	Média geométrica dos resultados	Excel
7	Criação da matriz a partir dos resultados	Criação da matriz a partir dos resultados	<i>Software</i>
8	Análise de consistência	Análise de consistência	<i>Software</i>
9	Avaliação das embarcações <i>in loco</i>		
10	Criação da escala das alternativas (embarcações)	Criação da escala das alternativas (embarcações)	<i>Software</i>
11	Obtenção da priorização dos critérios e subcritérios	Obtenção da priorização dos critérios e subcritérios	<i>Software</i>
12	Obtenção do ranqueamentos das alternativas	Obtenção do ranqueamentos das alternativas	<i>Software</i>

Fonte: Autor, 2018.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1. Quanto à prioridade dos Critérios

Analisando os resultados das prioridades dos critérios com os julgamentos dos especialistas e usuário pode-se perceber que os critérios que obtiveram maiores notas, ou seja, foram julgados como mais importantes foram: segurança, acomodação e banheiro. A Figura 7 ilustra a comparação de cada critério.



Figura 7: Comparação do resultado dos critérios

Fonte: Autor, 2018.

5.2. Quanto à prioridade do critério Acesso

Os especialistas apontaram o acesso entre o terminal de passageiros e a embarcação como subcritério mais importante. Já para os usuários ambos os critérios têm mesma importância. A Figura 8 ilustra a comparação dos subcritérios.



Figura 8: Comparação do resultado do critério Acesso

Fonte: Autor, 2018.

A lancha Ana Beatriz VI foi a embarcação que apresentou a melhor mobilidade interna, por ter apenas 1 nível de convés, facilitando assim o deslocamento do passageiro no interior da embarcação. O navio Ana Beatriz III tem um difícil acesso entre convés realizado por uma escada na proa da embarcação.

5.3. Quanto à prioridade do critério Segurança

O subcritério no âmbito de segurança julgado como de maior importância foram os equipamentos de salvatagem. A Figura 9 ilustra a comparação dos subcritérios.



Figura 9: Comparação do resultado do critério Segurança

Fonte: Autor, 2018.

O subcritério equipamento de salvatagem apesar de ser identificado como de maior importância obteve avaliação regular em todas as embarcações.

5.4. Quanto à prioridade do critério Acomodação

A área de camarote obteve maior nota na avaliação dos especialistas, enquanto que a área de rede obteve maior nota na avaliação dos usuários. Além de ter tido uma nota bem representativa na avaliação dos especialistas. A Figura 10 ilustra a comparação dos subcritérios.

A lancha Ana Beatriz VI destacou-se com uma ótima área de poltronas e acomodação das bagagens. A acomodação das bagagens é realizada pela tripulação em um porão. A lancha não possui área de rede e camarote para os usuários. Já as outras embarcações

possuem apenas área de rede e camarote. As acomodações das bagagens ficam por conta de cada passageiro dentro do camarote ou abaixo das redes.



Figura 10: Comparação do resultado do critério Acomodação
Fonte: Autor, 2018.

5.5. Quanto à prioridade do critério Entretenimento

O subcritério avaliado com maior nota foi a presença de sinal de wi-fi. A Figura 11 ilustra a comparação dos subcritérios.



Figura 11: Comparação do resultado do critério Entretenimento
Fonte: Autor, 2018.

As embarcações Ana Beatriz IV e Breno apresentam sinal de Wi-fi, porém com uma conexão ruim. Já as embarcações Ana Beatriz III e VI na data da avaliação estavam sem esse serviço.

Os navios possuem televisão apenas nas áreas de refeitório e bar, já a lancha Ana Beatriz VI, possui várias televisões na área de poltronas.

5.6. Quanto à prioridade do critério Bar/Lanchonete

O subcritério mais importante foi a higiene do bar e lanchonete. A Figura 12 ilustra a comparação dos subcritérios.



Figura 12: Comparação do resultado do critério Bar/Lanchonete
Fonte: Autor, 2018.

A área de bar/lanchonete de todas as embarcações apresentou boa higiene. A lancha Ana Beatriz VI é a única embarcação que não possui reservatório de água, sendo feito o abastecimento de água por garrafões de 20 litros.

5.7. Quanto à prioridade do critério Banheiro

A higiene do banheiro foi julgada como subcritério mais importante. A Figura 13 ilustra a comparação dos subcritérios.



Figura 13: Comparação do resultado do critério Banheiro
Fonte: Autor, 2018.

Nenhuma embarcação possui tanque séptico para a coleta dos dejetos. A lancha Ana Beatriz VI foi a única embarcação que apresentou mal cheiro na área de banheiros, decorrente de má higienização.

5.8. Ranking das embarcações

Apesar de prioridades diferentes em alguns critérios e subcritérios a prioridade do ranking das embarcações tanto para os especialistas quanto para os usuários foi o mesmo. O navio Ana Beatriz IV ficou em primeiro lugar.

A lancha Ana Beatriz VI não obteve melhor classificação porque no critério acomodação a embarcação não possui nem área de rede, nem área de camarote. Essa embarcação se difere das outras com um tempo de viagem menor, por isso possui apenas área de poltronas, no entanto é uma embarcação bastante confortável. A Figura 14 ilustra o ranking comparativo de cada embarcação.



Figura 14: Comparação do ranking das embarcações

Fonte: Autor, 2018.

6. AVALIAÇÃO PERCENTUAL DOS CRITÉRIOS E SUBCRITÉRIO

Na Figura 15 encontra-se a representação percentual que possibilita identificar quais os principais critérios para seguir para o projeto de embarcação.

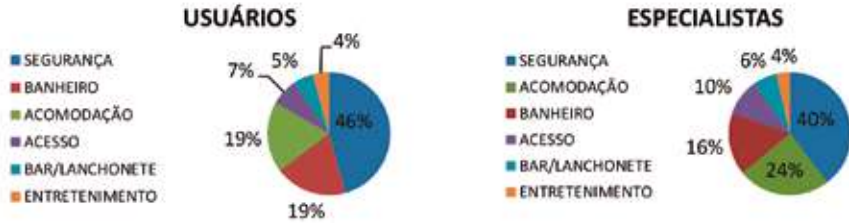


Figura 15: Representação percentual dos critérios

Fonte: Autor, 2018.

Os critérios com maior representatividade são Segurança, Banheiro e Acomodação. Para os usuários a Segurança representa 45,70% e para os especialistas 39,66%, é o critério mais importante a ser observado no projeto da embarcação.

Na Figura 16 encontra-se a representação percentual do subcritério Segurança.

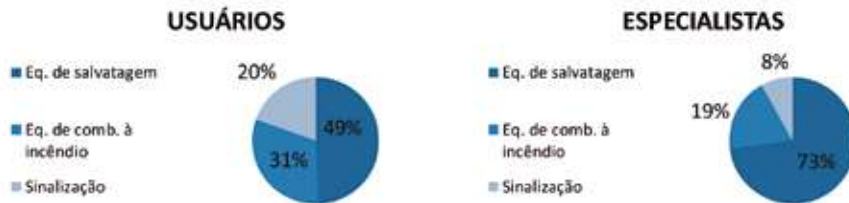


Figura 16: Representação percentual do critério Segurança

Fonte: Autor, 2018.

O subcritério equipamento de salvatagem obteve os maiores índices de importância, na avaliação dos especialistas obteve 73,06% de representação percentual, enquanto que para os usuários obteve 49,34%. Para os usuários a Acomodação representa 18,64% e para os especialistas 24,32%, é o segundo critério mais importante a ser observado no projeto da embarcação.

Na Figura 17 encontra-se a representação percentual do subcritério Acomodação.

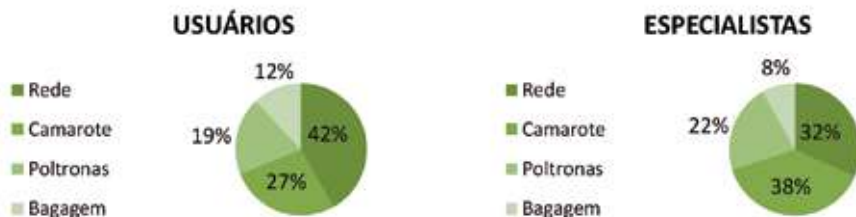


Figura 17: Representação percentual do critério Acomodação
Fonte: Autor, 2018.

O subcritério camarote e rede foram as áreas com maiores representatividades percentuais tanto para os usuários quanto para os especialistas. Os percentuais somados ultrapassam 60% em ambas as avaliações. Usuários 68,89% e especialistas 70%. Para os usuários o critério Banheiro representa 18,93% e para os especialistas 16,34%, é o terceiro critério mais importante a ser observado no projeto da embarcação.

Na Figura 18 encontra-se a representação percentual do subcritério Banheiro.

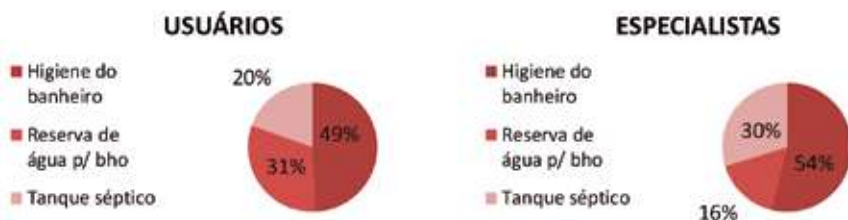


Figura 18: Representação percentual do critério Banheiro
Fonte: Autor, 2018.

A higiene do banheiro na avaliação dos especialistas obteve 53,96% de representação percentual. Enquanto que para os usuários os percentuais da higiene do banheiro representaram 49,34%. Para os usuários o Acesso representa 7,10% e para os especialistas 9,63%, é o quarto critério mais importante a ser observado no projeto da embarcação.

Na Figura 19 encontra-se a representação percentual do subcritério Acesso.

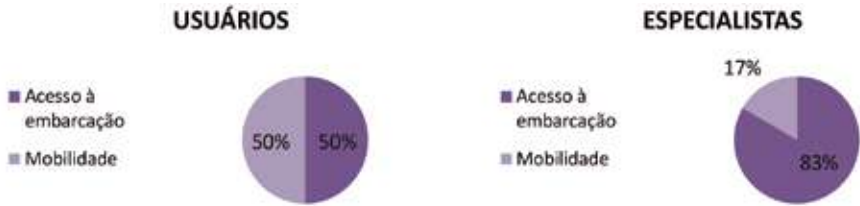


Figura 20: Representação percentual do critério Acesso
 Fonte: Autor, 2018.

O acesso à embarcação na avaliação dos especialistas obteve 83,33% de representação percentual. Enquanto que para os usuários os percentuais da mobilidade e acesso à embarcação representaram 50%, ou seja, mesmo grau de importância. Para os usuários o critério Bar/Lanchonete representa 5,44% e para os especialistas 6,48%, é o quinto critério mais importante a ser observado no projeto da embarcação.

Na Figura 21 encontra-se a representação percentual do subcritério Bar/Lanchonete.

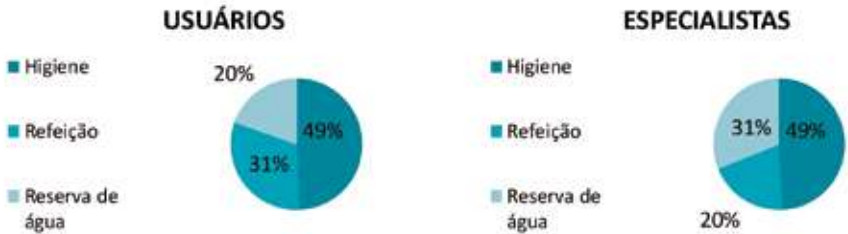


Figura 21: Representação percentual do critério Bar/lanchonete
 Fonte: Autor, 2018.

A higiene do Bar/Lanchonete obteve mesma representatividade percentual de 49,34%, tanto para os usuários quanto para os especialistas. Para os usuários o entretenimento representa 4,20% e para os especialistas 3,58%, e foi o critério de menor importância a ser observado no projeto da embarcação.

Na Figura 22 encontra-se a representação percentual do subcritério Entretenimento.

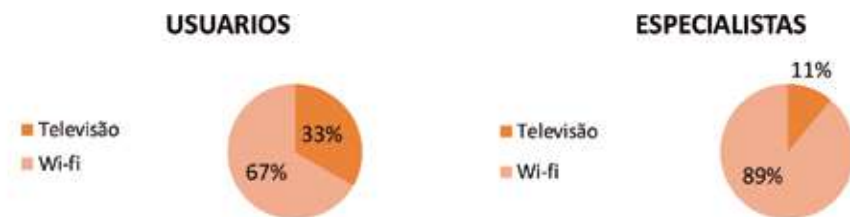


Figura 23: Representação percentual do critério Entretenimento
Fonte: Autor, 2018.

O wi-fi na avaliação dos especialistas obteve 88,89% de representação percentual. Enquanto que para os usuários os percentuais do wi-fi representam 66,67%.

7. CONCLUSÃO

Dentre os critérios escolhidos como relevantes para o processo de decisão a prioridade obtida após os julgamentos pelos usuários foi 1º Segurança, 2º Banheiro, 3º Acomodação, 4º Acesso, 5º Bar/Lanchonete e 6º Entretenimento. E para os julgamentos dos especialistas 1º Segurança, 2º Acomodação, 3º Banheiro, 4º Acesso, 5º Bar/Lanchonete e 6º Entretenimento.

Os critérios com maior representatividade em ambas as avaliações foram Segurança, Banheiro e Acomodação. Para os usuários a Segurança representa 45,70% e para os especialistas 39,66%, é o critério mais importante a ser observado no projeto da embarcação. A Acomodação representa 18,64% para os usuários e 24,32% para os especialistas. E o Banheiro, 18,93% para os usuários e 16,34% para os especialistas.

A embarcação da linha Belém-Macapá (Santana) que teve a melhor avaliação foi o navio Ana Beatriz IV, destacou-se nos critérios acomodação (com boa área de rede e camarotes), banheiro (boa higiene e reserva de água), bar/lanchonete (boa higiene, reserva de água e boa refeição).

Os resultados obtidos mostraram que uma embarcação para operar deve prezar pela segurança, principalmente nas condições dos equipamentos de salvatagem. Deve haver melhorias nas áreas de acomodação dos passageiros (área de rede e camarotes). A higiene

dos banheiros deve ser mantida ao longo da viagem. No embarque e desembarque deve se ter um acesso adequado entre o terminal e a embarcação. Deve ser mantida uma boa higiene nas áreas de Bar/Lanchonete e um melhor acesso a wi-fi para entretenimento.

Os resultados mostraram que a não observância desses critérios ao elaborar um projeto ou escolher uma embarcação para operar nas linhas de transporte de passageiro pode comprometer a segurança, o conforto e a habitabilidade dentro da embarcação.

A metodologia aplicada nesta dissertação além de possibilitar estabelecer critérios de importância no projeto, ainda pode ser aplicada para avaliação de desempenho de embarcações em operação nas diversas linhas da Amazônia ou em outras regiões.

A prioridade de importância dos critérios pode ser aplicada a outras linhas para que se avalie o desempenho de embarcações sobre os mesmos critérios e subcritérios, bem como se pode refazer todo o processo criando novos critérios de avaliação, dessa forma reaplicando os questionários e obtendo novas preferências.

A priorização e definição feita com usuários e especialista pôde validar o processo, pois foi possível observar que as etapas realizadas e a metodologia utilizada foram eficazes.

O trabalho atingiu os objetivos ao criar um processo onde se pôde identificar os critérios de decisão para a elaboração de projetos de embarcações e com isso contribuir para o desempenho e adequação do transporte fluvial de passageiros na região Amazônica.

REFERÊNCIAS

- ABREU. L. M., GRANEMANN. S. R., GARTNER. I., BERNARDES. R. S. (2000). Escolha de um programa de controle da qualidade da água para consumo humano: aplicação do método AHP. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande, PB, DEAg/UFPB.
- ALVES. J. R. X., ALVES, J. M. (2015). *Definição de localidade para instalação industrial*. ITA, São José dos Campos.
- BRASIL (2017). Presidência da República. Ministério do Planejamento, *Desenvolvimento e Gestão*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE: Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/index.html>. Acesso em 22/02/2017.

BRASIL. Presidência da República (2017). Ministério do Meio Ambiente. *Agência Nacional de Águas ANA*. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/bacias/amazonica.aspx>> Acesso em 16/02/2017.

BRASIL. Presidência da República (2007). Ministério do Meio Ambiente. *Agência Nacional de Águas*. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. *A Navegação Interior e sua Interface com o Setor de Recursos Hídricos no Brasil e Aproveitamento do Potencial Hidráulico para Geração de Energia no Brasil*. Brasília: ANA.

BRASIL. Presidência da República (2018). Secretaria dos Portos. *Agência Nacional de Transportes Aquaviários*. Caracterização da oferta e da demanda do transporte fluvial de passageiros e cargas na região amazônica - Produto V. Belém: ANTAQ.

BRASIL. Presidência da República (2015). Secretaria dos Portos. *Agência Nacional de Transportes Aquaviários*. Pesquisa de satisfação dos usuários do serviço de transporte longitudinal de passageiros e misto (passageiros e cargas) na navegação interior da região amazônica. Brasília: ANTAQ.

BRASIL. Presidência da República (2014). Secretaria dos Portos. *Agência Nacional de Transportes Aquaviários*. *Cenário Atual da Navegação Interior no Brasil*. Brasília: ANTAQ.

BRASIL. Presidência da República (2013). Secretaria dos Portos. *Agência Nacional de Transportes Aquaviários*. Caracterização da oferta e da demanda do transporte fluvial de passageiros da região amazônica - Brasília: ANTAQ.

BRITO, E. G. (2008). Transporte hidroviário interior de passageiros na região amazônica: metodologias aplicáveis ao cálculo do valor da tarifa. *Dissertação mestrado*. UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Transportes. Rio de Janeiro.

BRIOZO, R. A. e MUNETTI, M. A. (2015). Método multicritério de tomada de decisão: aplicação ao caso da localização espacial de uma Unidade de Pronto Atendimento – UPA 24 h. *Gest. Prod.*, São Carlos, v. 22, n. 4, p. 805-819. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104530X2015000400805&lng=pt&nrm=iso>. Acessos em 19 out. 2017. Epub 29-Set-2015. <http://dx.doi.org/10.1590/0104-530X975-13>.

CARDOSO, P. (2013). Pesquisa operacional como instrumento de suporte à tomada de decisão: aplicação no transporte aquaviário do Amazonas. *Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)*. Universidade Federal do Amazonas. Manaus.

GOMES, E. e BARROS, R. M. (2012). Utilizando o Método Analytic Hierarchy Process (AHP) para Priorização de Serviços de TI: Um Estudo de Caso. Departamento de Computação – Universidade Estadual de Londrina – UEL. VIII Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação.

- GOMES, L. F. A. M. e GOMES, C. F. S. (2012). Tomada de decisão Gerencial: enfoque multicritério. 4. ed. São Paulo: Atlas.
- LEITE, I. M. S. e FREITAS, F. F. T. (2012). Análise comparativa dos métodos de apoio multicritério a decisão: AHP, Electre e Promethee. XXXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Bento Gonçalves.
- MARINS, C. S., SOUZA, D. O. e BARROS, M. S. (2009). O uso de método de análise hierárquica (AHP) na tomada de decisões gerenciais - Um estudo de caso. Pesquisa operacional na gestão de conhecimento. ISSN 1808-4435. *XLI SBPO Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*.
- MEREGE, F. (2011). Indicadores da navegação hidroviária mista na região amazônica. *7º Seminário de Transporte e Desenvolvimento Hidroviário Interior Porto Alegre: SOBENA*.
- MORAES, H. B. (2002). Uma proposta de metodologia de análise para implantação de embarcação de alta velocidade no transporte de passageiros: Um caso de aplicação de catamarãs na região amazônica, *Tese de Doutorado*. Rio de Janeiro.
- MORAES, H. B. e VASCONCELLOS, J. M. (2001). *Elaboração de uma análise qualitativa e quantitativa dos tipos e características das embarcações atualmente empregadas nas principais linhas de transporte de passageiro e carga, buscando identificar padrões típicos e principais problemas associados à adequação da tecnologia à via e ao transporte implantado*. SUDAN/FADESP, Belém.
- MORAES, R. C. M. (2013). Ferramenta de avaliação do transporte hidroviário de passageiros da região amazônica. 2013. 121 f. *Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Belém*. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.
- OLIVEIRA, A. V. e MELLO, J.C.C.B.S. (2009). *Combinação de um método multicritério de auxílio à decisão subjetivo e outro objetivo e aplicação desse modelo híbrido na seleção de um imóvel*. UFF. Rio de Janeiro.
- QUEIROZ, E. P.; NASCIMENTO, I. M. e FIALHO, J. R. R. (2013). A dimensão do transporte hidroviário de carga e passageiros: a extensão das vias economicamente navegadas, *8º seminário de transporte interior*. Jaú: SOBENA.
- SILVA, M. S. e BELDERRAIN, M. C. N. (2005). Considerações sobre métodos de decisão multicritério. *Instituto Tecnológico de Aeronáutica*. Divisão de Engenharia Mecânica-Aeronáutica.
- XAVIER, C. G. (2009). MCDA - Análise de decisão multicritério como ferramenta de avaliação de instalações portuárias: O caso dos terminais de contêineres brasileiros. *Dissertação de Mestrado profissionalizante*. FGV. Rio de Janeiro.

WOLFF, C. S. (2008). *O método AHP – revisão conceitual e proposta de simplificação*. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Endereço para correspondência:

(1) Palitot, Priscila Pereira – E-mail: priscila_palitot@yahoo.com.br;

(2) Moraes, Hito Braga de – E-mail: hito@ufpa.br;

(1;2) Universidade Federal do Pará – UFPA/ PPGENAV, Guamá, Belém
– PA, 66075-110

AFERIÇÃO DE DEMANDA DE TRANSPORTE HIDROVIÁRIO URBANO: UM ESTUDO DE CASO NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM – RMB

*THE URBAN WATERWAY EVALUATION: A CASE
STUDY IN BELEM METROPOLITAN REGION – BMR*

BORGES, A. M.¹; MORAES, H. B.²; CARVALHO, M. V. G. S. A.³

(1) Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará; (2;3)
Universidade Federal do Pará

RESUMO

Este estudo apresenta a aplicação do Método de Preferência Declarada com o objetivo de verificar se haverá demanda e, possivelmente, migração entre modal rodoviário (automóvel particular) e modal hidroviário (embarcação), bem como verificar quais atributos são mais relevantes para que haja essa migração entre modais numa área na cidade de Belém-PA. Para tanto, foi aplicado o Método de Preferência Declarada na área de estudo que compreende o Distrito de Icoaraci, distante cerca de 25 km do centro de Belém e que conta com uma área propícia ao transporte hidroviário pela Baía de Guajará. Na pesquisa foi determinado o grau de aceitação do transporte hidroviário por barco e quais os atributos que este modal deve apresentar para se tornar atrativo aos usuários que fazem viagens diárias para Belém. Foi apresentado um grupo de cartões com as opções dos atributos: tarifa, tempo de viagem, conforto e segurança. Os usuários do transporte individual poderiam escolher a opção contendo os níveis dos atributos que mais satisfaziam sua necessidade numa viagem por barco, ou simplesmente não escolher nenhum e continuar utilizando seu automóvel. Assim pode-se modelar a função utilidade levando em consideração as escolhas dos

usuários. Com o estudo concluiu-se que existe uma demanda por transporte hidroviário, em que 81,7% escolheram pelo menos uma opção de serviço por barcos, porém, os usuários são mais sensíveis aos atributos “tarifa” e “tempo de viagem”, quando se aumenta os valores desses atributos a demanda diminui consideravelmente, e este fato confirma a hipótese da pesquisa. Os impactos na mobilidade urbana com o planejamento dos transportes também são analisados a luz dos resultados obtidos pelos experimentos realizados neste trabalho.

Palavras-chave: Transporte hidroviário urbano. Preferência declarada. Demanda. Mobilidade urbana.

ABSTRACT

The present study describes the application of the Declared Preference Method with the objective of verifying the demand and possibly migration between the road modal (private automobile) and the waterway modal (vessel), as well as to establish which attributes are more relevant for such intermodal migration to occur in an area in the city of Belém-PA, Brazil. To this end, the Declared Preference Method was applied to the study location comprising the District of Icoaraci, approximately 25 km from the center of Belém, which has an area suitable for waterway transport, through Guajará Bay. The survey determined the degree of acceptance of waterway transport by boat and which attributes this modal should present to render it attractive to users who make daily trips to Belém. A group of cards containing the following attribute options were shown to the transport users: fare, time of travel, comfort, and safety. The individual users could choose the option containing the attribute levels that most satisfied their needs on a boat trip, or simply choose none and continue using their automobile. Thus, one can model the utility function considering the user's choices. The study concluded that there is a demand for waterway transport, with 81.7% chose at least one option regarding boat service, but users were more sensitive to the attributes “fare” and “travel time”. When increasing the values of these attributes, demand decreases considerably, and

this fact confirms the study hypothesis. The impacts on urban mobility of transport planning are also analyzed in light of the results obtained by the experiments performed in this study.

Keywords: Urban waterway transport. Declared preference. Demand. Urban mobility

1. INTRODUÇÃO

As médias e grandes cidades brasileiras estão passando por um crescimento desordenado de suas frotas, principalmente de automóveis particulares. Este fato deve-se principalmente ao aumento da população de classe média e os grandes incentivos que o governo brasileiro oferece através da redução de impostos para a compra de carros. O fato de parte da população poder comprar um carro é um fator positivo, pois isso mostra que as rendas das pessoas melhoraram e agora possuem poder de compra. Por outro lado, o uso intensivo do modal particular para a realização de viagens diárias vem causando um grande inchaço nas vias urbanas (VASCONCELLOS, 2013), pode-se notar grandes congestionamentos, acidentes, problemas de poluição sonora, visual e do ar causados pelo grande número de veículos nas cidades, como exemplo pode-se citar as cidades de Belém e Manaus, situadas na Amazônia Brasileira.

Essas cidades apresentam sérios problemas de trânsito, por outro lado possuem grande potencial para exploração do modal hidroviário entre algumas áreas. Diante desse contexto, este estudo utilizou o Método da Preferência Declarada para verificar se haverá migração das pessoas que usam o automóvel particular para uma embarcação no trecho entre o Distrito de Icoaraci e o Centro da cidade de Belém.

Conforme Souza (2002), o Método de Preferência Declarada foi originalmente desenvolvido na área de marketing, sob a denominação de Análise conjunta e na área de transportes essa Análise Conjunta ganhou a denominação de Preferência Declarada, surgindo como uma nova abordagem no desenvolvimento de modelos comportamentais.

Ben Akiva *et al.* (2013) afirma que a pesquisa comportamental é interdisciplinar por natureza e inclui campos como economia, psicologia, pesquisa de mercado, planejamento urbano e engenharia de transporte. Assim, esta pesquisa envolve vários campos, podendo contribuir para o entendimento do comportamento dos usuários de transporte e planejamento urbano da área em questão.

2. DESENVOLVIMENTO

De acordo com Cunningham *apud* Souza (2002), as técnicas disponíveis para elaboração de modelos de escolha em transportes podem ser classificadas em quatro tipos principais:

- i - A abordagem clássica, baseada nos custos fixos e variáveis de alternativas concorrentes;
- ii - A abordagem através de preferências reveladas, baseada em observações a respeito da divisão do mercado entre alternativas existentes;
- iii - O modelo “inventory-theoretic”, que considera os custos logísticos totais dos produtos transportados;
- iv - O modelo comportamental, que incorpora à modelagem de escolha, o efeito das percepções dos tomadores de decisão sobre as alternativas consideradas. Esta quarta técnica está inserida nas pesquisas que utilizam o Método de Preferência Declarada, discutido nesta pesquisa.

Souza (2002) afirma que as três primeiras categorias citadas acima são utilizadas para avaliação de competição entre alternativas de transporte, inclusive aquelas que envolvem transporte hidroviário, embora o autor considere que os principais componentes da competição em transportes, falham ao não considerar a influência da subjetividade do comportamento humano no processo de tomada de decisões.

Conforme Kawamoto (2002) no início da década de 70 houve grande preocupação com o aumento do tráfego por parte dos administradores públicos europeus e norte-americanos. Era necessário a adoção de medidas que visassem a diminuição dos

congestionamentos e uso intensivo de derivados de petróleo, para isso os governantes precisavam ter uma magnitude dos efeitos dessas medidas. Assim, foram desenvolvidos modelos comportamentais, ou seja, modelos baseados no comportamento das pessoas com os quais pudessem avaliar a reação dos usuários diante das medidas tomadas. Segundo Kawamoto (2002) foi meio a essas cobranças que surgiu o Modelo Logit, bastante utilizado para analisar a escolha modal.

O modelo Logit é empregado em diversas áreas, na de transporte utiliza-se o modelo Logit Binomial quando se está trabalhando com até dois modais de transporte, pois a calibração do modelo pode ser feita usando técnicas de regressão linear. Quando se tem mais de dois modais trabalha-se com o modelo Logit multinomial, cuja calibração do modelo é feita utilizando a técnica da máxima verossimilhança.

Conforme Kawamoto (2002) a técnica da máxima verossimilhança está baseada na ideia de que se um indivíduo pertence a uma determinada classe socioeconômica conhece os atributos dos modos alternativos e opta por determinado modo de transporte, porque este lhe parece ser mais útil, ou seja, a probabilidade desse indivíduo escolher esse modo é grande. A Equação 1 representa o modelo Logit:

$$P_i = \frac{e^{U_i}}{\sum_{j=1}^n e^{U_j}} \quad [\text{Eq. 1}]$$

Onde:

P_i : é a probabilidade da alternativa

i ser escolhida;

e : base do logaritmo neperiano;

j : alternativas consideradas;

$U_{i,j}$: utilidades das alternativas consideradas.

A teoria dos modelos de escolha discreta baseia-se na regra de tomada de decisão da utilidade que o tomador de decisão estabelece de forma aleatória ao conjunto de atributos dado as alternativas de forma que melhor o beneficie. Para Sousa (2002), Ben-Akiva

e Lermann (1985) e Brito (2007) esta escolha discreta é dada pela teoria da utilidade aleatória. Assim, a probabilidade de escolha do indivíduo “n” dentre as alternativas do conjunto “j” vai ser aquela alternativa “i” que melhor o beneficie. Assim ele escolherá “i” se esta for maior ou igual às utilidades das outras alternativas “j” presentes no conjunto de escolha, conforme Equação 2:

$$i \geq U_{tj} \quad [\text{Eq. 2}]$$

Onde:

U_{ti} = Alternativa de Utilidade “i”

U_{tj} = Conjunto de alternativas de Utilidade do conjunto “j”

2.1. Formas de aplicação do Método de Preferência Declarada

Para desenvolver um estudo de Preferência Declarada, várias etapas devem ser consideradas (KROES e SHELDON, 1988; LUZ, 1997 e ALBANO *et al.* 2010):

- O método de entrevista;
- A seleção da amostra;
- Determinação de atributos e níveis;
- A forma e complexidade do experimento;
- A análise dos dados.

Nos sub tópicos desse artigo faz-se uma descrição de cada uma dessas etapas.

2.2. O método da entrevista

O método pode ser aplicado com pessoas de um grupo específico ou com qualquer pessoa que compreenda o que está sendo proposto. A pesquisa é realizada através de entrevistas com o público escolhido onde o entrevistador apresenta uma série de opções de escolhas aos entrevistados e estes vão selecionando o que mais lhe interessa.

De acordo com Souza (2002), existem dois principais grupos de respostas declaradas encontrados nas pesquisas de comportamento em transportes: i - Escolha discreta de apenas uma alternativa: nesse método a pessoa escolhe apenas uma alternativa dentre as várias que lhe são propostas. Para Brito (2007) essa metodologia apresenta um aspecto negativo devido não fornecer informações sobre as alternativas descartadas, o que acaba implicando na necessidade de se obter mais respostas por entrevistados de forma a se obter maior número de variação dos atributos. Os dados obtidos dessa forma são chamados dados de escolha discreta. ii - Ranqueamento ou ordenação das alternativas: o entrevistado indica suas preferências entre alternativas compostas de combinações dos níveis dos atributos que definem os serviços/ produtos colocando-os em numa ordem de maior preferência ao de menor preferência. Os dados obtidos usando essa metodologia são chamados dados de julgamento.

2.3. A seleção da amostra

A amostra pode ser pré-determinada de um grupo envolvido no processo, quando a pesquisa é realizada para dar suporte à implantação de um novo modal de transporte é importante que a população próxima a área a ser atendida participe em número expressivo. A literatura indica que os entrevistados não precisam ter vivenciado a situação a que estão sendo apresentados, mas devem ter a capacidade de entendê-la.

2.4. Determinação de atributos e níveis

Os atributos são características que o produto ou serviço deve apresentar ao consumidor, por exemplo, para a implantação de um sistema de BRT – Bus Rapid Transit - em uma cidade os atributos que este serviço deve apresentar para se tornar atrativo são velocidade, conforto, custo, etc. Os níveis estão associados aos atributos, como exemplo podemos citar ao atributo custo, os valores da tarifa que esse novo sistema pode ter: R\$ 2,00, R\$ 2,50

e R\$ 3,00. Quanto mais atributos e níveis forem atribuídos, mais complexo torna-se o experimento devido ao grande número de combinação que o entrevistado terá que escolher.

2.5. A forma e complexidade do experimento

A pesquisa deve ser aplicada de maneira muito clara, para isso as alternativas, atributos e níveis devem ser apresentados de maneira bastante didática aos entrevistados. As escolhas de atributos e níveis é uma fase complexa, já que diferentes modos de transportes possuem atributos bastante distintos (BRITO, 2007).

Para Luz (1997), um maior número de atributos assegura um maior número de fatores presentes no experimento, e quanto mais níveis em cada um deles, melhor podem ser analisadas as respostas. Entretanto, um número grande de atributos e níveis, pode tornar muito complexa a tarefa dos entrevistados, tornando a entrevista tediosa e o entrevistado passa a escolher as alternativas de qualquer maneira.

Souza (2002) afirma que frequentemente o delineamento fatorial completo torna-se muito grande para ser submetido aos respondentes, por isso as técnicas existentes devem ser usadas para que o número de alternativas seja reduzido. Na medida em que as reduções do fatorial completo são efetuadas é necessário que certas propriedades estatísticas do conjunto de alternativas restantes sejam garantidas; assim os estimadores dos coeficientes serão estatisticamente eficientes. Essa preocupação cresce em projetos experimentais baseados em escolha, pois além da geração das alternativas é necessário gerar conjuntos de escolha com eficiência estatística.

2.6. A análise dos dados

Há uma variedade de técnicas analíticas disponíveis para estimar modelos de preferência declarada (SOUZA, 2002 e LUZ, 1997). A escolha da técnica mais adequada depende de uma série de definições, entre elas:

- a) o método de resposta utilizado;
- b) o projeto experimental;
- c) o nível de agregação desejado nos resultados;
- d) o tipo de função utilidade;
- e) a disponibilidade de *software* para realizar a estimação.

Souza (2002) afirma que qualquer técnica disponível tem como objetivo principal estabelecer o efeito relativo de cada atributo na utilidade atribuída pelo indivíduo a cada alternativa. As técnicas analíticas mais utilizadas são:

- a) Análise monotônica de variância, indicada para dados de ordenação. Não resulta em modelos diretos de demanda;
- b) Modelos de regressão, indicado para dados de avaliação.
- c) Modelos de escolha discreta (Logit Multinomial, Logit Hierárquico, Probit). São modelos comportamentais probabilísticos, indicados para dados de escolha discreta.

A partir dos resultados de modelos de escolha discreta são gerados modelos de demanda que podem ser usados para realizar previsões de comportamento futuro em resposta a diferentes políticas ou mudanças que estejam sendo investigadas (SOUZA, 2002).

Como citado, a análise das escolhas feitas é baseada na Teoria da Utilidade, que reproduz matematicamente as preferências de um indivíduo entre os elementos de um conjunto. De acordo com Albano *et al.* (2010), a função de utilidade quantifica o valor de satisfação de um indivíduo, associando essa satisfação a um resultado. Os valores desta função permitem que se estabeleça uma comparação entre a utilidade de diferentes atributos considerados relevantes.

Os modelos comportamentais desagregados resultantes da função utilidade possibilitam que sejam analisadas as escolhas de cada indivíduo frente a situações alternativas (BEN-AKIVA e LERMAN, 1985). A forma mais utilizada da função utilidade é a linear aditiva, expressa na Equação [Eq.3].

$$U = \beta_0 + \beta_1X_1 + \beta_2X_2 + \dots + \beta_nX_n \quad [\text{Eq. 3}]$$

Onde:

U = utilidade total

X₁ a X_n = valores dos atributos

β₀ = Constante específica do modelo

β₁ a β_n = coeficientes do modelo

Os coeficientes do modelo representam os valores relativos dos atributos em relação a utilidade total do produto. O modelo é compensatório, pois alterando-se os valores de dois atributos pode-se manter a mesma utilidade total.

2.7. Caracterização da área de estudo

A Cidade de Belém é parte de uma Região Metropolitana composta por aproximadamente 39 ilhas e por sete municípios: Belém, Ananindeua, Marituba, Benevides, Santa Bárbara do Pará, Santa Isabel do Pará e Castanhal, compreendendo uma população de 2.275.032 habitantes (IPEA, 2010), dentro de aproximadamente 3.566 km² (IPEA, 2010). Parte da Região Metropolitana de Belém (RMB) Está localizada na baía do Guajará, banhada ao norte pelo Rio Pará, ao sul pelo Rio Guamá, além das inúmeras microbacias interioranas (Figura 1)

2.8. Escolha do público alvo

Neste trabalho tomou-se como delimitação para realização das pesquisas de Preferência Declarada os seguintes critérios:

- i - O entrevistado deve ser usuário de automóvel particular;
- ii - este usuário deve realizar viagens entre Icoaraci e Belém com alguma frequência;
- iii - Este usuário deve localizar-se próximo aos terminais hidroviários de transporte de passageiros existente ou proposto;
- iv - O usuário deve ficar ciente que haverá estacionamento próximo ao terminal hidroviário de Icoaraci, bem como ônibus circulares nas principais vias do Distrito e na região central de Belém e a integração destes com uma embarcação.



Figura 1: Belém e Região Metropolitana

Fonte: EFH, 2013.

Diante da demanda observada em viagens urbanas por ônibus e veículos particulares entre o Distrito de Icoaraci e Belém, percebeu-se a grande dependência da população em se deslocar para o centro da capital devido a necessidades diárias de estudos, trabalho, serviços médico, compras, lazer e etc.

2.9. Definição de atributos e níveis

Essa pesquisa utilizará quatro variáveis: custo (tarifa), tempo de viagem, segurança e conforto. Essas variáveis são os atributos do serviço apresentados durante a pesquisa de campo.

Os atributos de custo e tempo de viagem são apresentados em até três níveis diferentes, enquanto que os atributos segurança e conforto são mensurados de forma implícita através de uma variável dummy com dois níveis. As variáveis “segurança” e “conforto” são empregadas em modelos matemáticos como uma variável dummy, que de acordo com o Tobias *et al.*, (2009), significa “presença” ou “ausência” de um conjunto completo de benefícios, facilidades e atributos que tornam a alternativa de transporte em questão mais ou menos conveniente e atraente.

A definição dos níveis para cada atributo da Pesquisa de Preferência Declarada baseou-se principalmente nas experiências de implantação de um sistema de transporte hidroviário e nos resultados da pesquisa piloto, conforme explicado no item anterior. A partir desses atributos e definição dos níveis montou-se sete cartões com as devidas combinações do plano ortogonal que o *Software* SPSS forneceu. Na Tabela 1 pode-se observar os atributos com seus respectivos níveis.

Tabela 1: Atributos e Níveis para o uso de um serviço de transporte hidroviário

ATRIBUTOS	NÍVEIS
Tarifa	R\$ 8,50 R\$ 10,00 R\$ 11,50
Tempo de viagem	20 min 30 min 45 min
Conforto	Básico (sem) Confortável (com)
Segurança	Sim Não

Fonte: Autores, 2017.

De forma simplificada, as variáveis podem assumir os valores descritos na tabela abaixo. Foram confeccionados sete cartões com os valores dos atributos e níveis, esses cartões foram apresentados aos entrevistados e pode-se verificar seus desejos diante de um novo modal de transporte.

Tabela 2: Valores das variáveis utilizadas na pesquisa

Cartão	Tarifa (R\$)	Tempo de viagem (min)	Conforto	Segurança
1	11,50	45	-1	-1
2	10,00	20	-1	-1
3	10,00	45	1	1
4	10,00	30	-1	1
5	8,50	20	-1	1
6	11,50	20	1	1
7	8,50	30	1	-1

Fonte: Autores, 2017.

A pesquisa de Preferência Declarada foi aplicada em estacionamentos de estabelecimentos comerciais do Distrito de Icoaraci entre os dias 06 e 17 de dezembro de 2016. Estes locais foram escolhidos estrategicamente por concentrar usuários do transporte particular que estacionam, tornando possível a troca de informações entre o pesquisador e o entrevistado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A função de utilidade usada na modelagem é linear, pois existe uma relação compensatória entre os atributos das alternativas. Nessa função são considerados os atributos tarifa, tempo de viagem, conforto e segurança. Os valores desses atributos limitam-se ao conjunto de níveis apresentados na Tabela 2 e são combinados a fim de permitir a realização de um experimento fatorial mínimo, no qual as alternativas dominadas são desconsideradas. Na Equação [Eq. 4] mostra-se a função utilidade para os serviços de carro e de barco considerando os atributos apresentados anteriormente.

$$U_{iq} = \beta_0 + \beta_1 T_{fi} + \beta_2 T_{vi} + \beta_3 C_{oi} + \beta_4 S_{ei} \quad [\text{Eq. 4}]$$

Onde:

U_{iq} = Utilidade da alternativa i percebida pelo usuário q

β_0 = Constante específica da alternativa i

$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ = Parâmetros genéricos da função utilidade

T_{fi} = Tarifa para utilização da alternativa i de transporte

T_{vi} = Tempo de viagem da alternativa i de transporte

C_{oi} = Conforto da alternativa i de transporte

S_{ei} = Segurança da alternativa i de transporte

Na Tabela 3 são apresentados os valores dos coeficientes da função utilidade para o modal hidroviário. O modelo foi obtido através de regressões lineares múltiplas. Através destas regressões pode-se mensurar a relação que as variáveis independentes (tarifa, tempo de viagem, segurança e conforto) possuem com a variável dependente “Utilidade do serviço”.

Tabela 3: Valores dos coeficientes dos atributos

	Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		β	Std. Erro	Beta		
1	(Constant)	7,937	,314		25,270	,000
	Preço de Tarifa	-1,174	,114	-,495	-10,261	,000
	Tempo de viagem da embarcação	-,798	,145	-,281	-5,501	,000
	Nível de conforto	1,579	,095	,878	16,607	,000
	Nível de segurança	,454	,091	,246	5,010	,000

Fonte: Autores, 2017.

Conforme os resultados da modelagem pode-se escrever a equação geral da função utilidade da seguinte forma:

$$U_{iq} = 7,937 - 1,174 T_{fi} - 0,798 T_{vi} + 1,579 C_{oi} + 0,454 S_{ei} \quad [\text{Eq. 5}]$$

Os sinais positivos e negativos obtidos na Equação 5 são coerentes com a situação apresentada, uma vez que, a utilidade da “mudança de modal hidroviário” será menor com o aumento da tarifa e com o aumento do tempo de viagem, uma vez que os usuários, quando perguntou-se o porquê da não utilização da embarcação oferecida pela prefeitura, responderam que o preço era bastante elevado. Quanto ao tempo de viagem, percebe-se que os entrevistados prezam pela economia de tempo e que estão insatisfeitos com o tempo gasto atualmente em suas viagens. O sinal dos coeficientes dos atributos conforto e segurança indicam que estes produzem um efeito positivo na função de utilidade, uma vez que quanto mais se aumenta o conforto e a segurança, a tendência é que se aumente também o interesse dos usuários pelo modal apresentado.

A partir da definição da equação geral (Equação 5) pode-se confrontar os valores da equação para os setes cartões utilizados na pesquisa e verificar se existe uma relação com as escolhas dos usuários. O cartão 5, por exemplo, foi o mais escolhido pelos participantes da pesquisa, logo este deverá apresentar os maiores valores de utilidade, assim fez-se a análise cartão a cartão, conforme descrito abaixo:

Tabela 4: Valores das variáveis dos cartões

Cartão	Tarifa (R\$)	Tempo de viagem (min)	Conforto	Segurança
1	11,50	45	-1	-1
2	10,00	20	-1	-1
3	10,00	45	1	1
4	10,00	30	-1	1
5	8,50	20	-1	1
6	11,50	20	1	1
7	8,50	30	1	-1

Fonte: Autores, 2017.

Substituindo os valores das variáveis analisadas na Equação 5, obtém-se os valores das utilidades para cada cartão, conforme sintetizado na Tabela 5.

Tabela 5: Valores das funções utilidades

Opções de cartões	Valores das utilidades	
Cartão 1	U1	-43,51
Cartão 2	U2	-21,79
Cartão 3	U3	-37,68
Cartão 4	U4	-28,87
Cartão 5	U5	-19,12
Cartão 6	U6	-19,49
Cartão 7	U7	-24,85

Fonte: Autores, 2017.

Como observado, as utilidades tiveram valores negativos, isso pode significar que para obter um sistema de transporte mais atraente se faz necessário adequar alguns fatores com a realidade local. O coeficiente da variável tarifa é a principal responsável pelo fator negativo, pois seus valores foram altos, porém deve-se considerar que os preços apresentados aos entrevistados condizem com os preços de operação de uma embarcação.

O fato de as variáveis “segurança” e “conforto” serem variáveis qualitativas com valores que poderiam ser -1 ou 1, também contribui para a determinação da função utilidade negativa, a literatura trata essas variáveis como dummy, que recebem valor de 1 quando se tem conforto ou segurança e -1 se inexistir esses atributos, desta maneira os coeficientes obtidos na equação geral foram considerados baixos, o que contribuiu para os valores negativos.

Apesar dos valores negativos é possível fazer uma análise e perceber que o cartão 5 foi considerado com a função utilidade maior, pois o valor é o menos negativo. Esse fato é coerente quando comparado com o percentual de escolha de cartões, onde a maioria (22,9%) escolheu o cartão 5, o que comprova que o modelo da função utilidade está bem calibrado.

O Modelo Logit, também, demonstra que a probabilidade de se escolher o cartão 5 é a maior, e os valores substituídos na Equação 6, demonstra as probabilidades de escolha de cada cartão.

$$P_i = \frac{e^{U_i}}{\sum_{j=1}^n e^{U_j}} \quad [\text{Eq. 6}]$$

Os valores foram obtidos utilizando planilhas do Excel, conforme mostrado na Tabela 6:

Tabela 6: Resultados Modelo Logit

Cartão	Modelo Logit	Percentual
1	0,000000000015	0,000000001455
2	0,039240731564	3,924073156398
3	0,000000004935	0,000000493493
4	0,000033218284	0,003321828431
5	0,565478320086	56,547832008558
6	0,393413510802	39,341351080214
7	0,001834214314	0,183421431450
Soma	1	100,000000000000

Fonte: Autores, 2017.

4. CONCLUSÕES

A diminuição de problemas relacionados a mobilidade urbana nas médias e grandes cidades tem se tornado um grande desafio para os planejadores dos transportes nos últimos anos, as cidades estão crescendo num ritmo acelerado e a grande quantidade de automóveis particulares nas vias, sem dúvida, é o ponto principal a ser discutido para que haja essa melhoria na mobilidade.

Os resultados obtidos permitem, inicialmente, identificar os usuários do sistema de transporte entre as duas áreas. A partir desta identificação é possível estabelecer um conjunto de ações e iniciativas que podem servir como norte para as tomadas de decisão dos agentes envolvidos (setor público, setor privado e sociedade).

Adotando o procedimento de ajuste através da regressão múltipla com o *software* Statistical Package for Social Sciences (SPSS) e analisando os gráficos gerados, os resultados mostraram que pode haver mudanças no comportamento dos usuários do transporte individual, pois verificou-se que existe uma parcela da amostra que optou por utilizar o transporte aquaviário entre as áreas estudadas.

De posse das informações adquiridas neste estudo e pelos resultados apresentados, cabe destacar que um sistema de transporte bem planejado pode contribuir significativamente para o desenvolvimento de uma sociedade. Dessa forma, os benefícios adquiridos com um sistema bem planejado dependem da participação de todos, principalmente da participação de governantes que devem promover o acesso a um conjunto de bens e serviços destinados à população, assim contribuindo positivamente na mobilidade urbana e bem-estar das pessoas.

De maneira resumida, as diretrizes para viabilidade do transporte hidroviário em Belém são descritas abaixo:

- O preço de tarifa mais aceitável foi de até R\$ 8,50;
- Necessidade de integração como ônibus;
- O tempo de viagem poderá ser realizado em torno de 25 minutos;

- A segurança dos passageiros deve ser lavada em consideração;
- O conforto é algo muito subjetivo. Como a viagem é rápida os entrevistados não alegaram uma grande necessidade de conforto, assim acredita-se que uma embarcação mais simples possa se tornar atrativa, e ainda contribuir para a diminuição do preço de tarifa.

REFERÊNCIAS

- ALBANO, J. F. e JOAQUIM, J. P. C. (2011). Utilização da Técnica da Preferência Declarada para avaliação do comportamento dos usuários da rodovia BR-116 considerando a existência de tarifas diferenciadas de acordo com o nível de congestionamentos. *Anais do 7º Congresso Brasileiro de Rodovias & Concessões – CBR & C BRASVIAS*. Foz do Iguaçu, PR.
- BEN-AKIVA, M.; BIERLAIRE, M. e WALKER, J. (2013). *Discrete Choice Analysis*.
- BEN-AKIVA, M. e LERMAN, S. (1985), *Discrete choice analysis: Theory and Application to Predict Travel Demand*. MIT Press, Cambridge, Mass.
- BRITO, A. N. (2007). *Aplicação de um procedimento com Preferência Declarada para estimativa do valor do tempo de viagem de motoristas em uma escolha entre rotas rodoviárias pedagiadas e não pedagiadas*.
- DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES (2007). *Dissertação de mestrado*. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP.
- KAWAMOTO, E. (2002). *Análise de Sistema de Transportes, 2ª edição revisada e aumentada*. Apostila. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos.
- KROES, E. P. e SHELDON, R. J. (1998). *Stated Preference Methods: An Introduction*. Journal of Transport Economics and Policy, England: Pergamon. v.22, n.1, p.11-25, Jan.
- LUZ, P. R. P. (1997). Um estudo de caso utilizando técnicas de preferência declarada, para análise do fluxo e permanência de veículos em áreas delimitadas. *Dissertação de Mestrado*. Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção. Florianópolis, SC.
- SOUZA, C. M. (2002). *Métodos de Preferência Declarada: Aplicações no Setor de Transportes Aquaviários*. Dissertação - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós Graduação em Engenharia Naval e Oceânica. Rio de Janeiro, RJ, 2002.

TOBIAS, M. S. G.; MORAES, H. B.; NETO, B. C. e NEVES, P. B. T. (2009). *Demanda fluvial e formação de rede rodofluvial na região metropolitana de Belém - D-FLUVIAL*. Belém: Ponto-Press. 257pag. (Relatório final).

VASCONCELLOS, E. A. (2013). *Políticas de Transporte no Brasil: A construção da Mobilidade Excludente*. Barueri, SP: Manole.

Endereço para correspondência:

(1) Borges, Alan Monteiro – E-mail: alan@unifesspa.edu.br. Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará – UNIFESSPA, Folha 17, Lote Especial, Nova Marabá, 68.505-080, Marabá-PA;

(2) Moraes, Hito Braga de – E-mail: hito@ufpa.br;

(3) Carvalho, Marcus Vinícius Guerra Seraphico de Assis – E-mail: mseraphico@ufpa.br;

(1,2;3) Universidade Federal do Pará/Instituto de Tecnologia) – UFPA/ITEC

ACESSIBILIDADE DO TERMINAL HIDROVIÁRIO DE PASSAGEIROS NA CIDADE DE SANTARÉM (PA)

ACCESSIBILITY OF PASSENGER WATERWAY TERMINAL IN SANTARÉM CITY (PA)

COUTO, M.H.S.H.F.¹; RAVENA, N.²

(1) Universidade da Amazônia; (2) Universidade
(2) Federal do Pará

RESUMO

O transporte fluvial é a principal forma de deslocamento das comunidades tradicionais na Amazônia, responsável pela qualidade de vida e sobrevivência dos ribeirinhos. Santarém no Pará é uma cidade de grande importância regional e seu principal acesso é pelos rios, assim torna-se indispensável à acessibilidade nos terminais hidroviários de passageiros. A pesquisa teve como objetivo descrever a acessibilidade do terminal hidroviário de passageiros em Santarém (PA). Foi investigada a adequação as normas nacionais definidas pela Agência Nacional de Transporte Aquaviário (ANTAQ) e pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) no terminal de passageiro em Santarém responsável pela saída das lanchas que realizam o transporte intermunicipal e interestadual. Foi observado que o terminal hidroviário em Santarém não possui todos os parâmetros descritos como necessários para promover a acessibilidade prevista em lei. Há escassez de estudos do transporte fluvial regional, sendo necessário aumentar as pesquisas no setor para futuros planejamentos de políticas públicas que incentivem a acessibilidade hidroviária na Amazônia.

Palavras-chave: Acessibilidade. Transporte hidroviário. Amazônia. Terminal hidroviário.

ABSTRACT

River transport is the main form of displacement of traditional communities in the Amazon, responsible for the quality of life and survival of the riverines. Santarém in Pará is a city of great regional importance and its main access is by rivers, making it indispensable for access to river passenger terminal. The research aimed to describe the accessibility of the Santarém (PA) in river passenger terminal. The adequacy was investigated according to national norms approved by the National Waterway Transportation Agency (ANTAQ) and the Brazilian Association of Technical Standards (ABNT) at the transit terminal in Santarém responsible for the exit of the speedboats that realize the intercity and interstate transportation. It was observed that the river passenger terminal in Santarém does not have all the parameters that are necessary to promote accessibility provided by law. There are few studies of regional river transport, and it is necessary to increase as research in the sector for future public policies planning that encourage waterway accessibility in the Amazon.

Keywords: Accessibility. Water transportation. Amazon. River passenger

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de transporte são capazes de gerar melhorias às populações, visto que sua conjectura é responsável pelas relações econômicas, políticas, culturais e sociais, mas ainda se faz necessário delimitar como podem atuar em diferentes esferas espaciais e em suas diversas tipologias/modais. A Confederação Nacional de Transporte (CNT) no Brasil credita ao transporte a responsabilidade de grandes mudanças na história da humanidade e relaciona-o com a formação das sociedades, pois gerou mobilidade e interação (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTE, 2013).

Valente (1971) propõe que a gênese da problemática dos transportes reside na utilidade dada a ele, ou seja, a capacidade de satisfazer a um desejo ou necessidade do ser humano, sendo indispensável ao transporte chegar no local e tempo exato focando

no bem-estar e sobrevivência. De acordo com a Empresa Brasileira de Transportes Urbano (EBTU), o desempenho do sistema relaciona-se diretamente às expectativas geradas pelo usuário atendido, sendo que os principais atributos para escolher o serviço são confiabilidade, acessibilidade, tempo de deslocamento, conveniência, conforto, segurança, custo, disponibilidade e qualidade do serviço (EBTU, 1988).

Os transportes são vitais para qualquer nação, podendo variar entre os países devido a fatores como posição geográfica, disposição e topografia de seu território, extensão de rios navegáveis, avanço econômico e tecnológico, mercado interno e ainda fatores subjetivos, como a índole do seu povo (VALENTE, 1971). O mundo moderno vem vivenciando a busca da otimização nos sistemas de transporte e no caso da Amazônia, a inexistência de um sistema de transporte estruturado contribui para ocupações predatórias em periferias, o que gera a exclusão social, somando às escassas informações sobre o transporte fluvial que poderiam contribuir para planejamentos mais eficientes sobre o setor na região, e para isso alguns aspectos deveriam ser mapeados como a eficiência, a rapidez, a segurança, o conforto, a oferta e a demanda e a adequação dos equipamentos utilizados para o transporte de cargas e passageiros (PINHEIRO, 2003).

A necessidade de aumentar a atuação no modal hidroviário se justifica pelos benefícios do custo, ambientais e econômicos (RODRIGUES, 2007; BRASIL, 2010; NAZARÉ, 1992 e ANTAQ, 2013), principalmente na Amazônia com sua geografia. Visto que a malha hidroviária é a principal responsável pela mobilidade da população amazônica e em muitos locais, a única. Ao longo dessa malha hidroviária foram sendo criados portos capazes de gerar maior facilidade na mobilização de bens e pessoas (ANTAQ, 2012). Sendo importante considerar a acessibilidade na utilização do transporte pela população que tem no modal hidroviário a única forma de acesso a bens e serviços, como no deslocamento da cidade de Santarém ao longo da região no Oeste do Pará. Com isso, a pesquisa teve como objetivo descrever a acessibilidade do terminal hidroviário de passageiros de Santarém (PA).

2. AVALIAÇÃO DO TRANSPORTE HIDROVIÁRIO NA AMAZÔNIA

2.1. Terminal hidroviário restrito de Passageiros em Santarém

A investigação na rede de transporte hidroviário na Amazônia justifica-se com a formação histórica das cidades a partir dos rios, com seus trapiches e portos. Trindade Júnior e Tavares (2008) descrevem a formação das cidades ao longo dos rios por meio de um processo histórico/geográfico vinculado à ocupação e à defesa territorial, iniciado pela Igreja Católica, com a criação de aldeamentos e a formação de paisagens características com uma rua principal paralela ao rio e a presença do trapiche ou porto, geralmente precários. Além disso, correlaciona a forte ligação afetiva da população ribeirinha com o rio, devido à presença de populações tradicionais e de origem local, o que demonstra a valorização e a importância dos rios como indispensáveis, muito além de uma forma única de transporte.

Como ocorre na cidade de Santarém que está localizada no estado do Pará na região Norte do Brasil, com a população do último censo de 2010 com 294.580 habitantes (IBGE, 2019). A cidade ocupa uma área de 22.887,080 km², está em torno de 800km das maiores capitais da Amazônia: Belém e Manaus, e é cercada pelo rio Tapajós. Santarém é o principal centro urbano financeiro, comercial e cultural do oeste do estado do Pará, sendo uma das cidades mais antigas da região amazônica, atualmente é a sede da Região Metropolitana de Santarém, o segundo maior aglomerado urbano do Pará (PREFEITURA DE SANTARÉM, 2019).

A cidade de Santarém, com sua localização privilegiada, desempenha um papel importante de intermediador entre as grandes capitais da Amazônia e as cidades menores na região, com a participação do rio na realização dessas trocas, no entanto, ainda é escassa a organização portuária na orla da cidade, sendo indispensável a fiscalização e implementação de instituições regulatórias. Na Amazônia, é muito difícil manter a fiscalização e regulação em torno dos acessos, devido à existência de muitas áreas portuárias e

à inexistência de uma padronização a ser seguida, causando pouco impacto ao setor quando o investimento não é prioritário.

No entanto, é necessário investimento na região amazônica, principalmente na promoção de acessibilidade da população que usufrui do serviço. Acessibilidade é descrita pela Norma Brasileira que regulamenta a acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos (NBR 9050, 2004), como a “Possibilidade e condição de alcance, percepção e entendimento para a utilização com segurança e autonomia de edificações, espaço, mobiliário, equipamento urbano e elementos” (ABNT, 2004, p.2).

Com isso, foi realizada a avaliação do terminal de passageiros que é uma edificação de uso comum pela população, com a ficha de avaliação que a ANTAQ aplicou de forma avaliativa aos terminais de passageiros na elaboração do Relatório Executivo de Caracterização da Oferta e da Demanda do Transporte Fluvial de Passageiros na Região Amazônica (ANTAQ, 2013) que teve como objetivo a identificação da demanda e da oferta de passageiros e de cargas, os portos/terminais, linhas e embarcações, assim como o perfil socioeconômico dos passageiros que circulam na região amazônica.

Na caracterização dos terminais analisados pela ANTAQ (2013) foram utilizados os estados do Pará, Amapá, Amazonas e Rondônia como fonte de pesquisa. Em Rondônia foi utilizado apenas 01(um) terminal, Amapá, 11 terminais, Amazonas, 30 e Pará, 64. A pesquisa nos terminais pontuou a partir de características físicas e operacionais dos terminais de passageiros, agrupando os terminais em duas classificações, quanto à operação e a localização. Em relação à operação foram observados itens como: facilidade de embarque e desembarque; possibilidade de transferência de um modo ou serviço de transporte para outro; presença de estacionamentos; presença de serviços necessários ao atendimento do usuário, forma de administração e operação do sistema de transporte no terminal; o conforto e segurança do usuário e a circulação adequada de passageiros e veículos. Quanto à localização foi observado se ofereciam diversas alternativas de complementação de transporte. O que demonstra a preocupação

de articulação com outros transportes, enquadrando o transporte aquaviário dentro de um sistema de transporte.

Os itens mínimos analisados e considerados pela pesquisa como necessários a um terminal hidroviário de passageiros são: acessos (ruas de acesso, área específica para ponto e parada de ônibus e taxi, e linhas de ônibus); área para estacionamento de veículos (divisão para carros particulares, táxis e veículos de cargas, área compatível com a demanda e guarita de controle); instalações e serviços (posto de atendimento médico, posto de polícia, serviços de carregadores, serviços de abastecimento de água para embarcações, serviços de combate a incêndios, abastecimento de energia e salas de administração e de arrecadação); áreas de prestação de serviços públicos (balcão de informações, boxe de venda de passagens, bancos/assentos, banheiros públicos, telefones públicos, lixeiras, sistema de chamadas e avisos, quadro de horários de chegada e de saída das embarcações, comércio, policiamento, área de circulação com sinalização, guarda volumes); área de acumulação restrita/sala de embarque (controle de acessos, bancos e assentos, banheiros públicos, telefones públicos, lixeiras, sistema de chamadas e avisos, quadro de horários de chegada e de saída das embarcações e lanchonetes) e área de atracação (berço específico e adequado, tipo e suficiência de berços).

A classificação do padrão de atendimento global dos terminais considerou a presença dos itens anteriormente descritos em nível percentual de 100% com a presença de todos os itens e 0% com a ausência total dos itens, sendo classificado em nível elevado o que possuir um escore igual ou superior a 70%, médio o que possuir um escore inferior a 70% e superior a 49%, e baixo o que possuir um escore inferior a 50%.

O terminal de passageiros analisado foi o terminal hidroviário privativo Tapajós que movimentava apenas lanchas em Santarém, no estado do Pará, localizado na Avenida Tapajós. A pesquisa tem papel relevante pelo transporte hidroviário ser a única forma de acesso entre vários municípios no Oeste do Pará, com a exclusão da linha aérea regional que fazia esse trecho, mostrando a relevância da execução desse modal de transporte para a região.

3. ACESSIBILIDADE NO TERMINAL RESTRITO DE PASSAGEIRO EM SANTARÉM

O planejamento de transporte no Brasil tem uma “essência” voltada para a participação social nas decisões das políticas a serem implementadas, porém as diferenças regionais são marcantes no país, devido à grande extensão e diversidade territorial, além da variação regional enorme quanto à utilização dos transportes dentro do país, gerando pouca ou nenhuma participação social no processo de decisão das políticas voltadas às regiões, principalmente na Amazônia. A confirmação é feita por possuir um território intensamente irrigado por grandes rios e por cursos d’água de variado tamanho e volume de vazão, com presença de grande extensão de vias navegáveis transformando o transporte hidroviário como o ponto de referência básico, mas que mesmo com essas características geográficas e culturais, ainda encontra pouco investimento no setor (DOMÍNGUEZ, 2003; MORAES, 2003 e SANT’ANNA, 1998).

No Brasil e regionalmente, como o caso da Amazônia, a preocupação com as hidrovias e portos tem sido mais fortemente relacionada à exportação/importação de cargas (PENTEADO, 1973; IDESP, 1974 e NAZARÉ, 1989, 2001). Os incentivos orçamentários e ações em busca de melhorias de infraestrutura para o transporte hidroviário têm maior enfoque no crescimento da participação na movimentação de cargas. A pesquisa feita pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) com o transporte coletivo aquaviário corrobora com a descrição de precariedade na movimentação de passageiros. Esta instituição fez visitas a portos, ancoradouros, terminais e demais pontos de embarque e desembarque de passageiros com o intuito de adequar normas de acessibilidade a esse setor, e teve a conclusão de que há grande informalidade no transporte, muitas construções são artesanais e os terminais são totalmente improvisados e praticamente inacessíveis a qualquer pessoa (INMETRO, 2013).

Soma-se a isso o relatório de gestão do exercício de 2012 da

Companhia das Docas do Pará, em que foi observada a participação do usuário/passageiro que deram sugestões da necessidade de um terminal hidroviário em Belém, que tenha condições físicas para atender o fluxo intenso de passageiros; com entrada e saída independentes e espaço suficiente para que seus usuários tenham fácil circulação ao transitarem com suas bagagens, estendendo esse projeto para os demais portos de Belém e do Brasil e, também, é abordado o interesse dos passageiros em opinar e contribuir dando sugestões no terminal de passageiros por meio de caixa de sugestões (COMPANHIA DOCAS DO PARÁ, 2012). E como mais recente publicação, a ANTAQ, em parceria com a Universidade Federal do Pará, caracterizou a oferta e demanda do transporte fluvial de passageiros na Amazônia constatando um baixo padrão de atendimento global aos usuários do serviço nos terminais dos estados do Pará, do Amazonas, do Amapá e de Rondônia (ANTAQ, 2013).

A qualidade no uso dos serviços dos terminais de passageiros na Amazônia, incluindo a acessibilidade como uma forma facilitadora de transpor obstáculos, tem impacto direto na qualidade de vida das populações tradicionais. A acessibilidade “é a facilidade de atingir os destinos desejados e é medida mais direta de um sistema de transporte” (VASCONCELLOS, 2000, p. 27) e como o sistema de transporte utiliza vários modais com o objetivo de deslocamento, a infraestrutura de acesso intermodais de transporte ao terminal hidroviário é uma forma avaliativa de acessibilidade por aumentar ou diminuir o tempo de viagem.

Assim, no primeiro item avaliado, que contempla o acesso, foi avaliado se o terminal hidroviário de Tapajós possui acessibilidade ao transporte rodoviário, identificando a presença de ruas de acesso e linhas de ônibus, mas sem área específica para a parada de ônibus e parada de táxi.

No acesso ao terminal hidroviário privativo de Tapajós, o acesso é a partir da mesma rua de acesso à margem do rio, mas como o terminal é flutuante, não tem acesso de carro diretamente ao terminal por estar fixado na orla de Santarém, como visto na Figura 1.



Figura 1: Vista na frente do terminal de passageiros Tapajós
Fonte: Autoras, 2015.

Na proposta da ANTAQ de área para estacionamento de veículos, seria necessária a existência de divisão para carros particulares, táxis e veículos de carga; uma área compatível com a demanda de passageiros ao terminal e guarita de controle. As áreas que os automóveis podem desembarcar passageiros e estacionar os veículos para o terminal Tapajós são a rua de acesso, com o comércio à frente que disputa as vagas existentes, como visto na Figura 2. O que comprova a pouca preocupação com o acesso intermodal dos transportes que poderiam privilegiar o sistema de transporte e melhorar a acessibilidade para o transporte de cargas e na movimentação de passageiros.

Nos parâmetros usados pela ANTAQ, também é avaliada a instalação e o serviço, no qual aponta a necessidade de existir posto de atendimento médico; serviço de abastecimento de água para embarcações; abastecimento de energia; posto de polícia; esses quatro primeiros itens não foram encontrados no terminal pesquisado; o serviço de carregadores existe de forma autônoma;



Figura 2: Área em frente ao terminal hidroviário privativo de Tapajós onde tem os veículos podem parar para o embarque e desembarque de passageiros

Fonte: Autoras, 2015.

e os serviços de combate a incêndio e salas de administração foram observados no terminal de Tapajós.

É importante notar que serviços como abastecimento de água para a embarcação, essencial para viagens de longa duração. A disponibilidade de água tratada para consumo é uma das maneiras de manter a boa saúde da população e, assim, sua qualidade de vida, por poder transmitir doenças ao consumo de água quando, por exemplo, se escova os dentes ao final de uma viagem noturna e coloca na boca uma água impura, podendo gerar o adoecimento. A caracterização de um item na avaliação da ANTAQ demonstra a sua necessidade como um dos graus necessários para a qualidade de vida dos ribeirinhos que usufruem do serviço rotineiramente.

No critério avaliativo de serviço de carregadores, existem por serem pessoas que comumente fazem esse serviço com a proximidade das embarcações, mas sem qualquer tipo de identificação ou regulação de serviço, um serviço autônomo, sem

tabela de preço ou qualquer orientação a desempenhar o serviço. O serviço de combate a incêndio fica a critério da existência de extintor em local visível, mas não tendo sido constatado se existe um treinamento aos funcionários locais, ficando o critério avaliativo de difícil comprovação de sua existência real.

No critério avaliado sobre a área de acumulação pública, ou seja, a área acessível a todos, foi observado os serviços e infraestrutura ofertados nas áreas comuns no terminal de Tapajós em que existe balcão de informação, quadro de horário de chegada e de saída das embarcações, boxes de venda de passagem, bancos/assentos, banheiros públicos, telefones públicos, lixeiras, comércio e área de circulação com sinalização; com ausência de policiamento e guarda volumes.

Na avaliação da área de acumulação restrita (sala de embarque), o terminal Tapajós possui uma área restrita com a entrada permitida apenas para quem já possui a passagem da lancha, os pontos avaliados na sala de embarque encontrados no terminal contemplam o controle de acesso (catraca), bancos/assentos e lixeiras; enquanto que os banheiros e telefone público só havia na área de acumulação pública. O uso dos banheiros é feito na área de acumulação pública, mas com uma boa qualidade de serviço.

Ao comparar a área de atracação, é preciso pensar na área total da orla de Santarém, mas com as particularidades de vazante e enchente na região, a criação de berços compatíveis ainda tem um custo muito elevado regional, sendo usados dispositivos que facilitem a atracação como as estruturas fixas de rampas e os flutuantes que se movem auxiliando o acesso, de acordo com as características sazonais diferenciadas pelos volumes das águas. O terminal hidroviário de Tapajós possui todos os componentes da área de atracação, mas deve se pensar que o único tipo de embarcação a que ele se propõe são as lanchas que possuem menor calado. Os itens avaliados e presentes no terminal Tapajós foram berço adequado para embarque e desembarque de passageiros; berço compatível com as características das embarcações e; suficiência de berços.

A movimentação dos terminais e o armazenamento de cargas, o terminal investigado não possui mão-de-obra para a

movimentação de carga e nem local para armazenagem de carga; equipamentos utilizados adequadamente para a transferência de carga; por ser um terminal restrito a passageiros.

O outro instrumento metodológico avaliativo foi o questionário que contempla as especificações definidas pela ABNT como indispensáveis para a acessibilidade, com trinta e três perguntas sobre acessibilidade para terminais de passageiros, com a opção sim para quem possui o dispositivo de acessibilidade e não para a inexistência do dispositivo. No terminal hidroviário de Tapajós foi observado que aproximadamente 51,5% dos itens observados não se encontram dentro dos parâmetros de acessibilidade descritos pela ABNT.

Somadas as informações colhidas pela ficha avaliativa da ANTAQ, a acessibilidade no terminal hidroviário restrito de passageiros do Tapajós que utilizam apenas lanchas, apresenta melhor qualidade de acessibilidade que outros terminais hidroviários existentes na Amazônia, isso se justifica por ser privado e praticar uma política de preço maior que o de embarcações maiores, mas com o atrativo de menor tempo de deslocamento, porém, ainda precisa de melhorias previstas em lei.

O estudo de acessibilidade na região Amazônica através dos indicadores de infraestrutura feito por Morgado, Portugal, Mello (2012) demonstrou o grau de centralidade dos mesmos e aponta a necessidade de incluir a população como forma de considerar a dimensão socioeconômica ao revelar resultados diferentes, o que indica a importância social para inferir os fatores de distância, tempo e tarifa como uma característica de acessibilidade do transporte hidroviário na Amazônia.

A implantação desse serviço melhorou a acessibilidade com o aumento de custo, mas com a diminuição do tempo de viagem. No entanto, a vida da população amazônica tem sua valoração a partir de suas vivências culturais e a implantação de novas tecnologias ao transporte que ainda estão sendo lentamente absorvidas por seus usuários.

Todavia, a região ainda vivencia o investimento massivo dirigida ao escoamento do agronegócio como o projeto de Estado

pautado na monumentalidade econômica calcada na exportação de commodities agrícolas (RODRIGUES; RODRIGUES e LIMA, 2019) com o objetivo regional de modernização territorial e desenvolvimento econômico de grandes projetos exportadores, em detrimento da promoção de bem-estar social.

Também, é apontado por Barbosa, Santos e Kuwahara (2015) a necessidade da comunidade acadêmica pesquisar no transporte na região Amazônica, pois foram identificadas a existência de problemas nas embarcações, infraestrutura portuária e falta de tecnologia de informação para auxiliar a operação do sistema de transporte fluvial, que acarreta sua subutilização, impactando de forma negativa para a população local. Assim, foi observada a necessidade de interagir com os conhecimentos técnicos relacionados a promoção de infraestrutura amparadas na legislação vigente nacional, mas também com as particularidades regionais dentro dos anseios da população local para promover a acessibilidade ao transporte hidroviário na Amazônia, com destaque aos terminais de passageiros, sendo necessário a adequação de políticas de forma integrada para gerar um modelo logístico hidroviário adequado às necessidades da população e que respeite as características intrínsecas da região Amazônica.

4. CONCLUSÕES

O acesso às embarcações na Amazônia, de uma forma geral, impõe várias barreiras. Na pesquisa de campo, onde foi feita observação de acesso às embarcações e ao terminal de passageiros em Santarém, foi constatado que o acesso, mesmo sendo uma região central ao deslocamento da população e com maiores disponibilidades de linhas, encontra-se pouco organizada na área portuária, mas o serviço de acessibilidade no terminal privativo de saída de lanchas do município apresenta boa qualidade de prestação de serviço, mas ainda assim não é o ideal, sendo necessárias políticas capazes de melhorar o acesso e assim a qualidade de vida da população residente nesses locais.

Pode-se notar ainda que a organização portuária na região

amazônica sempre tem sido feita com investimentos privados, com o intuito de atrair cliente, porém de acordo com as regras de comércio, o aumento da competitividade aumenta a qualidade de serviço ao usuário, mas no caso da Amazônia não se deve esquecer que o perfil socioeconômico do usuário é de baixo poder aquisitivo levando ao pouco investimento no setor. Nesse caso o ideal é a intervenção do governo por se tratar de um serviço essencial com intuito de prover as necessidades básicas da população. Uma estratégia de aumentar o acesso a serviços de qualidade ao usuário amazônico é o subsídio no transporte de passageiros que impactaria no custo e na qualidade no atendimento do serviço, visto que na região amazônica os incentivos na melhoria da qualidade de serviço ao usuário são muito pequenos, mantendo um grau de qualidade ainda insatisfatório para quem os utiliza, como apontado na avaliação nos terminais hidroviários.

No Brasil, a preocupação com a acessibilidade ainda não encontra a mesma repercussão que os países desenvolvidos se empenham em possuir, e quando focamos na Amazônia, a própria definição de acessibilidade nos transportes não é devidamente clara, ficando à margem de políticas públicas, escassas e ausentes, principalmente regionalmente, visto que os investimentos no setor não o priorizam. A implementação do modelo na cidade de Santarém com lanchas no transporte hidroviário regional gerou a criação de um terminal de transporte para passageiros privativo, instaurando a regulação do transporte pelo mercado.

Dessa forma, na Amazônia a interação ambiental, as relações sociais e o nível de independência surgem mediante a utilização dos rios, em que o transporte influencia a qualidade de vida que dele utiliza. Assim, são necessárias políticas públicas capazes de pensar na qualidade de serviço ofertada ao usuário pela oferta, regulação e medidas econômicas, com mais investimento na apropriação dos conhecimentos dos usuários do serviço como fonte de planejamento de infraestrutura para o setor que sejam capazes de facilitar o acesso de mercadorias e usuários, diminuindo os custos e aumentando a qualidade dentro das particularidades na Amazônia.

REFERÊNCIAS

- ANTAQ - AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTE AQUAVIÁRIO. (2012). Plano Nacional de Integração hidroviária - PNIH. *Estatística da navegação interior: extensão das vias interiores economicamente navegáveis/SNI*. Disponível em: <http://www.antaq.gov.br/Portal/Estatisticas_NavInterior.asp>. Acesso em 18 abr. 2013.
- _____. (2013). Plano Nacional de Integração hidroviária - PNIH. *Relatório técnico da Bacia Amazônica*. Brasília, DF: ANTAQ. Disponível em: <<http://www.antaq.gov.br/Portal/PNIH/RTBaciaAmazonica.pdf>>. Acesso em 10 mar. 2013.
- _____. (2013). Plano Nacional de Integração hidroviária - PNIH. *Relatório executivo da Bacia Amazônica*. Brasília, DF: ANTAQ. Disponível em: <<http://www.antaq.gov.br/Portal/PNIH/BaciaAmazonica.pdf>> Acesso em 10 mar. 2013.
- _____. (2013). Plano Nacional de Integração hidroviária - PNIH. *Estudo de macrolocalização dos terminais hidroviários no Brasil*. Brasília, DF: ANTAQ. Disponível em: <<http://www.antaq.gov.br/Portal/PNIH/PropostaMacrolocalizacaoTerminais2.pdf>> Acesso em 10 mar. 2013.
- _____. (2013). Plano Nacional de Integração hidroviária - PNIH. Relatório de metodologia do Plano Nacional de Integração hidroviária – PNIH. *Amazônica*. Brasília: ANTAQ. Disponível em: <<http://www.antaq.gov.br/Portal/PNIH/RelatorioMetodologia.pdf>> Acesso em 10 mar. 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). (2004). *Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Accessibility to buildings, equipment and the urban environment*. Rio de Janeiro: ABNT NBR 9050
- _____. (2006). *Acessibilidade de passageiros no sistema de transporte aquaviário. Accessibility of passengers on maritime and waterway system*. Rio de Janeiro: ABNT NBR 15450.
- BARBOSA, L. T. S.; SANTOS, J. T. A. N. e NELSON, K. (2015). *Revisão Sistemática da Literatura Científica sobre Transporte Hidroviário no Estado do Amazonas*. Scientia Amazônia, v. 4, n.3, 01-12.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. (2010). *Caderno setorial de recursos hídricos: transporte hidroviário*. Disponível em: <transporte-hidroviario-caderno-setorial-de-recursos-hidricos.html>. Acesso em 10 maio.
- COMPANHIA DOCAS DO PARÁ (CDP). (2013). *Legislação portuária*. Disponível em: <<http://www.cdp.com.br/>>. Acesso em 12 nov.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTE - CNT. (2013). *Museu dos transportes*. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br/Paginas/Museu-do-Transporte.aspx>> Acesso em 15 fev. 2014.

- DOMINGUEZ, C. (2003). Importância dos rios no sistema de transporte da Amazônia. In: ARAGÓN, Luis E.; CLUSENER-GODT, Miguel. *Problemática do uso local e global da água da Amazônia*. Belém: UFPA, p. 161-190.
- EMPRESA BRASILEIRA DE TRANSPORTES URBANOS - EBTU (1988). Planejamento da operação, diagnóstico de sistema existente. Módulo de treinamento. Brasília, DF: STPP Gerência de sistemas de transporte público de passageiros, v. 2.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2019). Cidades. Pará. Santarém. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/santarem/panorama>>. Acesso em 30 de novembro de 2019.
- IDESP - Instituto de Desenvolvimento Econômico-Social do Pará (1974). *Diagnóstico do setor portuário e flúvio-marítimo do estado do Pará*. Belém: IDESP.
- INMETRO (2013). *Transporte coletivo de passageiros – Modal aquaviário*. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/qualidade/acessibilidade/transporte-aquaviario.asp>>. Acesso em 10 jun. 2012.
- MORAES, H. B. (2003). Sistema de transporte fluvial da Amazônia. In: ARAGÓN, Luis E.; CLUSENER-GODT, Miguel. *Problemática do uso local e global da água da Amazônia*. Belém: UFPA, p. 191-197.
- MORGADO, A. V.; PORTUGAL, L. e MELLO, A. J. R. (2013). *Acessibilidade na Região Amazônica através do transporte hidroviário*. Journal of Transport Literature. Vol. 7, n. 2, pp. 97-123.
- NAZARÉ, R. F. (1992). Transporte na Amazônia. In: COSTA, José Marcelino M. (Org.) *Amazônia: Desenvolvimento ou retrocesso*. Belém: Cejup.
- _____. (2001). *Globalização, o transporte e a Amazônia brasileira*. Belém: Cejup.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTARÉM (2019). *Histórico de Santarém*. Disponível em: <http://www.santarem.pa.gov.br/pagina.asp?id_pagina=6> Acesso em 30/11/2019.
- PENTEADO, A. R. (1973). *O sistema portuário de Belém*. Belém: UFPA.
- PINHEIRO, A. M. G. S. (2003). Transporte fluvial nas ilhas da área metropolitana de Belém. In: *Simpósio Amazônia, Cidades e Geopolítica das Águas [Anais]*. Belém: NAEA; UFPA, p. 21-24.
- RODRIGUES, J. C.; RODRIGUES, J. C. e LIMA, R. A. P. (2019). *Portos do agronegócio e produção territorial da cidade de Itaituba, na Amazônia paraense*. Geosul, Florianópolis, v. 34, n. 71- Dossiê Agronegócios no Brasil, p. 357-381.
- RODRIGUES, P. R. A. (2007). *Introdução aos sistemas de transporte no Brasil e a logística internacional*. 4. ed. São Paulo: Aduaneiras.
- SANT'ANNA, J. A. (2008). *Rede Básica de Transportes da Amazônia*. Brasília, DF: Ipea, 1998.

TRINDADE JÚNIOR, S. C. e TAVARES, M. G. (2008) *Cidades Ribeirinhas na Amazônia: mudanças e permanências*. Belém: UFPA.

VALENTE, M. G. (1971). *A política de transportes marítimos do Brasil: crônica de uma batalha*. Brasília, DF: Ministério dos Transportes; Serviço de documentação.

VASCONCELLOS, E. A. (2000). *Transporte urbano nos países em desenvolvimento: reflexões e propostas*. 4. ed. São Paulo: Annablume.

.

Endereço para correspondência:

(1) Couto, Mayra Hermínia Simões Hamad Farias do – E-mail: mayrahamad@gmail.com. Universidade da Amazônia – UNAMA / PPDMU, Av. Alcindo Cacela, 287, Umarizal, Belém – PA, 66060-000.

(2) Ravena, Nírvia – E-mail: niravena@gmail.com. Universidade Federal do Pará – UFPA / NAEA, Av. Perimetral, 1- Guamá, Belém – PA, 66075-750.

(1; 2) Universidade da Amazônia - UNAMA. Av. Alcindo Cacela, 287, Belém-Pa, 66.060.000.

ACESSIBILIDADE ESPACIAL DA MALHA HIDROVIÁRIA REGIONAL E CONSTITUIÇÃO DE UMA REDE DE CIDADES NO BAIXO AMAZONAS

*WATERWAY TRANSPORT SPATIAL ACCESSIBILITY
AND THE ADOPTION OF A NETWORK OF CITIES IN
LOWER AMAZON REGION*

RAMOS, R. A. R.¹; RODRIGUES, D. S.²
(1;2) Universidade do Minho

RESUMO

Fatores físicos, como a proximidade espacial e a conectividade por meios de transporte, e fatores políticos, como opções de modelos de desenvolvimento similares, suscitam a existência de redes de cidades. Neste contexto, é apresentada uma avaliação em ambiente SIG da malha hidroviária regional do Baixo Amazonas, Estado do Pará, e são analisados fatores favoráveis para a constituição de uma rede de cidades tendo por base a conectividade e as funcionalidades dos centros urbanos em estudo. O modelo adotado foi implementado em ambiente georreferenciado e permitiu gerar mapas de acessibilidade às zonas urbanas geradoras de viagens, em função da importância e localização das funcionalidades estudadas: educação, saúde, serviços, lazer e comércio. O estudo de caso incide na rede de transportes da malha hidroviária que interliga as cidades de Alenquer, Monte Alegre, Óbidos, Oriximiná, Santarém. Da análise de acessibilidade efetuada fica evidente que há um nível elevado de acessibilidade na zona de estudo e é possível verificar a forte relação existente entre as cinco cidades. Deste modo, poder-se-á constituir uma rede de cidades suportada pela conectividade proporcionada pela malha hidroviária existente. Um dos principais fatores para a adoção da rede de cidades é potenciar de forma mais efetiva que as populações se desloquem entre as várias cidades. No

seu conjunto, as cinco cidades, possuem cerca de meio milhão de habitantes e níveis de acessibilidade elevados. Assim, a adoção de políticas de desenvolvimento sustentável, assentes em planeamento à escala regional, podem num futuro próximo ser uma oportunidade e proporcionar desafios para a estruturação em rede das cidades de Alenquer, Monte Alegre, Óbidos, Oriximiná e Santarém.

Palavras-chave: Malha hidroviária. Acessibilidade. Rede de cidades. Baixo Amazonas.

ABSTRACT

Physical factors, such as spatial proximity and transport networks, and political factors, such as options for similar development models, promote the existence of network of cities. In this context, an assessment in GIS of the waterway transport in Lower Amazon river region, State of Pará (Brazil), is presented. The study presents some favorable factors for the constitution of a network of cities based on the connectivity and functionalities of the cities. The spatial analysis model was implemented to make maps of accessibility from trip generation of urban areas according to the importance and location of the studied features: education, health, services, leisure and commerce. The case study analyses the waterway transport network that connects the cities of Alenquer, Monte Alegre, Óbidos, Oriximiná, Santarém. From the accessibility analysis point of view, it is evident that there is a high level of accessibility in the study area and it is possible to verify the relationship between the five cities. Thus, a network of cities could be created and supported by the connectivity provided by the existing waterway transport network. One main factors for the adoption of a network of cities is to raise the inter cities populations movements. All together, the five cities have about half a million inhabitants and high levels of accessibility. Consequently, in the near future, the adoption of sustainable development policies based on regional planning may be an opportunity and a challenge for the creation of a network connecting the cities of Alenquer, Monte Alegre, Óbidos, Oriximiná, Santarém.

Keywords: Waterway transport. Accessibility. Network of cities. Lower Amazon region.

1. INTRODUÇÃO

Fatores físicos, como a proximidade espacial e a conectividade por meios de transporte, e fatores políticos, como opções de modelos de desenvolvimento similares, suscitam a existência de redes de cidades. Assim, cada vez mais as cidades possuem um papel importante no desenvolvimento dos territórios em que se inserem. Frequentemente, a nível regional e nacional, o funcionamento em rede das cidades, em que cada uma possui uma origem e identidade própria, resulta do crescimento da rede de transportes. Esse crescimento e a respetiva consolidação proporcionam um efetivo impulsionar das interações económicas e sociais e migrações pendulares das respetivas populações. Assim, a rede pode estimular e acelerar os processos de desenvolvimento sustentável, já que a rede de cidades reforça a capacidade competitiva de toda a região e proporciona melhorias significativas nas várias dimensões da sustentabilidade (CLARK *et al.*, 2018; MEIJERS, 2005 e MINGALEVA *et al.*, 2017).

Neste contexto, é apresentada uma avaliação em ambiente SIG da malha hidroviária regional do baixo Amazonas e são analisados fatores favoráveis para a constituição de uma rede de cidades tendo por base os componentes de conectividade e de funcionalidades dos 5 centros urbanos em estudo. O estudo de caso da acessibilidade no Baixo Amazonas, Estado do Pará, incide na rede de transportes da malha hidroviária que interliga as cidades de Alenquer, Monte Alegre, Óbidos, Oriximiná e Santarém. A base conceptual e o estudo de caso resultam do trabalho anteriormente apresentado em Tobias *et al.* (2012). Esse estudo é aqui apresentado e discutido a nível do modelo de acessibilidade às cidades e entre si, de forma, agora, a se identificar face a um elevado nível de acessibilidade na região podendo as cidades vir a funcionar como uma rede regional no Baixo Amazonas.

Os processos de planeamento dos espaços urbanos fazem uso com frequência de métodos de tomada de decisões que envolvem a avaliação, seleção e combinação de vários fatores. Atualmente, as discussões em torno da sustentabilidade do espaço urbano

têm demonstrado que a acessibilidade é uma questão relevante no desenvolvimento das cidades e das regiões onde se inserem. Assim, fatores intimamente relacionados com a acessibilidade tornaram-se fundamentais para identificar e avaliar a localização de equipamentos e infraestruturas que servem a cidade onde se localizam e todas as cidades que se situam na sua zona de influência, face à facilidade de deslocação proporcionada pelas crescentes redes de transportes.

Neste contexto, é evidente o interesse em adotar modelos de acessibilidade, que permitam apreender as mais diversas realidades urbanas, na busca de soluções mais eficientes para estes espaços de grande concentração de população e de atividades. Através dos resultados da aplicação desses modelos é possível constatar e avaliar níveis de acessibilidade a diferentes escalas, desde a escala de um núcleo urbano até à escala regional ou nacional. No contexto regional, a acessibilidade é uma das questões-chave para a definição de políticas de desenvolvimento de meios de transporte e ordenamento do território. Neste trabalho, o desafio consistiu em aplicar e discutir para a escala de rede de cidades um modelo de acessibilidade global em uma região do Baixo Amazonas, no Norte do Brasil.

Como anteriormente identificado em Tobias *et al.* (2012), a região em estudo possui uma realidade específica e diferenciada de outras regiões do Brasil, tendo características tais como: a importância do transporte fluvial de curta e longa distância; a dispersão populacional em espaços urbanos distantes entre si; a carência de equipamentos e infraestrutura, que se concentram nas cidades com maior número de habitantes ou com maior nível de qualidade de vida; e uma população com poucas oportunidades de atendimento as suas necessidades mais básicas face à distância do seu local de residência e a localização de alguns serviços fundamentais para a respetiva qualidade de vida. O trabalho parte da explanação sobre o modelo de acessibilidade, desenvolvido em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), e o processo de cálculo do índice de acessibilidade. Na sequência, é apresentado o estudo de caso, com a aplicação do modelo e conclusões sobre os

resultados obtidos. Por último, é analisada a oportunidade gerada pelos níveis de acessibilidade identificados e o potencial interesse em que o processo de planejamento regional atenda à escala de rede de cidades e não apenas à escala de cada cidade.

2. AVALIAÇÃO DA ACESSIBILIDADE

Como salientam Tobias *et al.* (2012), o conceito e avaliação da acessibilidade é discutido no contexto urbano há quase 200 anos, e face aos desafios mais recentes que se colocam ao planejamento e gestão do território, a sua análise é crucial para conduzir um processo de desenvolvimento sustentável. Assim, podemos referir que na avaliação da acessibilidade também se inserem outros pressupostos associados à qualidade de vida das populações, visto que a níveis de acessibilidade elevados estão geralmente relacionadas oportunidades dos cidadãos para chegar aos serviços urbanos e promover a redução do tráfego urbano ou apoiar a melhoria dos sistemas urbanos de transportes. Hoggart (1973) justificou que a acessibilidade está associada à interpretação, implícita ou explícita, da facilidade de se alcançar oportunidades distribuídas espacialmente. Isto significa que a acessibilidade não depende apenas da localização de oportunidades, mas também da facilidade de superar a separação espacial entre os indivíduos e lugares específicos. Estes pressupostos são relevantes a nível da cidade e sua zona envolvente (subúrbios predominantemente residenciais); mas, também podem ser considerados quando se analisa a interação entre cidades (redes de cidades), face à oportunidade dada aos cidadãos de uma determinada cidade usufruírem de serviços e equipamentos disponíveis em cidades vizinhas, sempre que o nível de acessibilidade for elevado e resultar de uma rede de transportes eficiente.

Na mesma linha de pensamento, Ingram (1971) definiu acessibilidade de um lugar como sendo a sua característica (ou vantagem) em relação à superação de qualquer forma de resistência ao movimento. Este autor distinguiu a acessibilidade relativa, que considera o grau de conexão entre dois pontos sobre uma superfície

(ou rede), da acessibilidade integral (ou global), que considera o grau de conexão entre um ponto e todos os outros pontos. Para um nível regional, deve ser analisada a acessibilidade global, já que está em causa como um determinado ponto em que se localiza um equipamento ou infraestrutura pode ser alcançado a partir de todos os pontos dispersos num território regional.

Muitos autores identificaram a acessibilidade global, é uma questão muito importante no processo de planeamento urbano e regional, porque a maioria dos equipamentos e infraestruturas urbanas são capitalizadas como investimentos em geral (capacidade de servir uma determinada população espalhada por uma região de influência – frequentemente relacionada com a rede de transportes que serve esse equipamento ou infraestrutura) e não como investimentos específicos. Bons exemplos para concretizar esta ideia é a definição de *hinterland* de um aeroporto regional (área de proveniência dos respetivos passageiros) e a definição da área territorial da população atendida por um hospital regional que possui todas as valências hospitalares. Assim, os indivíduos podem estar localizados em qualquer lugar antes de se deslocarem a lugares específicos, e a forma como a acessibilidade é avaliada depende da finalidade ou objetivo a ser alcançado.

Portanto, muitos autores identificaram, a acessibilidade descrevendo essencialmente o potencial de um indivíduo para alcançar bens, serviços, atividade e destinos, no que se converte coletivamente em oportunidades. No entanto, a acessibilidade depende não só da localização das oportunidades, mas igualmente da facilidade de vencer a separação espacial entre indivíduos e locais específicos (MENDES, 2001), frequentemente denominado de transportes. Sob esta perspectiva, os fatores intimamente relacionados com a acessibilidade tornaram-se fundamentais para identificar e avaliar a localização de equipamentos e infraestruturas, daí o interesse em adotar modelos de acessibilidade sob as mais diversas realidades, na busca de soluções mais eficientes para estes espaços territoriais. Complementarmente, e face ao crescimento e eficiência das redes de transportes, a área territorial em análise para se procurar avaliar a influência de equipamentos e infraestruturas

tem vindo a crescer. Este crescimento resulta de se conseguirem garantir redes de transporte que aumentam a área territorial com níveis de acessibilidade efetivos, o que permite que determinadas populações de territórios mais afastados desses equipamentos e infraestruturas possam também ser atendidas.

De modo geral, a forma como a acessibilidade é avaliada depende do objetivo a ser atingido. Morris *et al.* (1979) apresentaram uma classificação e uma formulação extensivas das medidas de acessibilidade relativa e global. Encontram-se posteriormente diversos trabalhos cujas medidas de acessibilidade apresentadas, de alguma maneira, se enquadram com a classificação de Morris *et al.* e consolidam a aplicação do modelo (ALLEN, 1993; GEERTMAN e VAN ECK, 1995 e MACKIEWICZ; RATAJZAK, 1996).

3. METODOLOGIA

A metodologia relativa à avaliação de acessibilidade foi desenvolvida em duas etapas: a primeira etapa consistiu na identificação das questões teóricas do foco de um modelo multicritério de avaliação da acessibilidade através de um índice de acessibilidade (MENDES *et al.*, 2005). Na segunda etapa, é efetuada a implementação do modelo em SIG para mapear a variação espacial do índice de acessibilidade. Assim, os dois passos metodológicos constituem um processo simples para o mapeamento da variação espacial da acessibilidade de um ponto de vista global, avaliando os níveis de acessibilidade a partir de qualquer ponto da região sob estudo e tendo as cidades como destinos.

A metodologia proposta pode ser implementada em qualquer região, ou para um conjunto de cidades, de forma a mostrar a avaliação de acessibilidade regional, ou entre os vários núcleos urbanos. A avaliação pode ser posta em prática por duas perspectivas diferentes: como índice global para a área das cidades ou como índice parcial para infraestruturas e equipamentos específicos, representados por um destino-chave único na região em estudo ou um grupo parcial com múltiplos destinos-chave com valências similares. Deste modo, é possível obter uma comparação

entre os vários mapas que representam os níveis de acessibilidade e efetuar uma análise parcial da relevância das infraestruturas e equipamentos. Assim, é possível identificar se a localização de determinada infraestrutura ou equipamento possui um fator importante e diferenciador no espaço regional.

Outra potencialidade do modelo é a possibilidade de avaliar cenários futuros para identificar o impacto de investimentos em novas infraestruturas ou equipamentos, ou ainda, no incremento que possa ser introduzido nas infraestruturas de transporte:

- (i) construção de novas infraestruturas e equipamentos para melhorar o atendimento espacial ou redefinir a sua localização;
- (ii) aumentar a acessibilidade da rede através da conectividade (novas vias ou novas rotas) ou melhorias nos sistemas de transportes (frequência ou rapidez).

3.1. Modelo multicritério de avaliação da acessibilidade global

Segundo a formulação proposta por Mendes *et al.* (2005), a avaliação da acessibilidade global resulta de um modelo multicritério de avaliação da acessibilidade global que admite para um local i que o seu índice de acessibilidade A_i é dado pela Equação 1, onde $f(c_{ij})$ representa a normalização por uma função *fuzzy* da custo-distância do local i para o destino chave j e w_j é o peso do destino-chave j :

$$A_i = \sum_j f(C_{ij}) W_j \quad [\text{Eq. 1}]$$

Portanto, o índice de acessibilidade de um local i , segundo este modelo, obtém-se pela agregação dos índices de acessibilidade desse local a cada grupo g de destinos-chave (equipamentos ou infraestruturas relevantes para o estudo em causa), convertendo a Equação 1 na Equação 2:

$$A_i^g = \sum^g f(c_{ij}) w_j^g; A_i = \sum A_i^g \cdot w_g \quad [\text{Eq. 2}]$$

Em síntese, o índice de acessibilidade A_i^g é resultado de uma avaliação multicritério da localização de origens i aos mais diversos

grupos de destinos-chave g , dado por uma normalização *fuzzy* dos custos-distâncias $f(c_{ij})$, aplicando os pesos dos destinos-chave (w_j^g). Os pontos i , para os quais a acessibilidade é avaliada, dependem da forma como o espaço é modelado. O índice de acessibilidade global proposto é, essencialmente, uma combinação ponderada linear, um dos procedimentos de agregação disponíveis no contexto de avaliação multicritério (VOOGD, 1983).

Devido a diferentes escalas em que os critérios são avaliados, é necessário normalizá-los antes da agregação. Este processo de normalização é essencialmente idêntico ao de *fuzzificação* em conjuntos *fuzzy* (JIANG e EASTMAN, 2000). Do processo de normalização resulta um grau de acessibilidade que se pode expressar, por exemplo, com base no critério “custo-distância” que varia no intervalo $[0,0$ a $1,0]$, indicando uma variação contínua do índice de acessibilidade entre 0,0 (sem acessibilidade) e 1,0 (máxima acessibilidade). Diferentes funções *fuzzy* podem ser adotadas para o processo de normalização. Para o presente estudo é adotada a função do tipo linear monotonicamente decrescente, com pontos de controle a e b que definem as distâncias críticas máximas e mínimas para determinado destino-chave, definidas para cada situação particular e considerando o significado inerente a cada destino-chave.

3.2. Implementação do modelo em ambiente de Sistema de Informação Geográfica

Como a implementação do modelo em ambiente SIG depende das características específicas do *software* adotado, os fluxogramas das Figuras 1 e 2 apresentam uma síntese das diversas etapas a adotar em um modelo SIG vetorial. O fluxograma da Figura 1 salienta os componentes do banco de dados geográficos e a sequência de operações necessárias para completar a tabela de atributos de forma a avaliar o índice de acessibilidade para os pontos da rede de transportes.

Calculando o custo-distância (distância afetada por fatores associados ao tempo e aos diferentes custos monetário da viagem em causa) para cada ponto da rede em relação a cada um dos

destinos-chave considerados no estudo, obtém-se a Matriz OD de todos os pontos da rede para cada um dos destinos-chave. Desta forma é construída a tabela de atributos em que o número de linhas é o número de pontos avaliados e o número de colunas é igual ao número de destinos chave considerados no estudo. Conforme Figura 1.

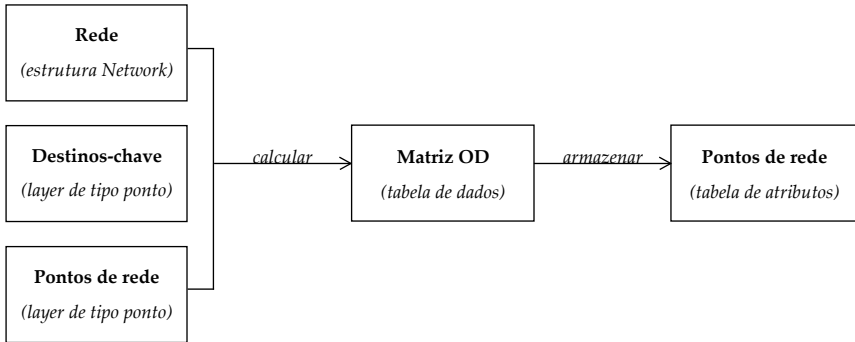


Figura 1: SIG vetorial para calcular o custo-distância

Tendo-se o custo-distância a partir dos pontos da rede para todos os destinos-chave em estudo, o procedimento multicritério é implementado seguindo o fluxograma da Figura 2. A sequência de operações começa com a normalização, ou seja, a aplicação das funções *fuzzy* selecionadas, seguida pela ponderação. Depois, o índice de acessibilidade é obtido pela agregação dos custos-distâncias ponderados e normalizados para os vários destinoschave, procedimento aplicado ao nível dos atributos. Conforme Figura 2.

Em seguida, é possível gerar o mapa de acessibilidade em função do valor obtido para cada ponto da rede considerando uma rede irregular triangular (TIN), que irá representar uma superfície que cobre a área de estudo. Utilizando como dados de entrada os pontos da rede e aplicando o índice de acessibilidade como valores de Z, a superfície resultante irá mostrar como os valores de acessibilidade estão distribuídos ao longo da área, interpolando os valores obtidos dos pontos da rede. O mesmo processo pode ser

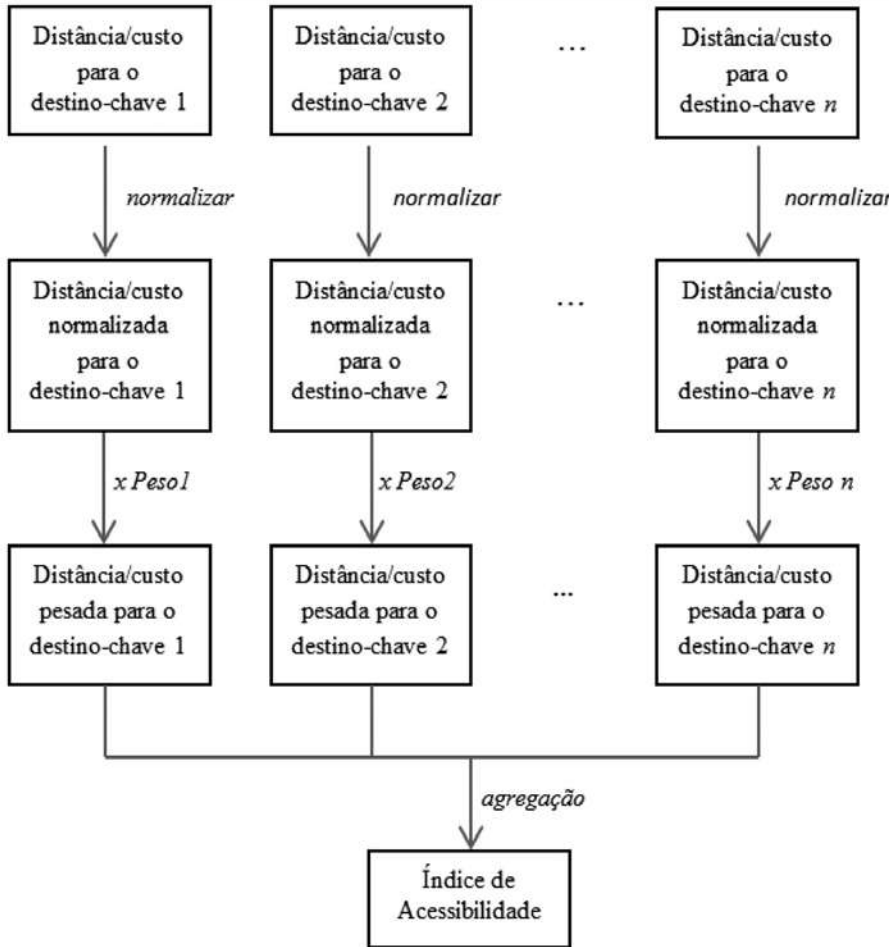


Figura 2: Processo de cálculo do índice de acessibilidade

implementado para criar um mapa para mostrar a acessibilidade para um destino específico ou um grupo-chave parcial de destinos-chave. Neste caso, o TIN irá representar Z-valores do custo-distância ponderado para um determinado destino-chave ou para um grupo parcial de destinos.

4. ESTUDO DE CASO: CINCO CIDADES DO BAIXO AMAZONAS

O Baixo Amazonas é uma mesorregião do Estado do Pará, no norte do Brasil, constituído por 15 municípios (Alenquer, Almeirim, Belterra, Curuá, Faro, Juruti, Mojuí dos Campos, Monte Alegre, Óbidos, Oriximiná, Placas, Porto de Moz, Prainha, Santarém, Terra Santa) e com uma área de 340.450 km² (IBGE, 2018), população estimada de 812.850hab. (IBGE, 2019) e PIB *per capita* de R\$ 15.435 (FAPESPA, 2017).

As cidades da região são 12: Alenquer, Almeirim, Belterra, Curuá, Faro, Juruti, Monte Alegre, Óbidos, Oriximiná, Prainha, Santarém, Terra Santa. A Tabela 1 mostra os dados territoriais das 5 cidades sob estudo, que juntas representam cerca de 67% da população (Estimativa 2019) e 57% da área de toda a mesorregião do Baixo Amazonas. Conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1: População e área das cidades sob estudo

Município	População (Censo 2010)	População (Estimativa 2019)	Área (km ²)
Alenquer	52.626	56.789	23.645
Monte alegre	55.462	58.032	18.153
Óbidos	49.333	52.137	28.021
Oriximiná	62.794	73.096	107.603
Santarém	294.580	304.589	17.898
Totais	514.795	544.643	195.320
Baixo Amazonas	736.432	812.850	340.450

Fontes: População do Censo de 2010 (IBGE, 2011) e estimativa publicada pelo IBGE (2019); área segundo IBGE (2018).

4.1. Elaboração do banco de dados geográfico e aplicação do modelo

O caso de estudo incidiu na rede de transportes da malha hidroviária que interliga as cidades de Alenquer, Monte Alegre, Óbidos, Oriximiná e Santarém, na região do Baixo Amazonas, Estado do Pará. Na Figura 3 é apresentado o mapa com a localização ao longo do rio Amazonas das 5(cinco) cidades ribeirinhas em estudo. O modelo de avaliação de acessibilidade foi adaptado à realidade e para o contexto particular da sub-região em estudo.

Segundo Tobias *et al.*. (2012), as informações necessárias para realizar a metodologia foram obtidas por uma pesquisa *in loco* e através de um teste-piloto segundo um questionário estruturado a partir dos motivos de viagens e destinos relacionados pelos entrevistados. Assim, a pesquisa inicial consistiu em obtenção de dados secundários e, para complementar as informações necessárias à aplicação do modelo, nas visitas *in loco* foram realizadas 500 entrevistas aos residentes destas cidades, obtendo-se uma descrição geral das condições sociais, econômicas, de transporte e de uso e ocupação do solo. Basicamente, o que se buscou apreender dos entrevistados com a pesquisa de campo nas cidades foi identificar as atividades básicas, a sua localização e os pesos dos destinos-chave, bem como, as distâncias mínimas e máximas percorridas para efetuar essas atividades. Após a estruturação dos dados em SIG foram gerados os mapas para cada cidade tendo:

- i) essa cidade e as demais cidades como destinos e,
- ii) qualquer ponto do território do Baixo Amazonas como ponto de origem para o grupo de cidades sob estudo.

Usando as ferramentas disponíveis no ArcGIS 9.3 e suas extensões 3 D Analyst e Network Analyst, da ESRI, o primeiro passo foi gerar o mapa da rede de transportes da malha hidroviária, tal como apresentado na Figura 4, para extrair os pontos da rede a serem avaliados. A partir dos resultados da pesquisa referida anteriormente, os destinos-chave, tendo as cidades como polos de realização dessas atividades, foram agrupados em funcionalidades relativas a diversos serviços, equipamentos e infraestruturas existentes nas 5 cidades em estudo.

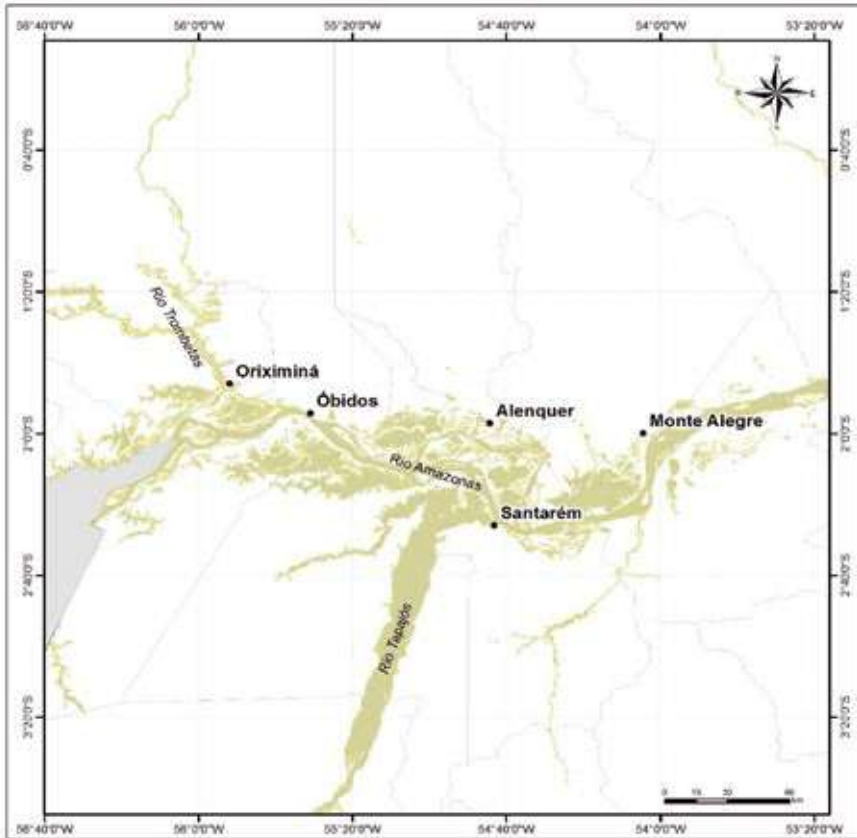


Figura 3: Localização ribeirinha das cinco cidades sob estudo

Fonte: Tobias *et al.*, 2011.

- F1 – educação;
- F2 – saúde;
- F3 – serviços;
- F4 – lazer;
- F5 – comércio.

Assim, para todas as funcionalidades foram identificados os destinos-chave mais relevantes na região, ou seja, as próprias cidades com suas escolas, hospitais, edifícios de serviços, equipamentos de lazer e áreas comerciais.



Figura 4: Rede de transportes da malha hidroviária e vias rodoviárias da região em estudo

Fonte: Tobias *et al.*, 2012.

Na Tabela 2, tendo por base o estudo apresentado em Tobias *et al.* (2012), tem-se um exemplo dos pesos dos destinos-chave considerando as cinco funcionalidades e o cálculo da acessibilidade para o território do Baixo Amazonas relativamente ao grupo das 5 cidades.

Para o cálculo da acessibilidade a cada destino-chave foi considerado que a distância mínima seria nula e que a distância máxima corresponderia à maior distância para cada destino-chave. Esta distância foi obtida em tempo de viagem, uma vez que a rede é intermodal envolvendo dois modos de transporte com operações distintas: hidroviário e rodoviário. De recordar que apenas através da malha hidroviária é possível estabelecer a ligação entre as cidades em margens distintas do rio. Já entre cidades na mesma margem existem ligações rodoviárias, como é exemplo a ligação entre Óbidos e Alenquer, entre outras.

De posse da rede de transportes georreferenciada com os pesos dos destinos-chaves e as distâncias absolutas, bem como, os pontos da rede definidos e sob os quais será a feito o mapeamento da acessibilidade, houve a necessidade de definir o conjunto de funções fuzzy e pesos para os vários destinos-chave, que não estava

Tabela 2: Pesos dos destinos-chave - Origem/Destino e Funcionalidades
 Notas: (i) Cidades Destino - 1. Santarém; 2. Óbidos; 3. Oriximiná; 4. Monte Alegre; 5. Alenquer

O \ D	1	2	3	4	5	F1	F2	F3	F4	F5
Santarém	0,89	0,01	-	0,07	-	0,23				
	0,91	0,02	-	0,01	0,03		0,16			
	0,90	0,01	-	0,03	0,02			0,14		
	0,80	0,04	0,01	0,08	0,04				0,23	
	0,84	0,03	0,01	0,06	0,03					0,24
Óbidos	0,36	0,32	0,24	0,05	0,03	0,14				
	0,37	0,32	0,26	0,05	-		0,24			
	0,35	0,33	0,22	0,07	0,02			0,18		
	0,35	0,35	0,21	0,03	0,05				0,23	
	0,35	0,35	0,21	0,05	0,03					0,21
Oriximiná	0,17	0,01	0,81	-	-	0,18				
	0,23	0,02	0,75	-	-		0,24			
	0,18	0,03	0,76	-	0,01			0,16		
	0,26	0,04	0,67	-	-				0,19	
	0,16	0,06	0,73	0,01	0,01					0,23
M. Alegre	0,24	-	-	0,71	0,05	0,04				
	0,23	-	-	0,71	-		0,20			
	0,10	-	-	0,89	0,01			0,19		
	0,29	-	-	0,66	0,05				0,21	
	0,25	0,01	-	0,71	0,03					0,26
Alenquer	0,12	0,08	-	-	0,80	0,24				
	0,15	0,08	-	-	0,76		0,19			
	0,15	0,09	-	-	0,76			0,16		
	0,12	0,10	-	0,01	0,77				0,22	
	0,14	0,09	-	-	0,77					0,19

Fonte: Tobias *et al.*, 2012.

diretamente disponível e, por essa razão, uma abordagem empírica foi implementada.

Na aplicação do modelo, os pontos da rede hidroviária e rodoviária foram designados como origens, assim como, os principais destinos também são definidos em pontos dessa mesma rede. O resultado foi obtido para o caminho mais curto através da rede a partir de cada origem e para cada destino associado a uma das cinco funcionalidades. Posteriormente, a normalização dos resultados obtidos foi efetuada aplicando a fórmula da função fuzzy escolhida (linear decrescente) para cada

valor de distância usando a ferramenta SIG “Field Calculator”. Com todas as distâncias, os índices de acessibilidade foram então calculados usando a mesma ferramenta para aplicar a fórmula de agregação do modelo proposto.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os mapas de acessibilidade da malha hidroviária regional do baixo Amazonas foram obtidos com a conclusão do processo de cálculo. Para gerar uma superfície contínua que pudesse ilustrar como a acessibilidade aos principais destinos chave varia ao longo da área de estudo, uma rede irregular triangular (TIN) foi criada. Os pontos de rede foram utilizados como nós da TIN, cobrindo a área de estudo, e os valores do índice de acessibilidade foi designado como valores de Z. Usando esses parâmetros, tem-se a TIN resultante que cobre a área de estudo e representa a distribuição espacial dos valores do índice de acessibilidade.

Como identificado em Tobias *et al.* (2012), a implementação da metodologia à rede de transportes da malha hidroviária do Baixo Amazonas verificou que um número razoável de destinos-chave poderia ser facilmente adotado para avaliar o índice de acessibilidade. Além disso, o ambiente SIG e a representação do índice em um mapa permitiu analisar a distribuição espacial na região em estudo e identificar a acessibilidade para os destinos-chave em avaliação nas 5 cidades.

Na Figura 5 observam-se os resultados do mapeamento da acessibilidade às 5 cidades em estudo e ao restante território que se situa ao longo da malha hidroviária. Na Figura – 6 tem-se o mapeamento da acessibilidade a partir de qualquer ponto do território do Baixo Amazonas para o grupo de cidades sob estudo. Para a representação dos níveis de acessibilidade foi adotada uma escala de cores graduada que varia de um nível de acessibilidade alto (valor igual a 1) até um nível de acessibilidade nulo.

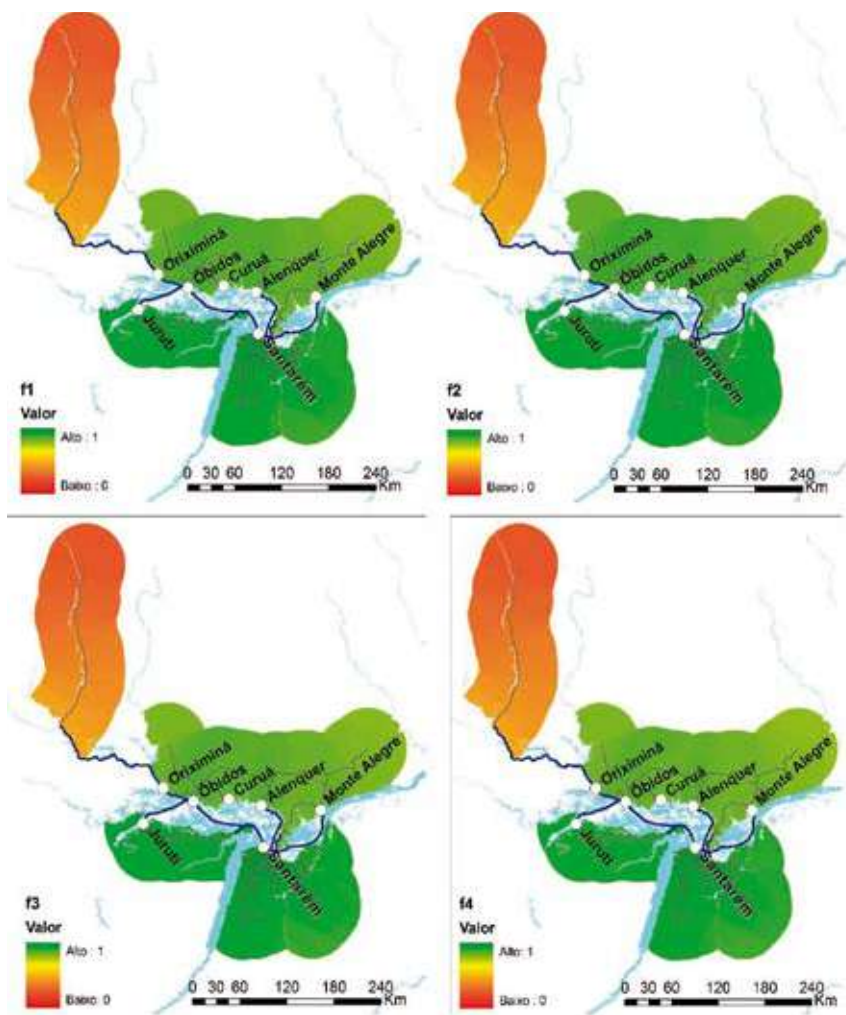


Figura 5: Mapas de acessibilidade para as cinco funcionalidades (f1 educação, f2 saúde, f3 serviços, f4 lazer e F5 comércio)
Fonte: Tobias *et al.*, 2012.

continuação Figura 5

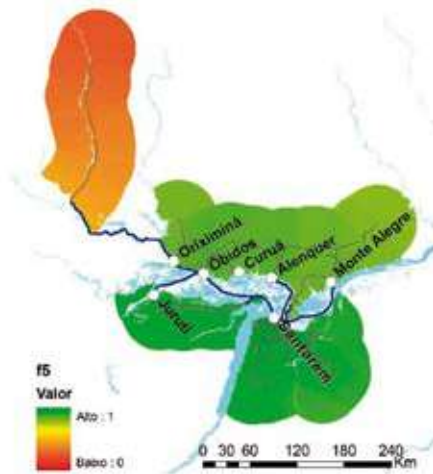


Figura 5: Mapas de acessibilidade para as cinco funcionalidades (f1 educação, f2 saúde, f3 serviços, f4 lazer e F5 comércio)
Fonte: Tobias *et al.*, 2012.

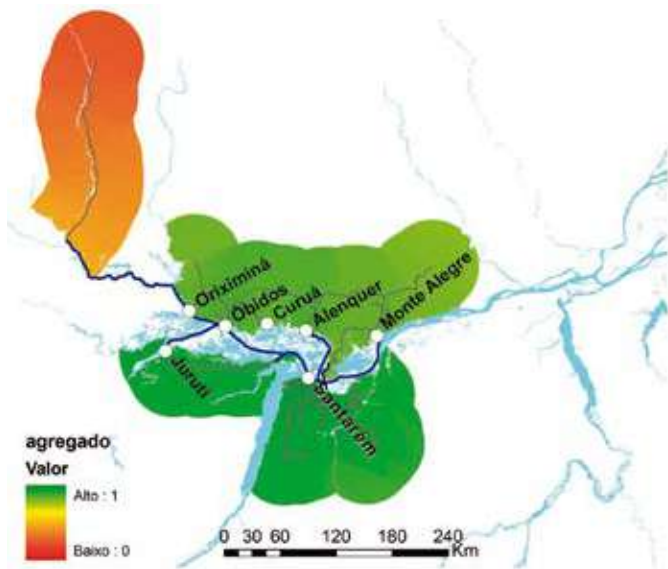


Figura 6: Mapas de acessibilidade global do Baixo Amazonas
Fonte: Tobias *et al.*, 2012.

Pelos resultados obtidos é possível verificar a forte relação existente entre as 5 cidades. Assim, é possível identificar que face à malha hidroviária existente na região do Baixo Amazonas as cidades possuem níveis de acessibilidade elevados, o que promove que as populações se desloquem de forma efetiva entre as várias cidades.

Alguns dos serviços, equipamentos e infraestruturas estão centrados na cidade que possui maior número de habitantes, Santarém. Um exemplo da centralidade e nível hierárquico superior da cidade de Santarém é a existência de um aeroporto regional (Aeroporto Maestro Wilson Fonseca) com voos regulares diretos para Belém, Manaus e Brasília. Outros exemplos podem ser identificados nas funcionalidades de ensino e saúde. Assim, face aos níveis de acessibilidade identificados, a mobilidade pode ser um fator de desenvolvimento regional para as 5 cidades.

6. CONCLUSÕES

O transporte é um componente essencial do modelo de desenvolvimento dos territórios para a qualidade de vida das respetivas populações, tornando os locais acessíveis e aproximando as pessoas e respetivas atividades. Ao longo dos tempos, o desenvolvimento dos meios de transporte permitiu que os assentamentos humanos se expandissem em áreas urbanas maiores, constituindo cidades, e servissem regiões mais amplas com infraestrutura e equipamentos necessários às atividades e bem-estar das suas populações.

Neste contexto, o presente estudo identifica que no Baixo Amazonas se poderá constituir uma rede de cidades suportada pela conectividade proporcionada pela malha hidroviária existente e que interliga as principais cidades da mesorregião. Esta constatação resulta da análise de acessibilidade efetuada e que evidência um nível elevado de acessibilidade na zona de estudo.

No que se refere à mesorregião em si, o modelo apresenta sensibilidade e coerência em face das observações realizadas *in loco* nas cidades em estudo, ou seja, as cidades apresentam acessibilidades melhores ao longo do rio Amazonas e ao longo das rodovias na zona terrestre. De maneira geral, as alterações

decrecentes de acessibilidade são perceptíveis à medida que os pontos de origem se afastam da rede de transportes no sentido Norte e Sul. No sentido Leste e Oeste verifica-se que as alterações de acessibilidade são inversas, o que demonstra a confiabilidade dos dados levantados e a sensibilidade do modelo às situações observadas na região. Do ponto de vista global, é evidente que pela respetiva centralidade geográfica e hierarquia superior a cidade de Santarém possui melhores níveis de acessibilidade. Também, as cidades mais próximas a Santarém possuem níveis de acessibilidade favorecidos por essa proximidade. Portanto, verifica-se que, decorrente da malha hidroviária existente no rio Amazonas, existe uma forte ligação a nível de acessibilidade entre as 5 cidades. Ainda, pela sua dimensão e centralidade, Santarém proporciona à região uma atratividade tal que irradia pelas demais, com níveis de acessibilidade maior para as mais próximas, até acessibilidade menor para as mais distantes.

Um dos potenciais do modelo adoptado é permitir que no futuro se possa simular e analisar propostas específicas de investimentos em novos equipamentos e infraestruturas para as 5 cidades, além da qualificação e expansão da rede de transportes. Este potencial pode ser relevante se as 5 cidades adoptarem estratégias e políticas comuns e o pretenderem analisar em fase de planeamento, ajudando dessa forma a entender quais podem ser e as consequências dessas ações.

No seu conjunto, as cinco cidades possuem cerca de meio milhão de habitantes e níveis de acessibilidade elevados entre si, o que demonstra o potencial para constituição de uma rede de cidades do Baixo Amazonas. Assim, os resultados desta aplicação do modelo de avaliação de acessibilidade podem incentivar que no planeamento futuro das 5 cidades, e da região, sejam atendidos os níveis de acessibilidade identificados. A adopção de políticas de desenvolvimento sustentável, assentes em planeamento à escala regional, podem num futuro próximo ser uma oportunidade e proporcionar desafios para a estruturação em rede das cidades de Alenquer, Monte Alegre, Óbidos, Oriximiná, Santarém. A constituição da rede de cidades pode criar condições para melhorar a qualidade de vida da população regional e de cada uma das cidades

REFERÊNCIAS

- ALLEN, W. B.; LIU, D. e SINGER, S. (1993) Accessibility Measures of U.S. Metropolitan Areas. *Transportation Research. Part B, Methodological*, 27 (6), p.439-450.
- CLARK, J.; HARRISON, J. e MIGUELEZ, E. (2018) Connecting cities, revitalizing regions: the centrality of cities to regional development, *Regional Studies*, 52(8), 1025-1028.
- FAPESPA (2017) *Radar de Indicadores das Regiões de Integração 2018*. Fundação Amazônica de Amparo a Estudos e Pesquisas – Fapespa, Belém, Brasil. Acessado em 20/11/19.
- GEERTMAN, S. C. M. e VAN ECK, J.R.R. (1995) GIS and Models of Accessibility Potential: an Application in Planning. *International Journal of Geographical Information Systems*, v. 9, n. 1, p.67-80.
- HOGGART, K. (1973) Transportation Accessibility: some references concerning applications, definitions, importance and index construction. *Council of Planning Librarians: Exchange Bibliography*, 482, Monticello.
- IBGE (2018) Área territorial - Brasil, Grandes Regiões, Unidades da Federação e Municípios. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, Brasil. Disponível em: ftp://geoftp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/estrutura_territorial/areas_territoriais/2018/AR_BR_RG_UF_MES_MIC_MUN_2018.xls. Acesso em 20/11/19.
- IBGE (2019) *Estimativa de População no Brasil e Unidades da Federação*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, Brasil Disponível em: ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2019/estimativa_dou_2019.pdf. Acessado em 20/11/19.
- IBGE (2011) *Sinopse do censo demográfico: 2010*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, Brasil.
- INGRAM, D. R. (1971) The Concept of Accessibility: a search for an operational form. *Regional Studies*, 5 (2), p.101-107.
- JIANG, H. e EASTMAN, J.R. (2000) Application of Fuzzy Measures in Multi-Criteria Evaluation in GIS. *International Journal of Geographical Information Science*, 14 (2), p.173-184.
- MACKIEWICZ, A. e RATAJCZAK, W. (1996) Towards a New Definition of Topological Accessibility. *Transportation Research. Part B, Methodological*, 30 (1), p.47-79.
- MEIJERS, E. (2005) *Polycentric Urban Regions and the Quest for Synergy: Is a Network of Cities More than the Sum of the Parts?*, *Urban Studies*, 42, pp. 765-781.

- MENDES, J. F.G (2001) Multicriteria Accessibility Evaluation using GIS as Applied to Industrial Location in Portugal. *Earth Observation Magazine*, 10 (2), p. 31-35.
- MENDES, J. F. G.; RODRIGUES, D. S. e RAMOS, R. A. R. (2005) A GIS-based multicriteria model for the evaluation of territorial accessibility. In A. Kungolos, C.A. Brebbia and E. Beriatos (eds), *Sustainable Development and Planning II*, WITpress, Southampton, p.795-804.
- MINGALEVA, Z.; SHERESHEVA, M.; OBORIN, M. e GVARLIANI, T. (2017). *Networking of small cities to gain sustainability*. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, Entrepreneurship and Sustainability Center, 5 (1), pp.140 - 156.
- MORRIS, J.M. e DUMBLE, P.L. (1979) Wigan, M.R. Accessibility Indicators for Transport Planning. *Transportation Research. Part A, Policy and Practice*, 13 (2), p.91-109.
- TOBIAS, M.S.; RAMOS, R.A.R. e RODRIGUES, D.S. (2012) Avaliação em ambiente SIG da acessibilidade global regional na Amazônia: aplicação no Baixo Amazonas – Brazil. In PLURIS 2012 - 5º Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável. Brasília, Brasil.
- TOBIAS, M.S.G.; RAVENA, N.; RAMOS, R.A.R. e RODRIGUES, D.S. (2011) Aspectos da mobilidade urbana em cidades do Baixo Amazonas: indicadores para elaboração de políticas públicas. *Revista dos Transportes Públicos*, v. 34, n. 3, p.71-84.
- VOOGD, H. (1983). *Multicriteria Evaluation for Urban and Regional Planning*. Pion, London.

Endereço para correspondência:

- (1) Ramos, Rui António Rodrigues – rui.ramos@civil.uminho.pt.
 - (2) Rodrigues, Daniel Souto – dsr@civil.uminho.pt.
- (1;2) Universidade do Minho – Escola de Engenharia (Centro de Território, Ambiente e Construção), Campus de Azurém, P 4804-533 – Guimarães, Portugal.

MODELING WATERWAY TRANSPORT SERVICE: INSIGHTS FROM THE D-FLUVIAL PROJECT

MODELAGEM DE SERVIÇOS DE TRANSPORTE FLUVIAL: EXPERIÊNCIAS DO PROJETO D-FLUVIAL

TOBIAS, M. S. G.¹; COUTINHO NETO, B.²;
PAIVA JR, H.³; AFONSO, P. S. L. P.⁴

(1) Universidade Federal do Pará; (2) Instituto Federal do Pará;
(3) Universidade Federal do ABC; (4) Universidade do Minho

ABSTRACT

Belem metropolitan region (BMR) has two and a half million inhabitants and is located in the delta of the Amazon River. Despite its geographic features, its urban transport infrastructure is almost entirely road-based. The transport service of the 70,000 islanders has never stood in the official state agenda. The D-Fluvial Project carried out a series of surveys to assess the transport demands of the islanders and to aid the design of a new boat proper to a sustainable waterway public transportation in BMR. This paper reports the achievements and findings of this project, in producing socioeconomic data, geo-referenced databases, transportation demand models, technological alternatives to waterway transport services and research methodologies and also the present study found evidence of environmental and social benefits of improved waterway transport services.

Keywords: Belem Metropolitan Region. Transport infrastructure. D-Fluvial. Waterway.

RESUMO

A região metropolitana de Belém (RMB) tem dois milhões e meio de habitantes e está localizada no delta do rio Amazonas. Apesar de seus atributos geográficos, sua infraestrutura de transporte

urbano é quase inteiramente rodoviária. O transporte dos 70.000 ilhéus nunca esteve na agenda oficial do poder público. O Projeto D-Fluvial realizou uma série de pesquisas para avaliar as demandas de transporte dos ilhéus e com isso auxiliar no projeto de uma nova embarcação, adequada a um serviço fluvial de transporte coletivo público sustentável na RMB. Este artigo relata as realizações e descobertas deste projeto, na produção de dados socioeconômicos, bancos de dados georreferenciados, modelos de demanda de transporte, alternativas tecnológicas, metodologias de pesquisa, bem como, evidências encontradas de benefícios ambientais e sociais graças ao aprimoramento de serviços de transporte hidroviário. **Palavras-chave:** Região Metropolitana de Belém. Infraestrutura de Transporte. D-Fluvial. Via Navegável

1. INTRODUCTION

Likewise to what happened in other towns of the Brazilian Amazonia in the first half of the 20th century, the metropolitan region of Belem (BMR) was populated to guarantee the political control of this huge territory. The waterways played a very important role in the social and economic development of this area. However, its importance has declined during the second half of that century thanks to the advent of highway transport, which is the current prevailing transport mode. As a result, the territorial occupation patterns in the area have changed as well.

BMR is located in the delta of the Amazon River, more specifically, on the shores of the Guajara Bay. In 2009, it was 1,819 km² large and consisted of five towns: Ananindeua, Marituba, Benevides, Santa Barbara and Belem, which is the capital city of the State of Para and the largest of these five towns. In 2019, the estimated population of BMR, including the municipalities of Castanhal and Santa Izabel, sums 2.5 million inhabitants, from which 60% live in Belem and 21% in Ananindeua (IBGE, 2019). These figures attract most of the state investments to Belem and Ananindeua (Figure 1). The territorial area of Belem extends along the Guajara Bay for 52 km northwards and displays a heterogeneous

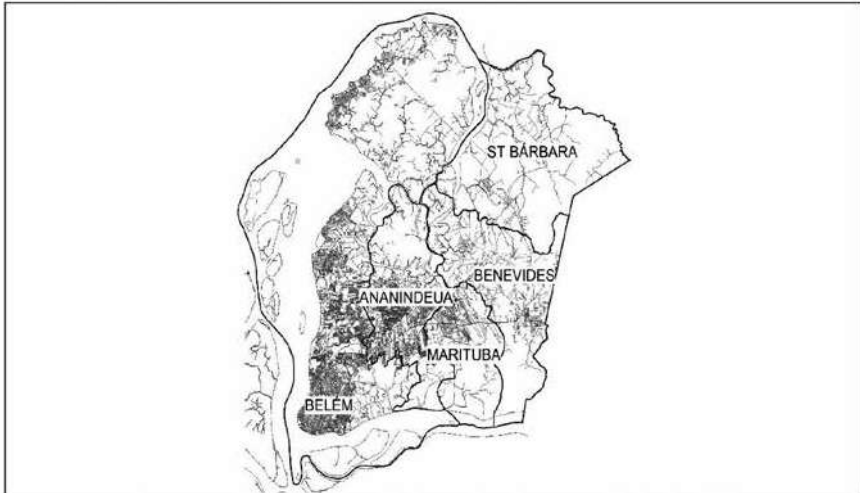


Figure 1: Cities of Belem Metropolitan Region – BMR, in 2009
Source: Author, 2019 (Adapted).

distribution of its urban infrastructure. The territorial occupation started in the South. Due to an industrialization trend that has taken place in the region in the last decades, low income population has started to settle down in its more central area, specially, in Icoaraci District. Meanwhile, tourism has influenced the occupation of Mosqueiro Island, in the northern part of the region.

Ananindeua lies northeast of the historical centre of Belem which has experienced recent population growth and due to its territorial restrictions and to state housing policies, this increase has turned Ananindeua into an important town for the expansion of BMR. The tertiary sector represents the major economic power in BMR. As Belem downtown holds most of the metropolitan governance, Belem and Ananindeua keep strong business ties. Together these cities have 44 islands which are 30% of BMR territory and where 70,000 people are living in extreme poverty. All health and education services and even the most basic needs like food and potable water are available only on the continent. So the islander's deprivation of a suitable transportations service is a factor of social exclusion.

The provision of a regular waterway service é crucial

to islander's community. And to do that is necessary good planning supported by reliable information about islander's mobility behaviour. In Brazil, there are several efforts to collect and statistically organize transport users behaviour data. But, in spite of such efforts, they are too specific and limited to their areas preventing a broad application or transferability to other contexts. Also, despite BMR data availability, the Brazilian social and urban inequality and dynamic reality made unreliable any long term projection based on production and attraction rates or mode split previously estimated for this region.

The heterogeneous behaviour displayed by the Brazilian travellers supports the need for cautious modelling as well. As observed by Paiva Junior and Waisman (2010), aggregated models can produce good and transferable theoretical models of high aggregated transport behaviour, but populations with different purchasing power have very specific behaviours that can be different from one to another social-economic class.

Two possible approaches to assess demand were available. One is an estimation based on transport demand behaviour standard rates employed in historical studies of the area. The other one is the development of a new survey to assess the modelling of the connection between transport demand and socio-economic variables, transport technologies and land use conditions. The former is cheaper, faster and very sensitive to the instability and heterogeneity of the studied area or to similar areas in which those standards have been originally developed. The latter is more expensive, time-consuming, but more flexible, which makes it more adequate to deal with the peculiarities of the BMR islanders communities.

This paper reports the research achievements and findings of the project called D-Fluvial. The project was proposed and carried out by two universities – the University of Amazonia (UNAMA) and the Federal University of Para. The paper emphasizes a modeling of the demand with a behavioural focus; the development of a project of a conceptual boat to meet the needs surveyed; and the environmental impact assessment of the project. The project has additionally two equally important motivations – to bring the issue

of waterway passengers transport into BMR governmental strategic planning agenda as an instrument of social inclusion and to discuss the methodological procedures for such enterprise based on the experience carried out in BMR.

D-Fluvial Project faces a demand assessment problem which predicts the number of passengers of waterways links between the islands and the mainland in BMR without previous information, but considering the perceptions of a specific segment of the population about a new transport service and technology.

The boat design capable to provide a better waterway transport service also impose an extra task, as the designer's basic questions to the survey are the boat size, its speed and the amenities that should be available to the passengers, at the same time, the survey had to describe to the state preference interviewers what exactly is the new service designed. These three issues have a complex connection with the traveller's demand. For instance, while a set of different combinations of size and speed produces an equal hourly capacity, the hourly demand does not display the same response even with identical sets of amenities because of the headway perception or the terminal waiting time.

The paper includes three other sections besides this introduction. In Section 2, are presented the central research problem and the transport demand modeling, as well a description of the methodological approach. Section 3 discusses the obstacles encountered, solutions adopted and the results. Finally, in Section 4, the conclusions are presented.

2. METHODS, PROBLEMS AND SOLUTIONS

2.1. Rotes and planning areas

In the study, were investigated five waterway routes along the shores of Guajara Bay and Guama River. Some of these routes are currently at service and some others have already been interrupted. This study focused on the travel behaviours of BMR islanders and their needs for infrastructure and transport services. To understand

the behaviour of the research focus group, data on their transport were collected. Eight planning areas were selected – three in islands with road links, three in the mainland with actual and potential waterway activities, and two new ones since they had not been considered in former studies (Figure 2).

2.1.1. Demand transport survey

As in any transport service system design, in the D-Fluvial Project, it was necessary to determine the parameters of the transport users behaviour. Which comprises time and space economical value and subjective factors. These factors were translated into mathematical models that support technical decisions and produce the engineering parameters and technological solutions strived to meet the users' needs. To achieve such goal, it was imperative to determine the number of trips, to and from the studied areas at peak hours and the modal market share.

Four types of transport survey were carried out. They were based on the classical transport survey methodology and underwent some adjustments to overcome some critical aspects. These adjustments are described ahead in the paper. The surveys employed were:

- Origin-Destination Survey of Waterway Trips (OD Survey);
- Survey of Boarding and Alighting of Bus Lines;
- State Preference Survey; and
- Traffic Counts.

The OD Survey was used to complement the origin-destination matrix of BMR Urban Transportation Master Plan for 2001 (PDTU, 2001), which originally did not include Areas 1 and 2. Therefore, the objective of this methodology was to measure the number of islanders or any occasional users travelling from or to the islands (new OD traffic zones). The Survey of Boarding and Alighting of Bus Lines was used for operational purposes such as service schedules and capacity specifications. In this study, it was applied as an evaluation tool to validate the OD matrix for 2008 that was projected based on the 2001 household survey (PDTU, 2001).

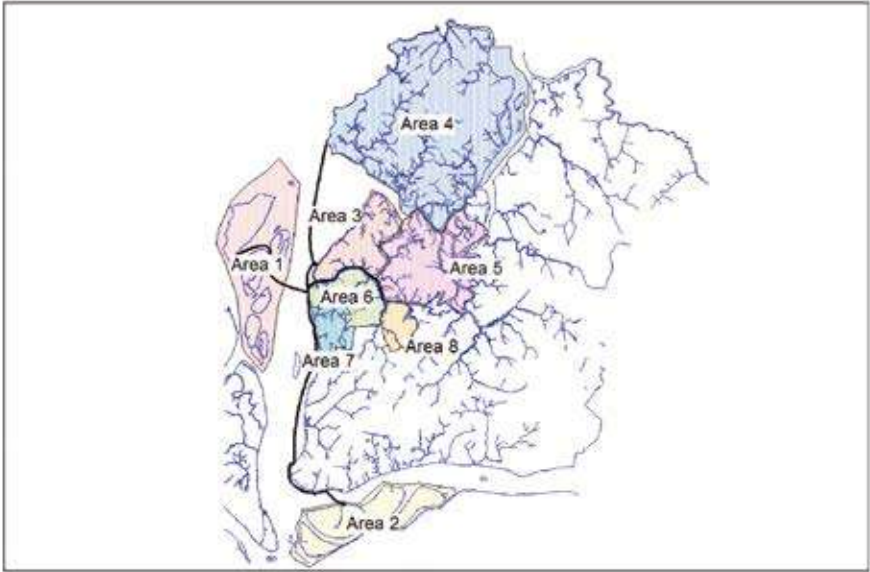


Figure 2: Studied areas

Source: Author, 2019 (Adapted).

By sampling the main bus lines of BMR, it was possible to find out what the needs for lines were at the time the D-Fluvial Project (2008) was carried out. The analysis of these 2008 projected lines showed no significant changes at the macro zone level.

The two previously mentioned surveys supplied D-Fluvial Project with information to estimate passenger flow demands for the BMR waterway transportation network proposed. It was possible because of the waterway network simplicity and its few number of nodes, which is compatible with a macro-zone level system. However, this procedure is not adequate to apply to city transit and car network because of its complexity. Actually, knowing what the flows of passengers are in a link allows re-planning of the system provided that the technology is preserved. Designing a new service with different technology required understanding how users would react to the new service and to what it offers. Collecting these information demanded the use of the State Preference Survey.

Finally, after demand modelling survey, a fourth transport survey was performed with the objective of assessing the potential environmental benefits of the D-Fluvial Project. These environmental benefits would result from improvements on motor vehicle traffic at strategic places of BMR.

2.1.2. Modeling transport

D-Fluvial Project did not intend to project the medium or long term waterway transport demand for BMR. The objective was to find a sustainable alternative to meet the islanders' transportation needs. It is expected that meeting the needs for transportation in the studied areas does not require large scale investments or demand the same time and concern with the analysis of the impacts as other transport technologies proposed for BMR do. Therefore, mathematical modeling of D-Fluvial Project did not require new generation, distribution or allocation models. In fact, it only required BMR Urban Transportation Master Plan 2001 OD matrix updating. As stated in Section 2.2, evaluating the impact of a new boat with different attributes from those observed in land and waterway transport market implies estimating a new discrete model modal split choice.

The structures of discrete models are unlimited, but the most common ones are those based on probabilistic models, such as: Linear; Probit; Logit; Arctan and Exponential (LOUVIERE, HENSHER e SWAIT, 1993). Logit and Probit are by far the most frequently employed ones in transport modeling. The former is also greatly used in preference surveys due to its estimation simplicity. Since the study performed within the D-Fluvial Project involved estimating the potential market division among more than two transport alternatives, it used the multinomial logit model (Equation – 1). The D-Fluvial Project evaluated a set of utility functions for each planning area in order to facilitate both the field and the modelling researches due to the peculiarities of each area.

$$P_{iq} = \frac{e^{U_{iq}}}{\sum_{j=1}^J e^{U_{iq}}} \quad [\text{Eq. 1}]$$

Where:

P_{iq} Probability of “i” alternative to be chosen by user “q”;

U_{iq} Utility of “i” alternative, perceived by user “q”;

$$U_{iq} = a_{oi} + a_1 Tf_i + a_2 Tv_i + a_3 Am_i$$

a_{oi} – Alternative specific constant.

$a_1 a_2 a_3$ – Generic parameters of the utility function;

Tf_i – Transport out of pocket cost of alternative “i”;

Tv_i – Total travel time of transport alternative “i”;

Am_i – *Dummy* variable representing the presence ($Am = 1$) or absence ($Am = 0$) of amenities offered by transport alternative “i”.

2.1.3. Boat project

The demand forecasting resulted from the modeling survey (Section 2.3) provided the boat designers with parameters to be used with the objective function of a linear programming model. By considering technological options, economic and financial factors, cost and technical constraints such as capacity and speed, this model helped naval engineers to design a boat able to meet the passengers’ comfort and safety needs.

2.1.4. Assessment

Besides the technical aspects concerning demand modeling, technology designing and transportation service offering, the Project took its social and environmental impacts into consideration.

Analysing the social issues of any enterprise is very complex since it involves large and slow cause and consequence processes. Thus, the socioeconomic evaluation focus reported herein was to examine the relationship between the BMR passengers' socioeconomic status such as education, age and purchasing power and their difficulties in accessing transport services. As for the environmental impact assessment, the D-Fluvial Project indirect benefits at strategic points along the BMR road system were studied.

2.1.5. Social impact assessment

Spatial segregation of certain population segments was taken as a major social indicator of social exclusion. Spatial economy argues that the distribution of socioeconomic sectors is determined by land value and logistical costs in carrying out socioeconomic activities among which transport costs play an important role. Those less competitive sectors that are characterized by people with lower education, lower purchasing power and less employability lost the dispute to overvalued urban spaces. Correlating the socioeconomic status of the population and its access to transport services was done through observation of the spatial distribution of the BMR socioeconomic segments, which was determined by the means of cluster analysis.

2.1.6. Environment assessment

The environmental impacts of the new BMR transport system might be felt at local level in three dimensions – physical, biological and human. These impacts can have short, medium or long term lasting effects that might start right after the new transport system is put into operation. The D-Fluvial Project will contribute to ease heavy traffic congestion of BMR road transport system and to intensify the socioeconomic activities that are dependent on urban waterway transport. Other benefits of the Project include opening of new markets, increased mobility of the islanders because of improved access to transport services, and changes in land use and occupation patterns in the planning areas.

To envisage the initial environmental performance of D-Fluvial Project, only the physical aspects have been examined so far. The environmental physical outcomes were measured by calculating the decrease in greenhouse gas emissions and noise that had happened by reducing vehicle traffic at strategic points in BMR and by increasing average speeds.

This approach supposes that greenhouse gas emissions, noise and any other observable damages caused to the physical and biotic environments along the waterways will have the harmful strength of their impacts diminished in a greater region, away from populated areas.

2.1.7. Logistics and local problems

BMR geographical and cultural specificities posed two sets of challenges to the researchers during the survey planning and execution stages. First, difficulties in conducting site visits to the new areas considered in the study made it more difficult to establish and assist the survey teams thus requiring more rigorous training. These difficulties included poor access to the island communities, the socioeconomic statuses of these communities and their lack of infrastructure. Second, difficulties in conducting the survey itself because of the low receptivity to the D-Fluvial Project displayed by the islanders. This low receptivity was twofold: the islanders were biased against the Project because of the bad image the river transport services enjoy among them and because of their distrust of governmental intentions and policies. To overcome their unfavourable opinion of the D-Fluvial Project as a whole, the researchers held meetings with the islanders in their communities to explain it to them, and to explain them the purpose and importance of the survey they had to conduct. In some cases, the assistance of local leaders was of absolute importance during such briefings.

3. METHODOLOGICAL PROBLEMS

As mentioned previously elsewhere, the classical transport survey methodology used in the present research underwent some

adjustments to meet its needs. These adjustments are going to be described in more detail in this sub-section and the next ones. During the planning phase of the study, four issues arose regarding the methodological procedures the research employed. The first issue was related to the OD Survey procedures since the main areas investigated in this research had not been part of previous OD surveys carried out in the region (PDTU, 2001). The second one had to do with strategies to update the findings of the OD survey performed in 2001 and to validate new data obtained. The third one regarded developing a stated preference survey instrument that would be adequate to the studied population. The last issue was concerned with developing or adjusting instruments to assess the environmental impacts of the Project.

3.1. OD survey: origin-destination survey of waterway trips

The purposes of the complementary OD survey carried out within the scope of the present research were to quantify and qualify the use the BMR islanders make of the current waterway transport system. This information was not available then since these areas were not investigated in the 2001 OD survey. The herein reported OD survey was carried out in order to satisfy the needs of the D-Fluvial Project. Due to this fact, it did not follow the technical standards of transport research fully.

Household surveys are suitable for home-based daily shifts studies in urban areas. However, the survey herein reported faced some drawbacks. For instance, given the geographical dispersion of the households studied and the accessibility conditions of the islanders, it was expected that the reports on the previous day trips would be scarce or difficult to obtain, which would reduce the reliability of the survey. Moreover, the OD surveys which are usually performed in transport terminals or with boarded passengers do not assess socioeconomic statuses of the surveyed population, which would make it impossible for the researchers to draw comparisons with the 2001 OD survey data on the issue. Therefore, the researchers developed a survey design fulfil the specific needs of the current

research. The new survey design has instruments to observe the flow of the waterway passengers between the mainland terminals and the new traffic areas and to collect information on the socioeconomic characteristics of those passengers.

3.2. Survey of boarding and alighting of bus lines

The employment of the survey of boarding and alighting of bus lines did not require any major methodological adjustments. The data it generated had a different use within the present research, though. The data collected through this methodology is generally used to build boarding and alighting bus stop matrices. For the purposes of the D-Fluvial Project, the bus boarding and alighting survey data on bus stops were aggregated to macro traffic zones, which resulted in an approximate BMR public transport OD matrix.

3.3. State preference Survey

The previous methodologies only collect data on users' observations about transport system services, if they are to be compared with the scope of State Preference Survey (SP) procedures. Every SP implementation instance poses the researchers a challenge because the transport service users have to quickly analyse, judge and choose one or more statements on different aspects of the service among several hypothetic transport strategies during actual trips. The surveyor has the difficult task of getting the hurried transport service users' attention and collaboration. They also have to clearly present the interviewees the factorial experiment in the hypothetical transport alternatives and their attributes and precisely record their choices. The state preference survey success relies on the interviewees' abilities to judge consistently. In order to improve their analysis abilities, it is essential that the factorial stimuli be as realistic as possible and consider the origin and destination of the transport service of the users, as well as their perceptions and images of these issues. The best procedure is to employ a computer program to customize the scenarios to suit each interviewee.

The computer aided interviews were discarded because of the D-Fluvial Project resource restrictions. The procedure adopted involved a previously conceived factorial experiment for each planning area. This required a set of likely scenarios for each planning area in which the origins and destinations were used to calculate the variations of the attributes of real and hypothetical modal alternatives according to a factorial plan. In each scenario presented, the interviewees had to indicate their order of preferences.

Quality of Service sensitivity for waterway transport services was implicitly measured by comparing the interviewees' responses with two kinds of stimuli. The interviewees did not know the features of the new waterway transport service and the surveyors had to present them its amenities. In each planning area, two teams of surveyors carried out the research. A team of surveyors prompted the interviewees' responses by presenting them a service described as *basic* while a second one prompted their responses by the means of a presentation of a service described as a *plus*. Then, the stimuli differences were identified and modelled with a dummy variable.

4. FINDINGS

4.1. The new service

BMR waterway transport pattern is quite different from the urban commuting one due to the natural barriers the former needs to overcome. On the mainland, regular trips between residence, work or study places are the majority of journeys that occur at the peak period daily. The waterway trips, on the other hand, are motivated by the islanders' needs for health services and shopping as well as by waterway tours to the islands. These features explain the high demand variability displayed by the routes connecting the islands to the mainland as opposed to the demand stability of the routes connecting mainland waterway terminals. Figure 3 shows a demand allocation at the morning period of a typical working day during

a high tourist season. Cotijuba-Icoaraci route is currently the most important one in operation. However, the simulations of connections between continent terminals display the greatest potential.

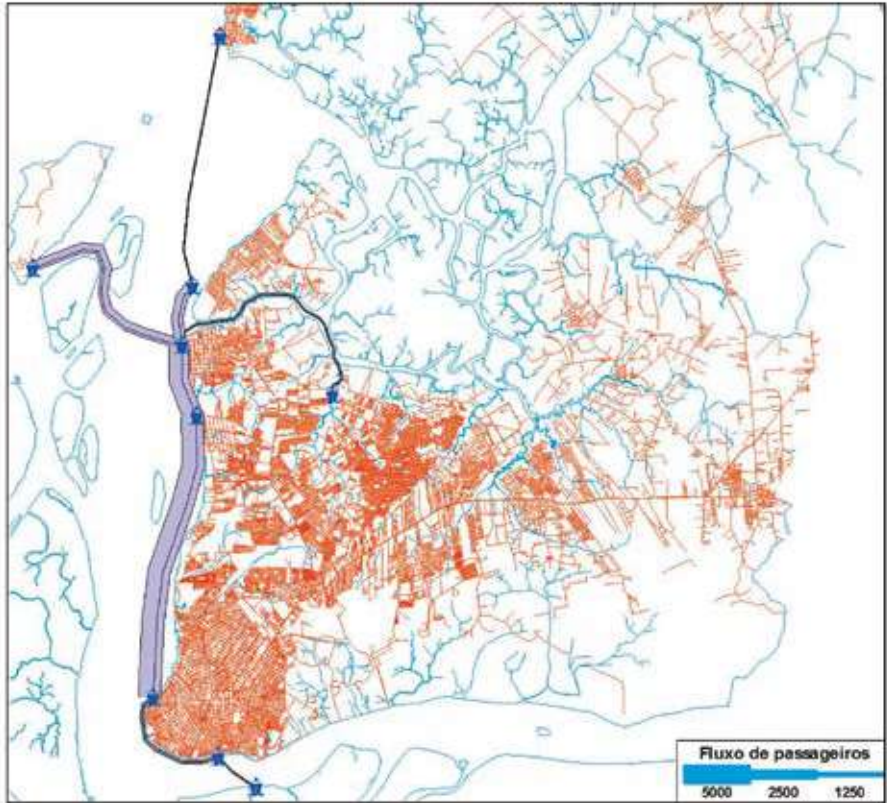


Figure 3: Passenger Flows – estimated allocation on a typical workday for high tourist season

Source: Author, 2019 (Adapted).

4.2. The new boat

The simulations searching for the best technical and economical alternatives to a boat design suggest specific options for each of the studied waterway. For instance, the Cotijuba-Icoaraci route simulation output analysis exhibits demand for a boat with

features that include capacity for 96 passengers, speed of 18 knots, two engines of 350 horse-power. See design perspectives in Figure 4.

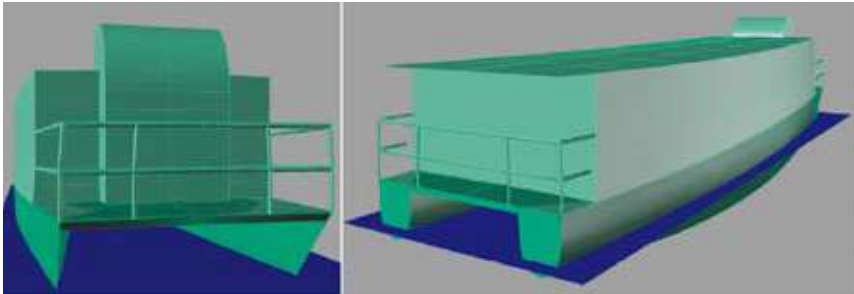


Figure 4: Boat conceptual design

Source: Author, 2019 (Adapted).

4.3. Social-economic assessment

According to Tobias *et al.* (2009), the river is the current main factor of social inequality and exclusion in BMR. All the areas within BMR with road links, regardless of distance and travel time to downtown Belem, are more developed and have higher market value than the insular ones. Figure 5 illustrates the distribution of the different socioeconomic groups identified in the research. In order, groups 5, 2 and 4 are richer and younger than 1 and 3.

It still not possible to assess how and when accessibility improvements might change the life standards of the islanders. Nevertheless, data collected in the research are undeniable evidence of the drawbacks caused by omissions of past BMR strategic projects for transport services.

4.4. Environmental assessment

It is not expected that the new waterway transport services outlined, taking into consideration the estimations made within this research report, change the BMR modal matrix. However, due to heavy traffic and constant congestions at the studied sites, the envisaged waterway trips hold a valid alternative to the problem.

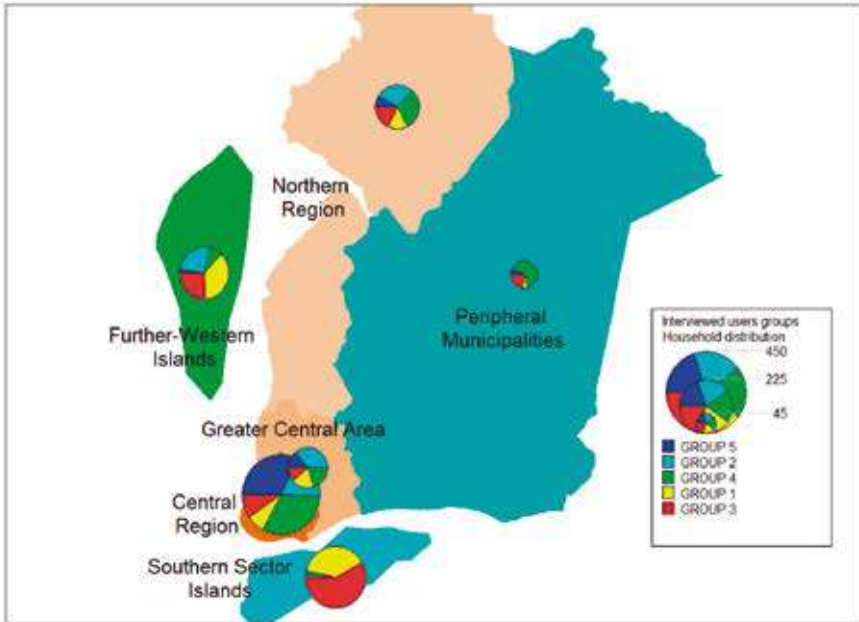


Figure 5: Spatial distribution of groups of river transport service users identified by the D-Fluvial Project

Source: Author, 2019 (Adapted).

Thus, besides mitigating the bad traffic conditions, these waterway trips would contribute to reducing greenhouse gas emissions in the simulated crossings sections by speeding up the traffic. Figure 6 displays the expected decrease in mobile CO₂ emissions. The simulation instances depicted pre and post waterway transport service implementation situations and are recorded in the 2009 D-Fluvial Project Research Report (D-FLUVIAL, 2009).

5. CONCLUSION

In recent years, accessibility and mobility of the island population have gained importance within the technical, scientific, political and entrepreneurial communities in BMR. Among the many contributions of the D-Fluvial Project, the main one was bringing

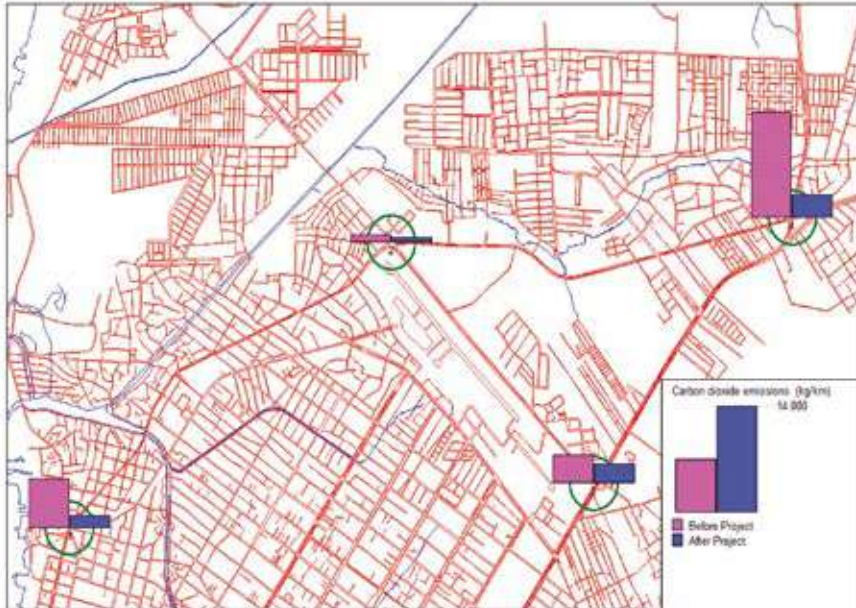


Figure 6: Variation in the rate of CO₂ emissions after the new service (kg/km)

Source: Author, 2019 (Adapted).

into discussion the sustainability of a metropolitan development model that disregards the waterway transport in a region where it enjoys a natural advantage. During the years of 2007 and 2009 researchers of University of Amazonia (UNAMA) and Federal University of Para (UFPA) have carried out studies gathering and building knowledge of paramount importance to the future BMR Urban Transportation Master Plan.

D-Fluvial Project produced socioeconomic data, geo-referenced databases, transportation demand models, technological alternatives to waterway transport services and research methodologies. Moreover, it helped to educate a new generation of transportation expert planners for BMR. The sustainability issue regarding a public waterway transportation network in BMR cannot be adequately addressed just by considering the infrastructure and boat technology investment returns. The present study found

evidences of environmental and social benefits of the improvement of waterway transport services, but more studies are required to more adequately inform and ground the coming BMR Urban Transportation Master Plan.

Overcoming the methodological challenges of collecting data on waterway transport service demands required some adjustments of the classical transport surveys. Using discrete choice models showed effective in analysing demand behaviours. The boat design was in accordance to the parameter specifications obtained in the research. Finally, the intermodal urban transport network was seen as a sustainable transport alternative to the population of the BMR – mainlanders and islanders likewise.

The newly acquired knowledge about the researched population socioeconomic statuses ratified the initial major motivation of this study, which was, we shall recall, help bring the issue of waterway transport of passengers into the BMR governmental strategic planning agenda as an instrument of social inclusion by the means of the D-Fluvial Project. Finally, the paper reported the achievements and findings of the D-Fluvial Project, which carried out surveys to assess the transport demands of the islanders and to inform the design of a new boat aiming at implementing viable waterway public transportation in BMR.

REFERENCES

- D-FLUVIAL (2008) Estudo de Demanda Potencial e Formação de Rede Rodofluvial Urbana na Região Metropolitana de Belém. *First Partial Technical Report*, FINEP/UFPA/UNAMA. Belém, Brazil.
- D-FLUVIAL (2009) Análise Preliminar de Impactos Ambientais do Projeto D-Fluvial. *Second Partial Technical Report*, FINEP/UFPA/UNAMA. Belém.
- IBGE (2019). Estimativas de população residente nos municípios brasileiros. Brasília, 01/07/19. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_dou_2019.pdf>. Acesso em 12/11/19.
- LOUVIERE, J. J.; HENSHER, D. A. e SWAIT, J. D. (1993) *State Choice Methods – Analysis and Application*. Cambridge University Press, U.K.
- PAIVA JUNIOR, H. e WAISMAN, J. (2001) The role of attitude and purchase power in brazilian urban transport behaviour. *World Conference on Transport Research*, Anais, Lisbon.

PDTU (2001). *Plano Diretor de Transporte Urbanos da Região Metropolitana de Belém*. JICA/SEDURB/COHAB, Belém, Brazil.

TOBIAS, M. S. G.; PAIVA JUNIOR, H. e WAISMAN, J. (2009) O Transporte fluvial como fator de inclusão social numa metrópole insular: o caso de Belém do Pará. *XXXIII ANPET*, Anais, Vitória, Brazil.

Endereço para correspondência:

- (1) Tobias, Maisa Sales Gama – E-mail: isatobias1@gmail.com. Universidade Federal do Pará – UFPA, Rua Augusto Corrêa, 01 – Guamá, Belém – PA, 66075-110;
 - (2) Coutinho Neto, Benedito – E-mail: bcoutin63@gmail.com. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará – IFPA, Av. Alm. Barroso, 1155 - Marco, Belém - PA, 66093-020;
 - (3) Paiva Junior, Humberto de – E-mail: hpaivajr@gmail.com. Universidade Federal do ABC (CECS), Av. dos Estados, 5001 - Bangú, Santo André - SP, 09210-580.
 - (4) Afonso, Paulo Sérgio Lima Pereira. E-mail: psafonso@dps.uminho.pt. Universidade do Minho (Escola de Engenharia), Campus de Azurém, 4804-533 – Guimarães, Portugal.
- (1) Universidade Federal do Pará - UFPA/PPGENAV.
 - (2) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará - Campus Belém.
 - (3) Universidade Federal do ABC - CECS, São Paulo-SP.
 - (4) Universidade do Minho - Escola de Engenharia, Departamento de Produção e Sistemas, Guimarães - PT.

OTIMIZAÇÃO HIDRODINÂMICA DO CASCO DE UMA LANCHA ESCOLAR AMAZÔNICA ATRAVÉS DE ALGORITMO GENÉTICO PARA REDUÇÃO DE RESISTÊNCIA EM AMBIENTE CFD

HYDRODYNAMIC OPTIMIZATION OF THE AMAZON SCHOOL SPEEDBOAT HULL THROUGH GENETIC ALGORITHM FOR THE REDUCTION OF RESISTANCE IN CFD ENVIRONMENT

MAIA, H. W. S.¹; SAID, M.²
(1,2) Universidade Federal do Pará

RESUMO

O sistema de navegação interior da região Amazônica Brasileira é um dos mais complexos do mundo, sendo de vital importância para a circulação diária de passageiros e diversos tipos de carga. A respeito do cenário do transporte escolar, o Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação - FNDE propiciou a implantação de lanchas escolares para o transporte de crianças às escolas em regiões ribeirinhas. Entretanto, um dos modelos de lancha escolar apresentou ineficiência operacional e um alto consumo de combustível. Este trabalho, embasado na análise dos perfis de ondas, linhas de fluxo, e distribuições de pressões ao longo do casco-objeto, apresenta um estudo de otimização hidrodinâmica das linhas do casco, utilizando o algoritmo genético NSGA-II no ambiente CAD CAESES, com o objetivo de reduzir os coeficientes de resistência de perfil de ondas C_{WP} e de perfil de ondas transversais $C_{WP\ trans}$, consequentemente contribuindo para a redução do coeficiente de resistência total C_T , a amplitude de ondas geradas e o consumo de combustível. A metodologia de otimização proposta resultou em uma redução máxima de 5% do coeficiente de resistência total C_T do casco e na identificação de uma tendência de variação geométrica do casco para investigação em estudos posteriores.

Palavras-chave: Otimização hidrodinâmica. CFD. Algoritmo genético.

ABSTRACT

The inland navigation system of the Brazilian Amazon region is one of the most complex in the world and is of vital importance for the daily flow of passengers and various types of cargo. Regarding to the scenario of school transportation, the National Fund for the Development of Education - FNDE provided the implementation of school boats for the transportation of children to schools in riverine regions. However, one of the school boat models showed operational inefficiency and high fuel consumption. This work, based on the analysis of wave profiles, flow lines, and pressure distributions along the object hull, presents a study of hydrodynamic optimization of the hull shape, using the NSGA-II genetic algorithm in the CAD CAESSES environment. The aim is to reduce the resistance coefficients C_{WP} , for the wave profile, and $C_{WP\ trans}$, for the transverse wave profile, thereby contributing to the reduction of the total resistance coefficient C_T , the generated wave amplitude and fuel consumption. The proposed optimization methodology resulted in a maximum reduction of 5% in the total resistance coefficient C_T of the hull and in the identification of a trend of geometric variation of the hull for investigation in further studies.

Keywords: Hydrodynamic optimization. CFD. Genetic algorithm.

1. INTRODUÇÃO

Na região amazônica, a navegação interior é um dos principais modais de transporte, dada a sua importância no transporte de pessoas e mercadorias e na consequente manutenção de trabalhos e serviços na sociedade, assim como o transporte de alunos ribeirinhos às escolas.

Às várias ilhas e demais localidades da região, só existe o acesso por meio das águas. Apesar da importância deste modal, ainda se observa a utilização de embarcações inadequadas, como alguns barcos de madeira, lentos e barulhentos, mais vulneráveis às chuvas, ventos e correntes, oferecendo situações de risco e desconforto aos usuários em grande parte dos casos.

Tendo em vista esse cenário, especificamente na questão do transporte escolar, o Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação - FNDE propiciou a implantação das Lanchas Escolares através do programa Caminhos da Escola. Desta forma, um transporte mais rápido, seguro e eficiente é oferecido às crianças que precisam de transporte fluvial para chegar às salas de aula.

Segundo o FNDE, apenas na região norte do país, o número de crianças que precisam utilizar este modal para chegar às escolas chega a aproximadamente 180 mil. Pelo menos 208 municípios, de todo o Brasil, precisam de transporte fluvial para manter as crianças na escola (COELHO, 2016).

Dois modelos de lanchas foram propostos pelo programa, ambos com cascos de aço e casaria de fibra de vidro: LE-G (Lancha Escolar Grande), com comprimento total de 11,00 metros, velocidade máxima de 25 km/h e capacidade para 35 adultos ou 53 crianças (sentadas) e LE-M (Lancha Escolar Média), com comprimento total de 7,80 metros, velocidade máxima de 25 km/h e capacidade para 22 adultos ou 33 crianças (sentadas). As dimensões principais da LE-M estão ilustradas na Tabela 1. Como as duas lanchas operam na mesma faixa de velocidade, a LE-M opera em números de Froude mais elevados, devido ao seu menor comprimento total. No total, 221 barcos foram entregues na região Norte, sendo 78 LE-G e 143 LE-M (FNDE, 2017). Atualmente, o modelo LE-G está em operação ao longo dos vários rios da região, tendo sido comprovado como uma embarcação eficiente, com sua operação dentro dos limites de velocidade de projeto e consumo de combustível.

Entretanto, a LE-M, ilustrada na Figura 1, foi objeto de reclamações de usuários sobre a elevada duração do tempo de viagem, visto que a velocidade de operação definida em projeto não era atingida. Em uma prova de rio com o protótipo em escala real LE-M, a velocidade máxima registrada no teste foi de 17 km/h a 2300 RPM, a favor da corrente, sendo apenas 68% da velocidade máxima (25 km/h) e 85% da velocidade de serviço (20 km/h) proposta no projeto. A velocidade máxima registrada na RPM nominal do motor (1800 RPM) foi de 12,4 km/h, ou 62% da velocidade de serviço de projeto. Nessas condições, foi observada a

geração de um trem de ondas de elevada amplitude, mesmo quando operando em baixas velocidades e abaixo de sua capacidade máxima de passageiros. Essas observações operacionais implicam em uma elevada resistência residual e um alto consumo de combustível para velocidades incompatíveis, o que caracteriza a baixa eficiência hidrodinâmica do casco.

Maia e Said (2019) realizaram simulações em ambiente *CFD* - *Computational Fluid Dynamics* com o casco da LE-M, de forma a se obter as distribuições de pressões ao longo do casco, linhas de fluxo, perfis de onda e curva de resistência no intervalo de 8 a 25 km/h. Uma modificação nas linhas da região da quilha também foi proposta e simulada, tendo sido atingida uma redução máxima de 25,06% do coeficiente de resistência total ao avanço. Como o intervalo de operação da LE-M está no regime de semiplano (velocidade de projeto = 20 km/h ou $F_n = 0,63$), a parcela da resistência de ondas na resistência total aumenta consideravelmente (Molland, 2011). Desta forma, a proposta do presente trabalho é de aplicar uma metodologia de otimização para as linhas do casco da LE-M, com a utilização do algoritmo genético NSGA-II em ambiente CFD, baseando-se nas distribuições de pressões e linhas de fluxo observadas, com o objetivo de se obter um casco modificado ótimo com uma emissão de ondas reduzida (menor resistência de ondas) e conseqüentemente uma menor resistência ao avanço, fatores que afetam diretamente a preservação das encostas dos rios e o consumo de combustível. Conforme Figura 1 e Tabela 1.

Tabela 1: Dimensões principais da LE-M

Comprimento total (m)	7,8
Comprimento entre perpendiculares (m)	7,52
Boca moldada (m)	2,58
Pontal moldado (m)	1,40
Calado moldado (m)	0,67
Velocidade de projeto (km/h)	20,00

Fonte: Autor, 2019.



Figura 1: Protótipo da LE-M

Fonte: Autor, 2019.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os trabalhos a seguir podem ser mencionados como base para o estudo atual na área de simulação em ambiente CFD no *software* SHIPFLOW e otimização, com o objetivo principal de reduzir a resistência ao avanço.

Heimann (2005) realizou uma pesquisa sobre a relação de causa e efeito entre a variação dos parâmetros geométricos de um casco e seu impacto na geração do perfil de onda, por um método de perturbações e análise do espectro do perfil de onda através de cortes longitudinais. Os resultados mostraram reduções de até 50% nas resistências a ondas e na resistência à pressão viscosa.

Shallen (2016) apresentou cálculos dos coeficientes de resistência de onda, residual e total do casco R/V Athena, utilizando simulações em CFD. Os coeficientes foram calculados pelo método de elevação da superfície livre (cálculo potencial) e cortes longitudinais dos perfis de onda para uma gama de velocidades com o *software* SHIPFLOW e comparação com dados experimentais de um tanque de provas para validação. Os valores obtidos por este método mostraram boa concordância com os dados experimentais e a curva de resistência

apresentou a mesma tendência, apenas com pequenas discrepâncias para os números de Froude nos extremos inferior e superior.

Vangbo (2011) dissertou sobre a utilização de *Softwares* CFD na etapa conceitual de projeto de embarcações, assim como os vários métodos que podem ser utilizados para cada tipo de aplicação pretendida. Após a discussão conceitual, o autor apresenta três estudos de otimização distintos para um casco de Wigley, dois utilizando o algoritmo genético multiobjetivo NSGA-II e um utilizando o método de localização pela tangente, *Tangent Search Method*.

Bagheri, Ghassemi e Dehghanian (2014) propuseram um método computacional atrelado a um algoritmo genético para otimização de cascos, para estimar as características de seakeeping de um casco de Wigley e de um casco S60 em uma condição de ondas regulares de proa. Na otimização, o deslocamento foi considerado como restrição de projeto e uma combinação de parâmetros geométricos e dimensões principais como as variáveis. Para o casco de Wigley foram gerados 130 cascos por geração, e para o S60, para 200 cascos por geração. Os casos ótimos resultaram em uma redução no pico de velocidade vertical (*heave*) de 33% para o casco de Wigley e de 27% para o casco S60.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. Simulações em CFD

Segundo Lervolino (2015), a *Computational Fluid Dynamics - CFD* é caracterizada por uma simulação numérica de qualquer processo físico ou químico que ocorre em um escoamento de fluido. As condições de contorno são aplicadas em vários modelos de elementos finitos e podem ser registradas no domínio do tempo e do espaço, com base no comportamento de vários parâmetros do próprio escoamento em cada um desses elementos.

O casco da LE-M foi modelado a partir das linhas de projeto fornecidas em um *software CAD - Computer-Aided Design*. O protótipo tridimensional do casco foi exportado no formato

genérico *IGES - Initial Graphics Exchange Specification*, importado e convertido em offsets (balizas) no *software SHIPFLOW* para simulação, análise hidrodinâmica e preparação para o procedimento de otimização.

Em sua configuração padrão, o *software SHIPFLOW* divide o escoamento em três zonas, atribuindo cada módulo de cálculo a uma zona onde seu efeito hidrodinâmico é predominante, a fim de otimizar o tempo computacional e manter uma precisão satisfatória dos resultados. O esquema zonal é mostrado na Figura 2.

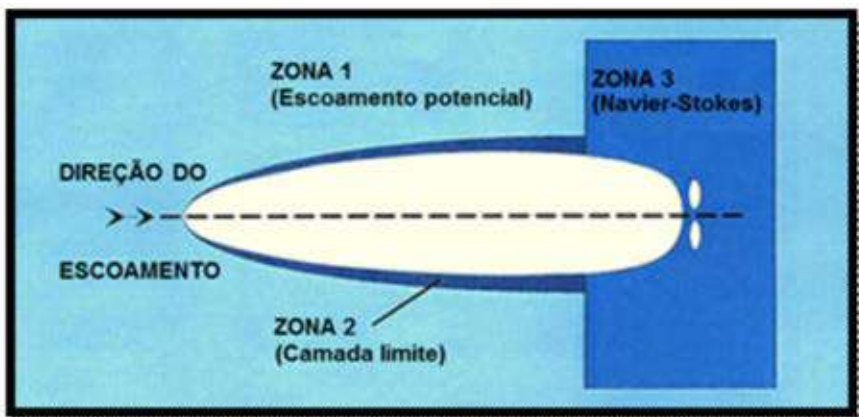


Figura 2: Esquema de separação zonal do escoamento do *software SHIPFLOW*

Fonte: FLOWTECH Int. AB (adaptado), 2019.

Na zona 1 (módulo XPAN para superfície livre por painéis de Rankine), o escoamento é considerado como não viscoso (ideal) e irrotacional. Portanto, as equações de governo resultantes são as equações diferenciais parciais lineares de Laplace, baseadas na continuidade de massa. A velocidade do escoamento U^s pode ser escrita como o gradiente de uma função potencial escalar ϕ :

$$U^s = \nabla \phi \Rightarrow u = \partial\phi / \partial x; \quad v = \partial\phi / \partial y; \quad w = \partial\phi / \partial z \quad [\text{Eq. 01}]$$

considerando o escoamento incompressível, o potencial ϕ satisfaz a equação de Laplace:

$$\nabla^2 \phi = 0 \quad [\text{Eq. 02}]$$

Na zona 2 (módulo XBOUND para camada limite), as camadas limite laminar e turbulenta são calculadas por um método integral de momento. Na interface fluido-casco, é assumida uma condição de contorno anti-deslizamento (no-slip). Nas primeiras deduções da camada limite, Prandtl (1904) simplificou as equações diferenciais parciais de Navier-Stokes para uma forma parabólica, em vez da forma elíptica das equações completas. Aplicando análises de escala à velocidade (u , normal ao casco, e v , na direção do escoamento) e fatores de pressão (p), a equação de continuidade é simplificada a:

$$u \cdot (\partial u / \partial x) + v \cdot (\partial u / \partial y) = v \cdot (\partial^2 u / \partial y^2) \quad [\text{Eq. 03}]$$

Na Zona 3 (módulo XCHAP de escoamento viscoso), o escoamento é assumido como viscoso e turbulento, onde a velocidade, pressão e outras grandezas sofrem oscilações irregulares (flutuações) em torno de um valor médio. Aplicando a decomposição de Reynolds, a velocidade instantânea (u_i) é dividida em dois valores, um médio (\bar{u}_i) e um flutuante (u'_i), assim como o campo de pressão instantânea (p_i), que é dividido em um campo de pressão média (\bar{p}) e um campo de pressão flutuante (p'). Assim, o escoamento viscoso é resolvido por uma solução baseada em diferenças finitas das Equações de Navier-Stokes (RANSE):

$$\rho \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \right) = - \frac{1}{\rho} \cdot \left(\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \cdot (v \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - u'_i u'_j) \right) + g_i \quad [\text{Eq. 04}]$$

onde um modelo de turbulência $k-\varepsilon$ é aplicado para solucionar o termo de flutuações turbulentas $u'_i u'_j$, onde a energia cinética k e a taxa de dissipação ε são modelados.

3.1.1. Parâmetros da malha

Nesta seção serão discutidos os parâmetros utilizados no estágio de pré-processamento da malha para as simulações, assim como o estudo de convergência e validação da mesma. Os parâmetros definidos são os mesmos utilizados por Maia e Said (2019).

O módulo de modelagem da malha (XMESH) do SHIPFLOW usa um volume de controle em forma de cilindro com uma malha hexaédrica estruturada. Para as dimensões do volume de controle, os valores foram definidos como o padrão: $3.L_{pp}$ para o raio e $1,3.L_{pp}$ para o comprimento, conforme ilustrado na Figura 3. As condições de contorno nas superfícies limitantes são definidas como o padrão: condição de anti-deslizamento para o casco e de deslizamento para os planos de simetria e superfície livre. Nas superfícies de entrada e saída, a velocidade do fluxo é definida de acordo com a simulação. Conforme mostra a Figura 3.

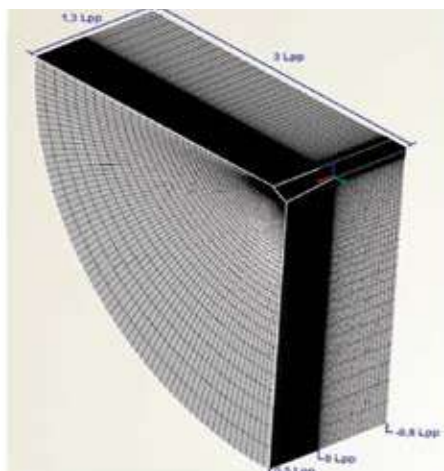


Figura 3: Malha do volume de controle para as computações do escoamento viscoso

Fonte: Maia e Said, 2019.

Como as equações para o método dos painéis (potencial) e camada limite são mais simples de se alcançar a convergência, este estudo se concentra na malha para o cálculo viscoso, que utiliza o

método de volumes finitos. O módulo de modelagem da malha do SHIPFLOW oferece quatro configurações de refinamento padrão, muito grossa (*very coarse*), grossa (*coarse*), média (*medium*) e fina (*fine*). Para este estudo de convergência de malha, foram realizadas simulações para cada velocidade proposta com as configurações grossa, média e fina, além da variação dos modelos de turbulência EASM e $k - \omega$ SST. O número de elementos para cada malha gerada foi: 446.368 para grossa; 744,372 para média; e 1.218.078 para fina.

A convergência não foi alcançada para algumas velocidades, especialmente utilizando o modelo $k - \omega$ SST. Por esta instabilidade observada, o modelo EASM foi usado como padrão para os cálculos de validação. De acordo com o manual do usuário do SHIPFLOW, o modelo EASM também é o modelo mais avançado disponível no código, recomendado para esses tipos de simulações.

Pode-se notar que os valores obtidos pelo método $k - \omega$ SST são ligeiramente maiores que os do EASM em baixas velocidades, uma diferença que tende a aumentar à medida que a velocidade do teste aumenta. O critério de convergência utilizado foi a taxa da variação de força nas últimas 100 iterações, sendo menor ou igual a 0,1% para a média de F_x (força no eixo x, resistência ao avanço) e abaixo de 1,0% para a parcela correspondente à pressão em F_x , como recomendado por Larsson et. al. (2017) e o suporte técnico do *software*.

O número de iterações para a convergência variou de 1600 a 12000, correspondendo a um tempo computacional de 2 a 13 horas por simulação. Três computadores quad-core foram utilizados nas simulações, dois com processadores AMD Phenom II X4 965 de 3,40 GHz e um processador Intel Core i7-3630QM de 2,40 GHz, cada um com 16 Gb de RAM.

Para fins de validação da malha, os valores de resistência obtidos nas simulações foram comparados com os dados da prova de rio realizada em 27/01/2017 com o protótipo em escala real da LE-M. Embora não seja possível obter diretamente o valor da resistência ao avanço em uma prova de rio, uma estimativa pode ser obtida através da formulação da potência instantânea, com os dados da velocidade instantânea e potência do motor (os valores de potência

instantânea são obtidos através da curva característica de rotação do motor x potência fornecida):

$$P_{inst} = \lim_{(\Delta t \rightarrow 0)} (F \cdot \Delta S) / \Delta t \quad [Eq. 05]$$

onde a força F é dada em Newtons, o espaço S em metros, o tempo t em segundos e a potência instantânea P_{inst} em watts.

Neste teste, foram registradas as velocidades de 13 e 17 km/h, bem como as respectivas rotações de 1800 e 2500 RPM, sendo a última a rotação nominal máxima do motor (série MWM 229 de 4 cilindros). Devido a restrições de tempo e recursos, não foi possível realizar novos testes, a fim de registrar um intervalo maior de velocidades para a obtenção de uma curva de resistência característica do protótipo, ficando a sugestão para futuras pesquisas. A Tabela 2 ilustra os dados coletados no estudo e os respectivos valores estimados de resistência.

Tabela 2: Dados da prova de rio e valores de resistência

Nro. Froude	Velocidade		Rotação (RPM)	Potência / instantânea		Resistência (kN)
	(Km/h)	(m/s)		(hp)	(kW)	
0,41	13	3,61	1800	66	48	13,30
0,54	17	4,72	2500	73	54	11,44

Comparando os valores de resistência simulados e estimados, pode-se notar que para $F_n = 0,41$, o valor da simulação é cerca de 27% menor, enquanto para $F_n = 0,54$, esse valor é cerca de 75% maior. Espera-se que os valores de resistência da simulação sejam mais baixos, pois é aplicada uma condição de reboque para o casco nu, de forma que um aumento de 27% para uma condição de autopropulsão representa um valor realista para as perdas de transmissão e acoplamentos. Para $F_n = 0,54$, a lancha está dentro da faixa de semiplaneio, de modo que o aumento de 75% pode ser explicado pelo método escolhido de simulação, que, ao restringir o calado e conseqüentemente os movimentos livres de caturro

(*pitch*, rotação em torno do eixo Y) e arfagem (*heave*, movimentação longitudinal ao longo do eixo Z), não leva em consideração a redução de resistência friccional pela surgimento da força de sustentação dinâmica (*dynamic lift*). Dessa maneira, ao entrar no regime de semiplaneio com calado fixo, a resistência ao avanço aumenta a uma taxa exponencial. Para uma validação mais consistente, sugere-se para análises futuras a comparação com dados experimentais de tanques de prova (de reboque a calado fixo ou autopropulsão) ou dados de provas de rio com intervalos maiores de velocidades.

3.2. Teoria de otimização numérica

Nesta seção é apresentada a formulação matemática genérica de um problema de otimização hidrodinâmica de um casco. Na configuração de um código de otimização são utilizadas variáveis de projeto e condições de contorno, ou restrições, para a caracterização do problema. As variáveis de projeto são responsáveis por controlar a variação da geometria do casco durante o processo de otimização, e as restrições, podendo ser do tipo de igualdade ou desigualdade, são responsáveis por limitar essas variações, de forma que caso uma geometria candidata atinja um determinado intervalo de variação definido como indesejável, esta será descartada durante o processo.

De acordo com Bagheri (2014), a função a ser maximizada ou minimizada por estes parâmetros é tida como a função-objetivo, sendo o seu valor um critério determinante da eficiência da metodologia de otimização proposta. Se um problema de otimização utiliza apenas uma função-objetivo, esta otimização é denominada de objetivo único, e se utiliza duas ou mais funções-objetivo, é denominada multiobjetiva. Uma formulação padrão de um problema de otimização é apresentada a seguir:

$$\text{Otimizar } g \text{ } F(x^-) = [f_1(x), f_2(x), \dots, f_m(x)], \text{ onde } x \in \mathbb{R}^n \quad [\text{Eq. 06}]$$

sujeito à:

$$h_i(x^-) = 0, \text{ onde } i = [1, \dots, q] \text{ e } g_i(x^-) \leq 0, \text{ onde } i = [1, \dots, p] \quad [\text{Eq. 07}]$$

Onde $f(x)$ é uma função-objetivo, m é o número de funções-objetivo, q é o número de restrições de igualdade, p é o número de restrições de desigualdade e $x = (x_1, \dots, x_n) \in F$ é uma solução individual. O conjunto $S \subseteq \mathbb{R}^n$ define o espaço de investigação e o conjunto $F \subseteq S$ define um espaço de investigação viável. O espaço de investigação S é definido como um retângulo n -dimensional em \mathbb{R}^n , ou seja, determinado pelas restrições mínimas ($l(i)$) e máximas ($u(i)$) aplicadas:

$$l(i) \leq x_i \leq u(i), \text{ onde } 1 \leq i \leq n \quad [\text{Eq. 08}]$$

As restrições definem o espaço de investigação viável, ou seja, se o vetor solução x está em concordância com as restrições de igualdade $h_i(x)$ e com as restrições de desigualdade $g_i(x)$, ele está contido no espaço viável.

Segundo Heimann (2005), para uma análise detalhada da resistência de ondas, pode-se tomar como base para a otimização de um casco a análise das ondas cruzadas transversais no perfil de ondas e a integração dos componentes de pressão longitudinal ao longo do casco. Desta forma, a análise de ondas cruzadas transversais, WCA (wave cut analysis), é usada tanto na identificação do sistema quanto para fornecer a função objetivo da otimização. A análise de cruzamento de ondas fornece a resistência de padrão de onda, R_{WP} (espectro de energia em um corte longitudinal do trem de ondas geradas pelo casco, como exemplificado na Figura 3), enquanto a integração dos componentes de pressão longitudinal ao longo do casco fornece a resistência de pressão viscosa R_v .

Na otimização por este método, as variações no formato do casco são realizadas em função dos efeitos hidrodinâmicos. As variáveis de otimização são relacionadas com as características do escoamento, constituindo uma relação direta entre a geometria do casco e as suas propriedades hidrodinâmicas. A função objetivo da otimização está diretamente relacionada com os trens de onda em termos do espectro de energia de onda e da resistência de formação de ondas, determinada por uma análise de cruzamento de ondas.

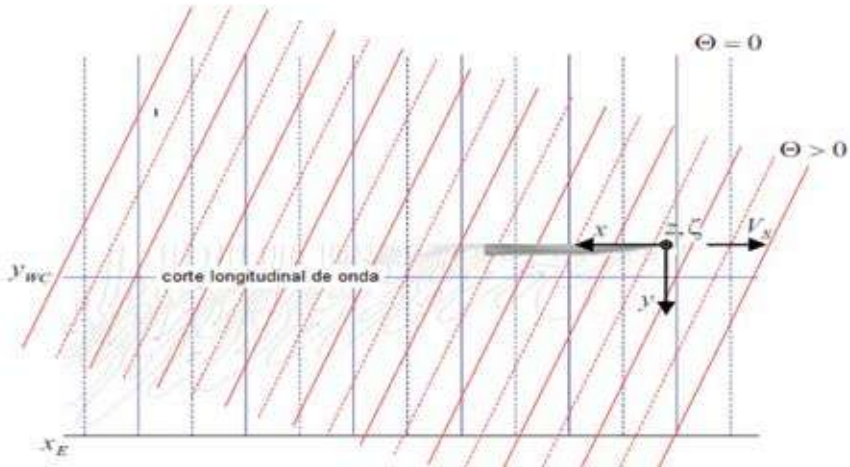


Figura 3: Diagrama esquemático dos trens de onda da embarcação, mostrando o corte longitudinal Y_{wc} e os ângulos de propagação de ondas transversais ($\Theta = 0$) e divergentes ($\Theta > 0$)

Fonte: Heimann, 2005 (adaptado).

O processo de otimização é estabelecido em um esquema de passos iterativos sucessivos com loops de sub-otimização. A partir deste método, pode-se reduzir a resistência de formação de ondas em um conjunto de velocidades de operação determinadas, identificando a correlação de causa e efeito de variações locais no casco e os seus respectivos resultados na resistência de formação de ondas.

3.3. Algoritmos de otimização evolutivos e genéticos

Dentre os vários tipos de algoritmos de otimização, um dos mais utilizados atualmente por sua versatilidade são os algoritmos evolutivos. Baseados em uma série de mecanismos de evolução biológica observados na natureza, os algoritmos evolutivos podem ser utilizados em várias áreas distintas, por tratarem de objetos abstratos de uma população.

Na área de algoritmos evolutivos, um dos subtipos desenvolvidos mais recentemente é o dos algoritmos genéticos,

como o NSGA-II. Inspirados pela teoria evolutiva de Darwin, estes algoritmos se baseiam no processo da seleção natural, seguindo o princípio da “sobrevivência do mais apto”, ou seja, intervalos de variações de parâmetros que influenciam positivamente o resultado final são conservados durante o processo de otimização.

Por exemplo, consideremos uma função-base a ser minimizada. Um conjunto de soluções candidatas (população) são geradas aleatoriamente, sendo a qualidade (aptidão) de cada uma delas avaliada pela função-objetivo dentro do domínio do problema, configurando uma medição abstrata de aptidão. Desta forma, as melhores soluções são escolhidas para conceber a próxima geração com a aplicação de operadores de recombinação (crossover) ou mutação. O operador de recombinação é utilizado de forma a gerar novas soluções candidatas a partir das já existentes, onde duas ou mais soluções (genitores) são escolhidas a partir da população e algumas de suas partes são permutadas, gerando um ou mais descendentes. O operador de mutação é utilizado de forma a gerar um descendente a partir da modificação de algumas partes de uma solução candidata. A aplicação dos operadores de recombinação e mutação ocasiona a competição de um conjunto de novas soluções candidatas com as candidatas anteriores por um lugar na próxima geração, de acordo com as suas aptidões. Um esquema de um algoritmo genético é ilustrado na Figura 4.



Figura 4: Esquema de um algoritmo genético

Fonte: Autor, 2019.

Este processo pode ser repetido até que uma solução com suficiente qualidade de parâmetros (“aptidão”) seja obtida, ou

até que limite de tempo computacional definido seja atingido. A aplicação dos operadores probabilísticos de recombinação e mutação possibilita o aprimoramento dos valores de aptidão em populações consecutivas.

Segundo Eiben e Smith (2003), as variáveis de um algoritmo genético são divididas em duas categorias: variáveis-objeto e variáveis genéticas. No domínio do problema, estas variáveis são geralmente representadas como vetores de valor real, já que este tipo de algoritmo é normalmente utilizado para parâmetros contínuos. Uma representação de uma variável em um algoritmo genético é dada a seguir:

$$\{x_1, \dots, x_n\} \quad [\text{Eq. 09}]$$

onde x_1 é a variável-objeto.

Em mutações neste tipo de variável, cada vetor (“gene”) é suscetível a modificações pela probabilidade de mutação (variável genética) dentro dos limites definidos pelas das restrições mínimas e máximas. A metodologia de mutação para $i \in \{1, \dots, n\}$ é a seguinte:

$$\{x_1, \dots, x_n\} \text{ g } \{x'_1, \dots, x'_n\} \quad [\text{Eq. 10}]$$

onde $x_i, x'_i \in [l(i), u(i)]$.

A recombinação dispersa é um dos principais tipos de recombinação utilizada em algoritmos genéticos. Este tipo de recombinação gera um vetor binário aleatório, de forma que genes selecionados de uma primeira solução candidata tem um valor vetorial igual a um (1), e os selecionados de uma segunda tem um valor igual a zero (0). O modelo de seleção (μ, λ) (onde as soluções genitoras μ não competem com as descendentes λ para passar à nova geração) apresenta algumas vantagens sobre o seu competidor, o modelo de seleção genética ($\mu + \lambda$) (onde as melhores soluções μ são selecionadas para competir com as soluções λ), mas o modelo ($\mu + \lambda$) é um mecanismo de seleção elitista que conserva as melhores soluções de cada geração.

4. ESTUDO DE OTIMIZAÇÃO

No presente trabalho, é proposta a otimização hidrodinâmica do casco da LE-M, de modo a reduzir a resistência de padrão de ondas R_{WP} e a resistência de padrão de ondas transversais $R_{WP\ trans}$ (espectro de energia do trem de ondas gerado pelo casco em um corte transversal à linha de centro). Desta forma, conseqüentemente haverá redução na amplitude das ondas geradas pelo casco, na resistência ao avanço e no consumo de combustível.

A partir dos dados do plano de linhas do atual protótipo da LE-M, é gerado um modelo numérico de superfícies em um *software* CAD. Posteriormente esta geometria é exportada para o *software* CAESSES no formato IGES, um formato geral aberto que traduz um sólido ou superfícies em linhas de texto, geralmente aceito pela maioria dos *Softwares* CAD. Após a importação, as superfícies são traduzidas em linhas de offsets pelo *software* integrado SHIPFLOW, um formato mais adequado para a sua posterior análise zonal, de escoamento potencial e viscoso.

Com base nos dados de resistência, distribuição de pressões e linhas de fluxo obtidos por Maia e Said (2019) para a LE-M, será apresentado o procedimento de otimização do casco para a velocidade de projeto, com a utilização do algoritmo genético multiobjetivo NSGA-II, presente de forma nativa na interface CAESSES. Através deste método, uma população de geometrias distintas é gerada, com base em intervalos de variação de parâmetros previamente determinados. A cada geração, as geometrias que mais se aproximarem do objetivo proposto podem sofrer permutação ou mutação, de acordo com a probabilidade determinada. Deste modo, a cada geração as geometrias são sucessivamente modificadas, até a convergência do casco ótimo final.

Os parâmetros utilizados na otimização foram a resistência de padrão de ondas R_{WP} e a resistência de padrão de ondas transversais $R_{WP\ trans}$ como objetivos e a variação do deslocamento como restrição. Por este objetivo, é satisfatória a análise de cada solução candidata pelo método potencial, sendo cada etapa de sub-otimização avaliada pela redução dos respectivos coeficientes de resistência de onda C_f

$$C_f = 1 - (U_i / U_\infty)^2 \quad [\text{Eq. 11}]$$

onde U_i é a velocidade instantânea local do escoamento e U é a velocidade incidente do escoamento.

Como a modelagem do escoamento à velocidade de projeto, 20 km/h ($F_n = 0,63$), se mostrou de difícil conversão com os atuais parâmetros utilizados, tendo sido necessária a utilização de fatores de relaxamento que provavelmente alteraram significativamente os resultados, este estudo foi realizado para a velocidade máxima atingida na prova de rio, 17 km/h ($F_n = 0,54$). No total, sete estudos foram realizados com diferentes configurações de parâmetros, mas somente os dois melhores resultados são apresentados.

4.1. Procedimento

O método escolhido foi a variação delta de uma superfície de B-splines no plano XZ de forma a abranger as balizas (ou offsets) da proa, a área responsável pela formação das primeiras ondas divergentes. Desta forma, a variação se dá pela modificação da distância de pontos de controle no eixo Y, modificando consequentemente a disposição das balizas de forma aleatória, dentro dos limites pré-definidos. A Figura 5 ilustra a superfície de B-splines criada como base.

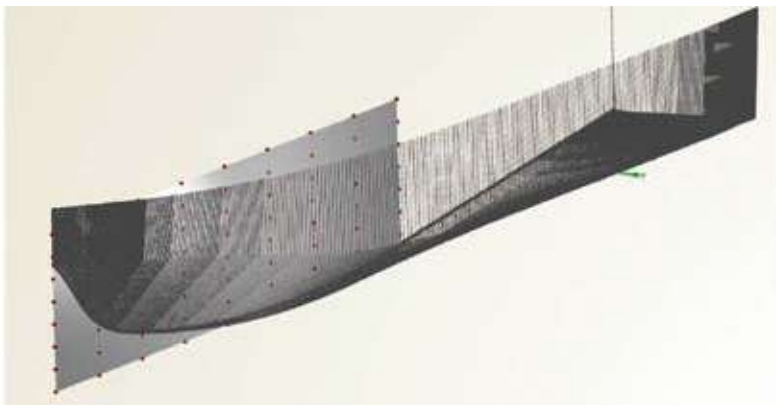


Figura 5: Superfície de B-splines utilizada nas simulações
Fonte: Maia e Said, 2019.

A área de influência da superfície foi determinada longitudinalmente da roda de proa até 900 mm além da meia-nau, e verticalmente da quilha até uma altura de 1200 mm abrangendo a quina do casco, ou seja, de $x = 3,0$ m até $x = 7,8$ m e de $y = 0,0$ m até $y = 1,2$ m. Foram criados 9×8 pontos de controle, dos quais 15 deles foram escolhidos como variáveis da otimização, agrupados em 3 linhas, inferior (*lower*), média (*middle*) e superior (*higher*), como ilustrado na Figura 6.

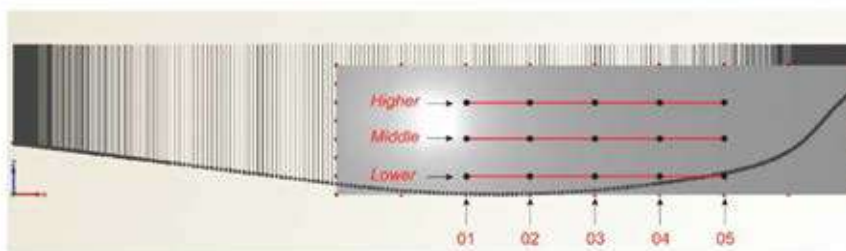


Figura 6: Pontos de controle

Fonte: Maia e Said, 2019.

4.2. Parâmetros e restrições

4.2.1. Primeira simulação – OP4

No primeiro estudo, denominado OP4, o intervalo de variação foi atrelado às linhas, cada uma contendo cinco pontos de controle. Desta forma foram consideradas três variáveis-objeto no estudo OP4. As probabilidades de mutação e permutação, as variáveis genéticas, foram definidas em 1% e 90%, respectivamente. Para a restrição do número de soluções candidatas, foram considerados 5 indivíduos por população com 20 gerações, mais 60 indivíduos adicionais, totalizando em 160 simulações. Como restrições foram considerados o deslocamento, de forma que este não fosse reduzido em mais de $0,2$ m³ por questões de estabilidade ($V > 6,72$ m³), e o próprio valor dos coeficientes de resistência de ondas, para a desconsideração de possíveis valores negativos. Esses parâmetros são sumarizados na Tabela 3.

Tabela 3: Parâmetros e restrições do estudo OP4

Variáveis-objeto (Variação, m)	Variáveis genéticas (probabilidade)	Restrições (Deslocamento, m ³)	Objetivos
$-0,5 \leq \text{Linha "higher"} \leq 0,5$	Mutação: 0,01	$V > 6,72$	Min: CWP
$-0,5 \leq \text{Linha "middle"} \leq 0,5$	Permutação: 0,9	$CWP > 0$	Min: CWP trans
$-0,5 \leq \text{Linha "lower"} \leq 0,5$	-	$CWP \text{ trans} > 0$	-

Fonte: Autor, 2019.

4.2.2. Segunda simulação – OP6

No segundo estudo, denominado OP6, o intervalo de variação foi atrelado a cada ponto de controle independentemente. Desta forma foram consideradas quinze variáveis-objeto no estudo OP6. O intervalo de variação das variáveis-objeto foi reduzido de -0,5 m a 0,5 m para -0,3 m a 0,3 m, pois valores próximos dos limites no estudo OP4 ocasionaram em grandes deformidades na continuidade das linhas do casco. Para a restrição do número de soluções candidatas, foram considerados 10 indivíduos por população com 40 gerações, mais 79 indivíduos adicionais, totalizando em 479 simulações. Para as variáveis genéticas, restrições e objetivos, os valores da simulação OP4 foram mantidos. Neste estudo o número de parâmetros e indivíduos foi aumentado de forma a se obter uma maior variação geométrica com uma melhor qualidade de parâmetros.

4.3. Resultados

4.3.1. Primeira simulação – OP4

No estudo OP4 foram simulados um total de 160 cascos, sendo que 77 destes violaram as restrições (pontos vermelhos nos gráficos a seguir) ou não atingiram a convergência do cálculo potencial, resultando em falha (xis vermelhos). O estudo total durou cerca de nove horas. As Figuras 7 a 9 ilustram as tendências de convergência dos parâmetros.

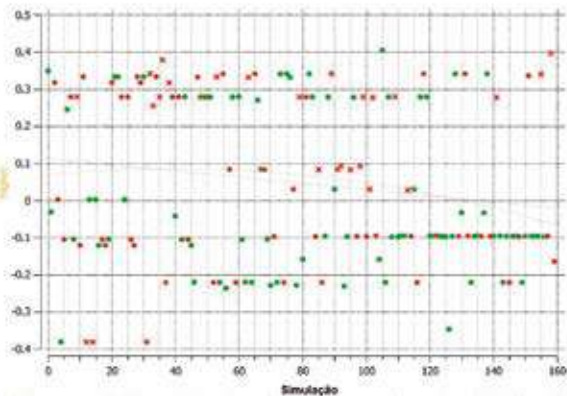


Figura 7: N^o da simulação x parâmetro “higher”
Fonte: Simulação – OP4, 2019.

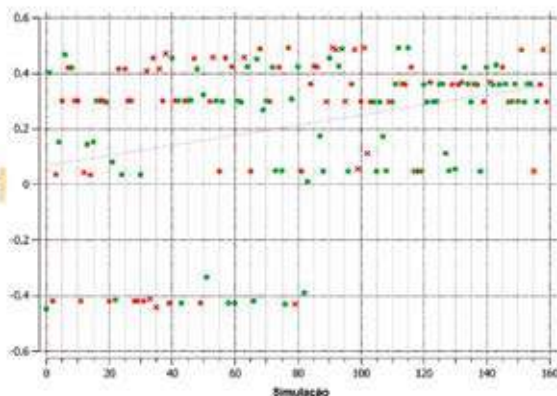


Figura 8: N^o da simulação x parâmetro “middle”
Fonte: OP4, 2019.

A convergência dos valores do parâmetro *higher* (Figura 7) ao longo da simulação se concentra em torno de dois eixos principais, 0,3 e -0,1, mas ao se aproximar dos últimos casos, a convergência mantém-se no sentido do eixo -0,1. Essa convergência em -0,1 ocorre possivelmente pelo aparecimento de vários cascos que resultaram em falha de simulação ao redor do valor 0,3, provavelmente pela combinação com outros valores próximos ao limite dos outros parâmetros, resultando em descontinuidades nos cascos.

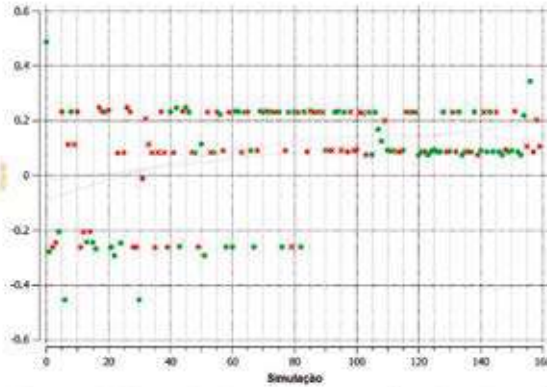


Figura 9: Nº da simulação x parâmetro “lower”
Fonte: OP4, 2019.

Os valores do parâmetro *middle* (Figura 8) começam de forma dispersa, com algumas simulações falhas acima do valor de 0,4, provavelmente por violarem a restrição de deslocamento com valores elevados. Entretanto, a simulação converge em direção a este valor no final. Os valores do parâmetro *lower* (Figura 9) apresentaram principalmente uma alternância entre 0,1 e 0,2 durante toda a simulação, indicando que não houve convergência a um único valor para este parâmetro.

4.3.2. Segunda simulação – OP6

No estudo OP6 foram simulados um total de 479 cascos, sendo que 164 destes violaram as restrições (pontos vermelhos nas figuras a seguir) ou não atingiram a convergência do cálculo potencial, resultando em falha (xis vermelhos). O estudo total durou cerca de quinze horas. As Figuras de 10 a 13 ilustram as tendências de convergência de alguns dos parâmetros.

Os valores de Hr1 (Figura 10) apresentaram uma grande dispersão no início da simulação, posteriormente estabilizando em torno do eixo zero. Ao final da simulação, a tendência muda para valores inferiores e se mantém até o final, indicando que a convergência não foi atingida para esse parâmetro. Visto que para

Hr3 (Figura 11), ocorre um princípio de convergência em torno do valor -0,2, mas a grande maioria dos resultados se situam no eixo de 0,1 no restante da simulação, indicando uma rápida convergência.

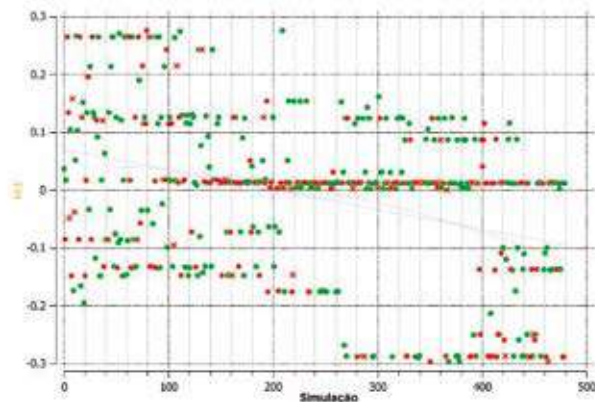


Figura 10: N^o da simulação x parâmetro Hr1
Fonte: OP4, 2019.

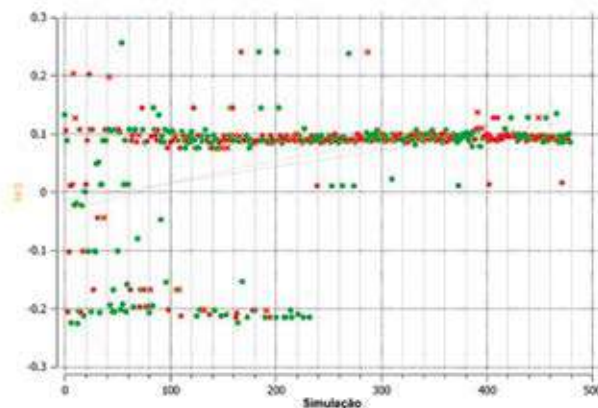


Figura 11: N^o da simulação x parâmetro Hr3
Fonte: OP4, 2019.

Em Md2 (Figura 12), a linha de tendência permanece próxima do principal eixo, entre 0 e -0,1, mas devido ao aparecimento de outros eixos de valores superiores e inferiores em diferentes seções da otimização. Para uma convergência mais conclusiva é recomendada a simulação de mais casos. Para Lw5 (Figura 13), a maioria dos casos se estabilizam em dois valores espelhados desde o início da simulação, em torno de -0,15 e 0,15, apesar do eixo inferior apresentar menos casos de falhas de simulações e restrições desrespeitadas.

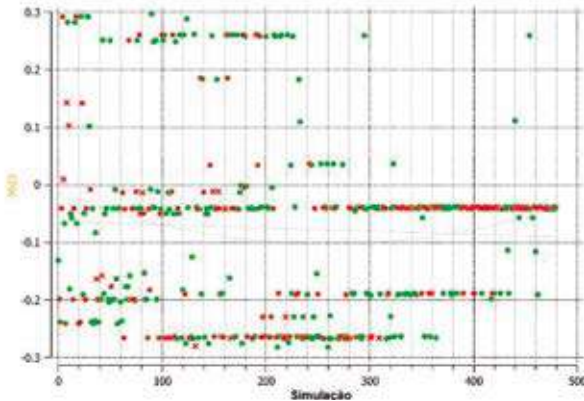


Figura 12: N^o da simulação x parâmetro Md2
Fonte: OP4, 2019.

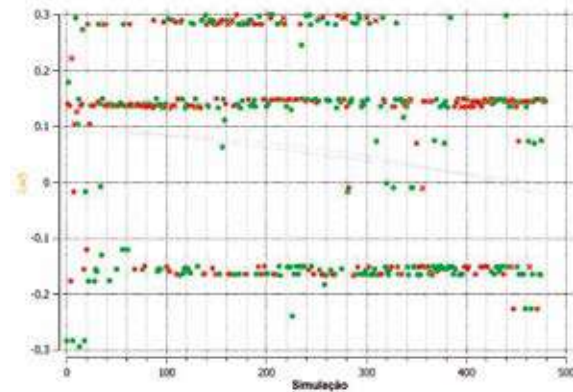


Figura 13: N^o simulação x parâmetro LWS LW5
Fonte: OP4, 2019.

Como este ponto está localizado na parte mais baixa analisada, próximo da roda de proa, hidrodinamicamente faz sentido que os melhores resultados estejam na parte inferior, de forma a afilar a proa e facilitar o escoamento. Visto que para os valores superiores, uma explicação seria a combinação com outros valores de pontos subsequentes que, mesmo aumentando a área de contato inicial e aumentando a resistência friccional, ocorreria um efeito de cancelamento de ondas similar a um bulbo (no caso de um regime de deslocamento).

4.3.3. Discussão dos cascos ótimos

Nesta seção serão apresentados os cascos que apresentaram a maior redução dos coeficientes de onda em cada estudo, assim como a comparação com o casco original e a discussão das tendências geométricas observadas.

Na simulação OP4, o casco que apresentou a maior redução dos coeficientes de onda foi o modelo des0013, representado em *offsets*, em comparação com o casco da LE-M na Figura 14.

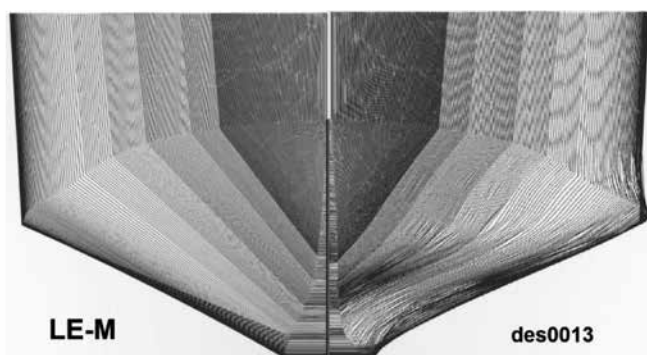


Figura 14: Vista frontal dos *offsets* de proa da LE-M, à BE, e da des0013, à BB
Fonte: Maia e Said, 2019.

Na simulação OP6, o casco candidato que apresentou a maior redução dos coeficientes de onda foi o modelo des0371, representado em *offsets*, em comparação com o casco da LE-M na Figura 15.

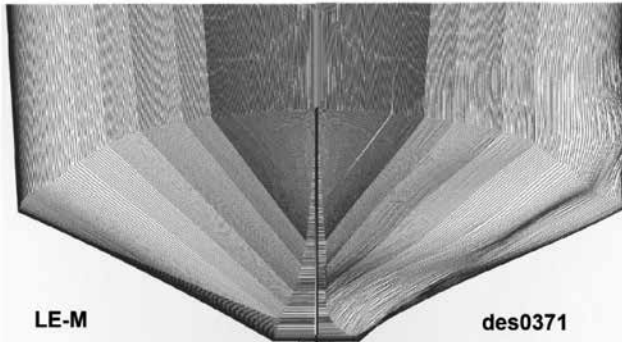


Figura 15: Vista frontal dos *offsets* de proa da LE-M, à BE, e da des0371, à BB
Fonte: Maia e Said, 2019.

Pode-se perceber em ambos os cascos a tendência à concavidade do fundo, de forma a facilitar o escoamento de entrada do fluido e uniformizar os gradientes de pressão nesta área, teoricamente reduzindo as parcelas de resistência de ondas e de pressão viscosa da resistência total ao avanço. Consequentemente esta tendência observada acaba por atenuar as formas “cheias” da proa da embarcação, característica típica de um casco de deslocamento, previamente indicada como uma das principais causas da elevada resistência residual da LE-M, cuja redução foi tratada como função-objetivo nos presentes estudos de otimização. Apesar desta tendência ter sido esperada, ela não ocorreu de forma tão expressiva, indicando que um próximo estudo pode ser realizado com foco nos parâmetros e intervalos que se mostraram mais influentes em relação à ocorrência deste efeito. A Figura 16 ilustra essa tendência.



Figura 16: Tendência à concavidade do fundo nos *designs*
Fonte: Maia e Said, 2019.

Após a seleção dos cascos des0013 e des0371, foi realizada a simulação pelo esquema de separação zonal do escoamento com as configurações e parâmetros discutidos na seção 3.1, de forma a serem comparados os resultados de resistência e perfil de ondas com os dados da LE-M obtidos por Maia e Said (2019). Estes resultados são ilustrados na Tabela 4 e nas Figuras 17 e 18.

Tabela 4: Valores de resistência da LE-M, des0013 e des0371

	LE-M	DES0013	DES0371
Área molhada, S (m ²):	0,311	0,323	0,317
Coef. de resist. friccional, C_F :	0,001423	0,00149	0,001812
Coef. de resist. de pressão viscosa, C_V :	0,01567	0,01319	0,01341
Coef. de resist. de ondas, C_W :	0,01788	0,01783	0,01735
Coef. de resist. total, C_T :	0,03497	0,03251	0,03257
Redução em C_T :	-	3,35%	5,00%

Fonte: Autor, 2019.

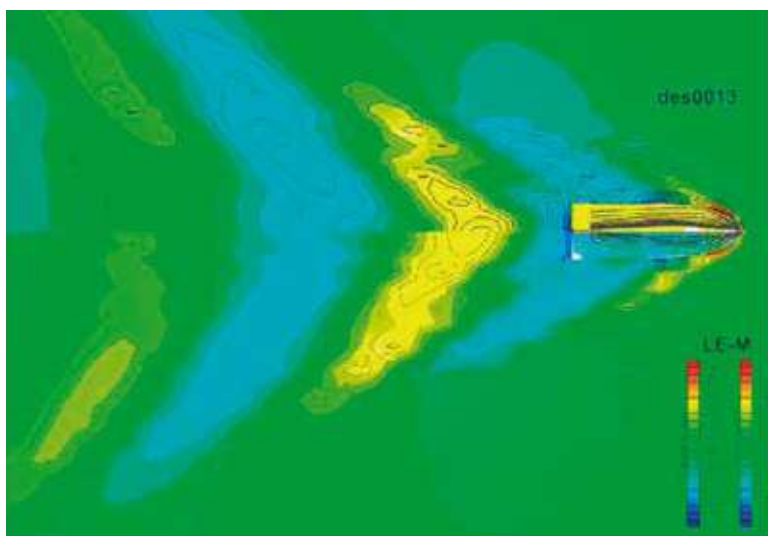


Figura 17: Vista superior, comparação dos perfis de onda e distribuição de pressões ao longo do casco da LE-M e des0013

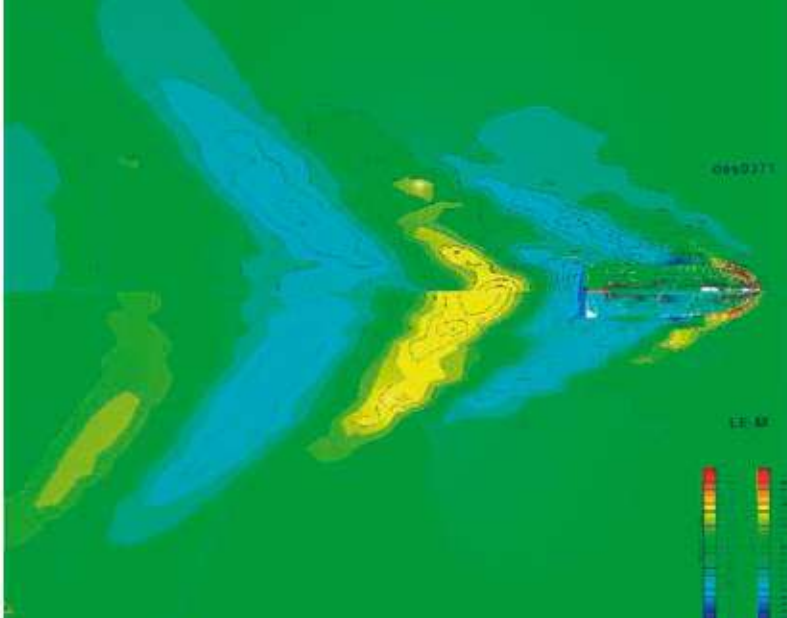


Figura 18: Vista superior, comparação dos perfis de onda e distribuição de pressões ao longo do casco da LE-M e des0371

Pode-se observar o aumento da área molhada, S , em ambos os designs, e conseqüentemente o aumento do coeficiente de resistência friccional, C_f . Apesar do aumento mais acentuado de S no casco des0013, houve um maior acréscimo em C_f no casco des0371, possivelmente pelo surgimento de uma protuberância, ou descontinuidade positiva nas linhas do casco acima da quina, na altura e linha dos pontos Hr1 e Hr2, e de um cavado, ou descontinuidade negativa abaixo da quina, na altura e linha do ponto Md2. Ao analisar os gráficos de convergência de alguns destes pontos, ilustrados nas Figuras - 10 e 12, percebemos que a convergência dos mesmos não foi atingida ao final da simulação, ficando aos valores “presos” em dois ou mais eixos. Ao realizar uma posterior análise de convergência destes pontos com um maior tempo computacional, é de se esperar que estas descontinuidades nas linhas sejam atenuadas e os valores de resistência apresentem uma redução ainda maior.

Como esperado pela observação da tendência à concavidade, houve a redução do coeficiente de resistência residual, sendo aqui discriminado nos coeficientes de resistência de pressão viscosa, $C_{v'}$, e de ondas, $C_{w'}$, em ambos os casos (lembrando que ambos os coeficientes de resistência de ondas analisados na otimização, C_{wp} e $C_{wp\ trans}$, estão embutidos em $C_{w'}$). Mesmo com o aparecimento das referidas discontinuidades, a redução da resistência residual foi mais acentuada no casco des0371, possivelmente pela maior concavidade na parte inferior do casco (em relação com o casco des0013), região onde há uma maior concentração de linhas de fluxo do escoamento, não sendo afetadas majoritariamente pelas discontinuidades. Ao analisar os perfis de ondas, notar-se a redução da amplitude e da emissão de ondas divergentes e convergentes, sendo esse efeito mais pronunciado no des0371.

Feitas as devidas considerações sobre os resultados, observa-se que o casco des0371 apresentou uma redução na resistência total de 5,00%, enquanto o casco des0013 aparece uma redução de 3,35%. Essa diferença pode ser explicada pelas configurações de cada estudo, onde no estudo OP6 o número de cascos analisados foi três vezes maior que no OP4, além do número de parâmetros considerados ter sido cinco vezes maior.

Ainda que ambos os estudos tenham apresentado reduções na resistência total, como esperado, estes valores podem ser aprimorados com a realização um estudo adicional com um maior número de casos e/ou modificação de intervalos de variáveis, de forma que a convergência dos parâmetros que apresentaram oscilação seja atingida.

5. CONCLUSÕES

Baseando-se nas simulações de uma série de velocidades da LE-M realizados por Mais e Said (2019), o escoamento ao redor do casco pôde ser analisado, e então parâmetros do casco influentes nas características hidrodinâmicas do mesmo foram definidos. Com base nesses parâmetros, estudos de otimização foram conduzidos na plataforma CAESES, utilizando o algoritmo genético NSGA-II, de forma a atingir a redução do coeficiente de resistência de

ondas através da configuração dos coeficientes C_{wp} e $C_{wp\ trans}$ como parâmetros-objetivo. Após diversas configurações de variáveis da otimização, foi atingida uma redução máxima de 5,00% na resistência total da LE-M, resultado que atesta que os objetivos propostos neste trabalho foram atingidos.

Na validação por comparação com os dados experimentais, por estimativa de potência, também houve concordância entre os resultados, mas a mesma não pôde ser dita conclusiva pela quantidade de dados experimentais disponíveis não ser suficiente para a construção de uma curva característica experimental da LE-M.

Após a análise das tendências de modificação geométrica do casco nos estudos de otimização, infere-se que este valor de redução pode ser aprimorado com a realização de estudos adicionais, com um maior número de casos e modificação de intervalos específicos de parâmetros que se mostraram influentes, mas não atingiram a convergência no presente estudo.

Agradecimentos

Este trabalho foi subsidiado pela Fapespa (Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas), bem como pelas companhias FRIENDSHIP SYSTEMS e FLOWTECH International AB.

REFERÊNCIAS

- BAGHERI, H.; GHASSEMI, H. e DEHGHANIAN, A. (2014) *Optimizing the seakeeping performance of ship hull forms using genetic algorithm*. International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation (TransNav), e-ISSN: 2083-6481.
- COELHO, D. F. (2016). Avaliação do comportamento hidrodinâmico de uma lancha escolar utilizando CFD. *Monografia (Bacharelado)* 72 p. Belém. Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Faculdade de Engenharia Mecânica.
- EIBEN, A. E. e SMITH, J. E. (2003). *Introduction to evolutionary computing*. 1ª edição, Berlim: Springer.
- FUNDO NACIONAL PARA O DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO (2017). *Relatório de gestão*. 317 pp. Ministério da Educação. Brasília.

- HEIMANN, J. (2005). *CFD based optimization of the wave making characteristics of ship hulls*. Tese (Doutorado) 195 p. Berlim. Universidade Tecnológica de Berlim, Faculdade de Engenharia Mecânica e Sistemas de Transporte.
- IERVOLINO, L. A. (2015). Estudo da resistência ao avanço de uma embarcação de planeio de 20 pés: abordagem computacional baseada em CFD. *Monografia (Bacharelado)*. 88 p. Joinville. Universidade Federal de Santa Catarina.
- LARSSON, L. et al. (2017). *SHIPFLOW User's Manual, release 6.3*. 271 p. Gothenburg: FLOWTECH Int. AB.
- MAIA, H. W. S. e SAID, M. (2019). Analysis for Resistance Reduction of an Amazon School Boat through Hull Shape Modification Utilizing a CFD Tool. *Marine Technology Society Journal*, 4º quadrimestre, n. 53, p. 57-67.
- MOLLAND, A. F.; TURNROCK, S. R. e HUDSON, D. A. (2011). *Ship resistance and propulsion practical estimation of propulsive power*. 563 p. Cambridge: Cambridge University Press.
- PRANDTL, L. (1904). *Über Flüssigkeitsbewegung bei sehr kleiner Reibung*. In: *Verhandlungen 3. Int. Math. Kongr. Heidelberg*: Springer. p. 484-491.
- SHALLEN, S. V. (2016). Study of hydrodynamic flow around a vessel for powering and wave pattern. In: *International Conference on Emerging Trends in Engineering & Management (ICETEM)*, Ghaziabad: IOSR Journals, p. 42-48.
- VANGBO, P. (2011). *CFD in conceptual ship design*. Monografia (Mestrado). 86 p. Trondheim. Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Faculdade de Sistemas Marítimos.

Endereço para correspondência:

- (1) Maia, Harlysson Wheiny Silva. Rua Maranhão, 465, Centro – Imperatriz – MA. E-mail: harlysson_wheiny@hotmail.com;
 - (2) Said, Mounsif. E-mail: smounsif@ufpa.br;
- (1;2) Universidade Federal do Pará – UFPA/PPGENAV

REDE LOGÍSTICA DE GÁS NATURAL PARA ABASTECIMENTO DE EMBARCAÇÕES NA AMAZÔNIA BRASILEIRA

NATURAL GAS LOGISTICS NETWORK FOR SUPPLYING VESSELS IN THE BRAZILIAN AMAZON

AZEVEDO JUNIOR, P.C.¹; KUWAHARA, N.¹; MENDES A.B.²

(1) Universidade Federal do Amazonas;

(2) Universidade de São Paulo

RESUMO

Antes interpretada como uma alternativa do futuro, a utilização do gás natural liquefeito (GNL) como combustível em embarcações já é uma realidade no mundo e consolida-se cada vez mais como uma indústria em forte expansão. No Brasil, apesar dos obstáculos ainda existentes, as condições adequadas ao seu florescimento estão amadurecendo: preços favoráveis, disponibilidade crescente de gás natural, aumento da percepção pública dos impactos ambientais, das atividades de transporte, entre outros fatores. Este trabalho analisa aspectos técnicos, econômicos e regulatórios de sistemas de abastecimento de gás natural liquefeito de pequeno porte (GNL-PP) com foco em sua aplicação em navegação interior na Amazônia Brasileira. Em seguida, propõe um modelo conceitual e matemático para dimensionamento de uma rede logística para abastecimento de gás nos terminais de exportação de grãos do Arco Norte. Essa rede, formada por uma frota de balsas de armazenamento e abastecimento de GNL, foi otimizada para um conjunto de cenários e os resultados foram analisados à luz da minimização dos custos do sistema. A solução de menor custo resultou numa frota de 6 balsas operando com velocidade média de 10 nós, cada uma com capacidade de 400 m³.

Palavras-Chave: Otimização. Navegação Interior. Abastecimento de Embarcações. GNL de Pequeno Porte. Amazônia. Arco Norte.

ABSTRACT

Previously seen as an alternative of the future, the employment of liquefied natural gas (LNG) as ship fuel is already a reality worldwide and is consolidating itself as fast-growing industry. In Brazil, despite the remaining obstacles, the conditions for its flourishing are maturing: favorable prices, increasing natural gas availability, growth in the public perception of the transportation activities' environmental impacts, among other factors. This work analyzes technical, economical and regulatory aspects of Small Scale LNG (SSLNG), focusing on its application on inland shipping in the Brazilian Amazon. Further on, it proposes a conceptual and mathematical model for the sizing of a LNG bunkering logistics network deployed in the Northern Arc's grains export terminals. This network, made up of a storage and bunkering LNG barge fleet, was optimized for a set of scenarios and the results were analyzed in light of the minimization of the costs of the system. The solution with the smallest cost resulted in a fleet of 6 barges operating in an average speed of 10 knots, each with a capacity of 400 m³.

Keywords: Optimization. Inland Shipping. Ship Bunkering. Small Scale LNG. Amazon. Northern Arc.

1. INTRODUÇÃO

Historicamente, a propulsão de embarcações deu-se por meios sustentáveis: ora pelo esforço humano ao remar, ora pelo aproveitamento da energia dos ventos. Com a revolução industrial a energia propulsiva passou a ser fornecida por lenha, por carvão e, nos últimos 100 anos, por derivados de petróleo. Porém, com a crescente consciência ambiental nas sociedades, causada pela percepção das diversas formas de poluição e do aquecimento global, o mundo, hoje, se encontra num período de transição (MACLEAN *et al.*, 2016). Antes que novas soluções sustentáveis viáveis sejam encontradas, é preciso adotar fontes de energia que, embora ainda finitas e poluentes, possam reduzir o impacto ambiental do transporte marítimo e interior, a custos competitivos (THOMSON *et al.*, 2015 e XU *et al.*, 2015). Num futuro talvez um pouco distante,

as embarcações utilizarão instalações propulsoras mais eficientes e ambientalmente responsáveis, como energia solar, baterias elétricas e células de hidrogênio (ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING, 2013 e LLOYD'S REGISTER; UMAS, 2017). Até lá, é do interesse da sociedade uma redução da dependência das frações mais pesadas do petróleo, que poluem mais e competem com aplicações mais nobres, como a fabricação de materiais plásticos. Uma das fontes que tem, progressivamente, assumido esse papel, é o gás natural.

O gás natural é uma mistura de hidrocarbonetos leves com outras moléculas como dióxido de carbono, nitrogênio, hélio, entre outros (IMO, 2009). Entretanto, seu principal componente é sempre o metano, CH₄. Por ser o hidrocarboneto mais simples, é o que fornece a maior quantidade de energia por unidade de massa (WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, 2016). Essa eficiência energética é uma de suas propriedades mais atraentes. Há, porém, outras quatro razões para sua crescente adoção como combustível de transição: preços estruturalmente competitivos em relação aos derivados de petróleo; pressões mercadológicas e regulatórias pela adoção de combustíveis que gerem menos emissões de poluentes; amadurecimento do mercado de gás natural com o desenvolvimento de novas tecnologias para sua produção, transporte, armazenamento e consumo; e a sua crescente disponibilidade devido às descobertas de reservas gigantes nas mais diversas regiões do planeta (EL GOHARY; SEDDIEK, 2013; WANG; NOTTEBOOM, 2013 e WAN *et al.*, 2015).

Nesse contexto, um problema que emerge é como prover a infraestrutura adequada para o consumo mais amplo do gás natural em propulsão naval. Relativamente comum no desenvolvimento de infraestrutura, tal problema costuma ser ilustrado pelo “dilema do ovo e da galinha” (AHLFELDT *et al.*, 2014; GNANN *et al.*, 2015 e PETERS; WAINWRIGHT, 2017). No caso em estudo, é preciso fazer a pergunta: o que deve se desenvolver antes? A infraestrutura de abastecimento ou a demanda pelo combustível? Os governos e investidores receiam apostar somas vultosas de recursos em uma rede de abastecimento temendo não haver, no futuro, a demanda adequada pelo novo combustível. Os operadores logísticos, por outro lado, receiam investir em embarcações aptas a queimar o

novo combustível e, portanto, mais caras inicialmente, sem a garantia que haverá a infraestrutura para abastecê-las. O presente trabalho buscará contribuir com o suporte ao planejamento e dimensionamento da infraestrutura de transporte de gás natural em embarcações. Por associação a experiências internacionais (WAN *et al.*, 2015 e KHAN, 2017), entende-se que a demanda, potencialmente reprimida, florescerá em seguida.

No Brasil, o gás como combustível naval poderia ser usado em diferentes regiões. A navegação interior na Amazônia brasileira, porém, tem crescido sobremaneira em relevância na última década, especialmente devido ao chamado “Arco Norte”. (FOLHA DE S. PAULO, 2016 e PEREIRA, 2017). O Arco Norte é o conjunto de portos brasileiros responsáveis pelo escoamento de granéis sólidos e que se encontram acima do Paralelo 16° Sul.

Somando-se à navegação secular que tem se desenvolvido na região norte para o transporte de passageiros e das mais diversas cargas, o Arco Norte tem se tornado um relevante corredor de comércio exterior, com a exportação de grãos (especialmente soja e milho) e a importação de combustíveis e fertilizantes. Entre 2011 e 2016, a movimentação de soja no Arco Norte aumentou 88,5% e a de milho, 174,8% (ANTAQ, 2017). Além de terminais na região nordeste do Brasil (São Luís, Salvador e Ilhéus), fazem do arco os portos a serviço de navios de longo curso de Itacoatiara (AM), Santarém (PA), Barcarena (PA) e Santana (AP). Três portos de transbordo rodohidroviário (Estações de Transbordo de Carga, ETC's), localizados em afluentes do rio Amazonas, também estão incluídos no sistema: Porto Velho (RO), Miritituba (PA) e Marabá (PA). A navegação a partir de Marabá, no rio Tocantins, não foi incluída neste trabalho, por depender de vultosa obra a cargo do poder público ainda sem perspectiva de concretização: o derrocamento e a dragagem do Pedral do Lourenço (G1 PARÁ, 2017).

Assim, este trabalho objetiva formulação de modelo conceitual e matemático para o emprego do gás natural como combustível naval nas vias navegáveis interiores do Arco Norte: os rios Madeira, Tapajós e Amazonas. O modelo é uma variante do Problema de Roteirização (ou Roteamento) de Veículos

(PRV) e buscará otimizar a rede logística composta por balsas de abastecimento de gás natural liquefeito (GNL), como parte de um sistema de pequeno porte (GNL-PP). Para um conjunto de cenários, o modelo minimizará os custos e fornecerá em seguida um conjunto de dados que serão analisados comparativamente.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Gás Natural: propriedades

O gás natural possui características que o tornam bastante atrativo. Ele apresenta elevada temperatura de autoignição: 595 °C (MOKHATAB *et al.*, 2014). Como comparação, o diesel é de aproximadamente 210 °C. O gás natural praticamente não contém enxofre (portanto não emite gases SO_x). Sua combustão emite, em relação aos combustíveis tradicionais (HFO e MGO), aproximadamente 20-25% menos CO₂, 85-92% menos gases NO_x e 98-100% menos material particulado (STUER-LAURIDSEN, 2010; BIZI e TISCHER, 2012; EL GOHARY e SEDDIEK, 2013; TZANNATOS e NIKITAKOS, 2013; HARVEY GULF, 2017). A composição do gás natural varia de acordo com sua origem geológica e seu processamento, mas a mistura típica considerada pela Organização Marítima Internacional (International Maritime Organization, IMO) evidencia que seu conteúdo é principalmente metano, com 94% em massa (IMO, 2009). Na Amazônia brasileira, hoje há apenas disponibilidade de gás natural a partir da produção de campos em terra na Bacia de Urucu, com posterior transporte por gasoduto até Manaus, no Amazonas. A composição do gás natural da Bacia de Urucu é um pouco mais pobre, com maior concentração de Nitrogênio (~14%) e menor concentração de metano (~74%).

Por ser majoritariamente composto por metano, uma molécula simples, o gás natural queima de maneira bastante eficiente, tanto do ponto de vista econômico como ambiental. Seu armazenamento e distribuição ocorre de duas maneiras: gás natural comprimido (GNC) e gás natural liquefeito (GNL). Também são bastante utilizados os acrônimos em inglês: CNG e

LNG, respectivamente. O GNC é processado em pressões entre 200 e 250 bar, necessitando, para isso, tanques e tubulação adequados a altas pressões. Já o GNL é processado em temperaturas bastante baixas (abaixo de -162 °C), exigindo, para isso, tanques e tubulação criogênicos (IOGP, 2013). As duas intervenções são necessárias pois a baixa densidade do gás natural (entre 0,7 e 0,8 kg/m³, dependendo da composição) faz com que seja necessário muito espaço para seu armazenamento à temperatura e pressão ambientes, quando se deseja obter a mesma energia equivalente de seus concorrentes, os combustíveis líquidos derivados de petróleo. Por isso, apesar de o gás ser transportado por gasodutos em pressões baixas e intermediárias, quando é considerada sua aplicação em veículos e embarcações (abastecimento e armazenamento), as únicas alternativas viáveis são por meio do GNC ou do GNL.

2.2. A inserção do gás natural na matriz de transportes

2.2.1 Gás natural como combustível

O gás natural possui múltiplas aplicações. É utilizado como matéria prima na indústria de fertilizantes e na indústria petroquímica na fabricação de polímeros; como fonte de calor em indústrias, estabelecimentos comerciais ou residências; como combustível para geração de energia termelétrica, entre outras aplicações. Neste trabalho, porém, o foco estará direcionado no estudo de seu uso como combustível em motores de equipamentos de transporte.

Os primeiros desenvolvimentos do uso do gás natural como combustível em transportes deu-se a partir da oportunidade surgida com o seu transporte a longas distâncias por navios e caminhões. Embora a forma mais eficiente de transportar o gás natural seja por gasodutos, para seu transporte entre continentes foram desenvolvidos navios tanque especializados (chamados de navios GNL ou metaneiros). Para o transporte dentro dos continentes a fim de vencer longas distâncias com esparsa infraestrutura, foram desenvolvidos caminhões tanque também especializados.

Nessas condições, em que o gás natural é transportado como carga, parte do GNL volta ao estado gasoso no interior dos tanques (esse gás é chamado de *boil off gas*), sendo então necessário abrir válvulas de escape, para que a pressão no interior dos tanques não ultrapasse os valores máximos permitidos. Uma forma alternativa de aproveitamento desse gás é justamente empregá-lo para propulsão e consumo de energia a bordo dos veículos e navios. Com o amadurecimento da tecnologia embarcada, passou a ser possível utilizar também o gás natural como combustível, independentemente da carga transportada. Nesse caso, o gás natural precisa ser armazenado em tanques segregados. O Brasil foi um dos pioneiros do desenvolvimento desse tipo de aplicação, com os veículos propelidos a gás natural comprimido, com a designação “gás natural veicular” (GNV). Com o tempo, porém, a liderança em veículos propelidos a gás (Natural Gas Vehicles, NGV’s) foi assumida por países asiáticos, com destaque para China, Irã e Paquistão, todos eles com frotas acima de 3,5 milhões de unidades. Ainda assim, há diversas barreiras para a adoção do GNV globalmente, por isso estudos têm buscado maneiras de viabilizar o GNV como política pública (KHAN, 2017 e OGUNLOWO; BRISTOW; SOHAIL, 2017).

Ainda que o uso do gás natural, como combustível em embarcações, não seja essencialmente novo – os primeiros metaneiros remontam aos anos 50 e o uso do gás natural para geração de energia a bordo de plataformas de petróleo em alto mar remonta aos anos 60 (PETROBRAS, 1991) – é a partir dos anos 2000 que tem ocorrido uma constante intensificação nas pesquisas e investimentos de mercado na área (BUREL *et al.*, 2013 e WANG; NOTTEBOOM, 2014).

É importante ressaltar também que o gás natural não é o único combustível alternativo ou método inovador para transporte atualmente em desenvolvimento no mundo. Do lado dos combustíveis, merecem destaque também o metanol, o etanol e o hidrogênio. Deniz e Zincir (2016) forneceram um estudo comparativo bastante completo desses combustíveis e do GNL, em oposição aos combustíveis marítimos usuais. Para além dos combustíveis, destacam-se embarcações já operacionais 100%

elétricas, seja com energia fotovoltaica gerada a bordo ou com carregamento de baterias (plug-in), como os ferries “Ampere” e “Elektra” (MARINE LOG, 2017).

2.2.2 Dinâmica de preços

O combustível é o maior componente dos custos de viagem de uma embarcação, e em média é possível considerá-lo como responsável ao redor de 30% dos custos operacionais totais das companhias de navegação (STOPFORD, 2009). Consequentemente, economias com combustível apresentam grande potencial de conferir vantagens competitivas aos armadores (BRETT, 2008).

Com o recente aumento da produção de gás natural na América do Norte, Rússia, África, Oriente Médio e Austrália, os preços desse combustível têm se mantido baixos, especialmente nos Estados Unidos. Entre 2007 e 2017, a produção norte-americana aumentou 44% e o preço caiu 52%, tendo ficado consistentemente abaixo de US\$5,00/MMBtu desde a crise de 2009. Esse aumento de produção tem mudado a dinâmica mundial do gás natural a tal ponto que os EUA já exportam gás até mesmo para o Oriente Médio (GCAPTAIN, 2017). Em novembro de 2017, o preço spot de referência Henry Hub oscilava ao redor de US\$3,00/MMBtu (U.S. EIA, 2017). O preço do gás natural, porém, não pode ser analisado isoladamente. Seus principais concorrentes são o carvão e os derivados de petróleo para a geração de energia elétrica. Para o emprego como combustível em propulsão naval, ele concorre, principalmente, com os óleos combustíveis marítimos (IFO e HFO) e os gasóleos (MGO ou diesel marítimo) (MAXWELL e ZHU, 2011).

Como todos eles são derivados do petróleo, pode ser verificada a atratividade do gás natural comparando seus preços com o petróleo, para um mesmo conteúdo de energia, dado em Unidades Térmicas Britânicas (British Thermal Units, Btu's). Em novembro de 2017, o preço de referência norte-americano do petróleo (WTI) estava em aproximadamente US\$10,50/MMBtu, aproximadamente 250% acima do preço do gás natural. Na Europa o gás natural também tem sido competitivo. Por exemplo, na região do Mar do Norte,

mesmo aplicações não convencionais como navios transportadores de CO₂ são viáveis usando GNL ao invés de MGO, contanto que o preço do petróleo esteja cima de US\$50 (YOO, 2017).

Na Ásia, a importação de gás natural tem crescido de maneira consistente nos últimos anos. O Japão, que desligou todas as suas usinas nucleares após o desastre de Fukushima de 2011, viu suas importações de GNL aumentarem mais de 25% em de 2010 a 2014 (STILES, 2016). Com isso, o país se tornou o maior importador mundial de GNL, sendo responsável por 1/3 das importações do planeta (BP, 2017), num total de 85 milhões de toneladas em 2015. No mesmo período, os preços pagos pelo Japão subiram de US\$10,00/MMBtu para US\$15,00/MMBtu. Após a baixa de preços causada pelo religamento de algumas usinas nucleares, o preço pago pelos importadores japoneses tem oscilado entre US\$6,00/MMBtu e US\$9,00/MMBtu (HELLENIC SHIPPING, 2017). Essa realidade de preços internacional, em que se nota uma sustentada competitividade do gás natural em relação aos outros combustíveis fósseis, tem provocado grandes transformações no uso do gás natural como combustível embarcado, tanto em veículos como em embarcações.

No Brasil, a dinâmica de preços é diferente. Como a Petrobras ainda detém um monopólio de fato da logística do gás natural, sua política de preços determina os preços do mercado. A Petrobras e suas subsidiárias controlam toda a infraestrutura de importação de gás natural do país: os três terminais de regaseificação de GNL (localizados na Baía de Guanabara, na Baía de Todos os Santos e no Porto de Pecém) e o gasoduto Bolívia – Brasil (Gasbol). Além disso, também está sob seu domínio a rede de gasodutos de interligação do país e suas conexões com os campos produtores em alto mar. Por isso, os preços aos consumidores finais, sejam eles pessoas físicas ou jurídicas, é determinado principalmente por contratos de longo prazo firmados entre a Petrobras e as distribuidoras locais de gás natural, que frequentemente têm a própria Petrobras como sócia. Por exemplo, no Amazonas, apesar do gás ser competitivo em relação ao diesel vendido localmente, seu preço está muito acima das referências internacionais.

Com isso, a competitividade global da cadeia brasileira de gás natural como combustível fica prejudicada. Apesar dos desequilíbrios de preços no Brasil, entendemos que os fundamentos de longo prazo para o desenvolvimento do setor estão disponíveis, pois a produção nacional é crescente, com perspectiva de disponibilidade de grandes excedentes de gás a partir do pré-sal, bem como as recentes mudanças estratégicas na Petrobras, no sentido de aliar seus preços aos benchmarks internacionais, ao invés de eles serem usados por seu controlador, o Governo Federal, como instrumento de controle da inflação. Além disso, a crescente abertura do setor de petróleo e gás no Brasil provê um contexto favorável ao investimento privado, podendo resultar em novos concorrentes no abastecimento e distribuição de gás no Brasil (PORTOS E NAVIOS, 2017). Um exemplo representativo é o da Centrais Elétricas de Sergipe (Celse), que constrói complexo termelétrico de 1.500 MW com terminal de regaseificação flutuante (FSRU) integrado. Será o primeiro do país sem participação da Petrobras. Outras iniciativas semelhantes estão com estudos em diferentes estágios. Um mercado mais competitivo para o gás natural é favorável para o cenário de preços no longo prazo, com reflexos potencialmente positivos no desenvolvimento de seu emprego como combustível de veículos e embarcações.

2.3. Análise do cenário nacional

No Brasil, o gás natural comprimido vem sendo usado desde os anos 70 como combustível veicular (BRASIL ENERGIA, 2015), sob o nome de Gás Natural Veicular (GNV). Em propulsão naval, seu uso ainda não foi disseminado, por razões regulatórias, técnicas, econômicas e logísticas (HAÏDAR, 2015).

As limitações regulatórias estão relacionadas à ausência de normas incorporadas à legislação brasileira que regulamentem a instalação de sistemas de propulsão naval que utilizem o gás natural como combustível. De fato, o emprego desse combustível é proibido na navegação interior pela Diretoria de Portos e Costas (DPC) da Marinha do Brasil, de acordo com a NORMAM-02/2005,

pois apresenta ponto de fulgor abaixo de 60 °C. É preciso atualizar tanto a NORMAM-02 como sua correlata para navegação em mar aberto (NORMAM-01), incluindo capítulos que viabilizem o uso do gás natural e de outros combustíveis de baixo ponto de fulgor. Para tanto, caberia uma verificação e revisão das normas brasileiras relacionadas (instalações mecânicas, instalações de GNV, motores para geração termelétrica, etc.), a fim de acomodar a nova realidade do gás natural como combustível embarcado. Além disso, as principais Sociedades Classificadoras do mundo já publicaram regras atualizadas para embarcações propelidas a gás natural (BUREAU VERITAS, 2011 e AMERICAN BUREAU OF SHIPPING, 2011). Deve-se destacar também uma lista de normas pertinentes (LNG SHIP FUEL SAFETY ADVISORY GROUP, 2013), recentemente catalogadas pela SIGTTO (The Society of International Gas Carrier and Terminal Operators) e pela SGMF (The Society for Gas as a Marine Fuel).

Apesar do IGF Code ter sido publicado em 2015 e antes dele já haver as Diretrizes Provisórias de 2009 (IMO, 2009 e IMO, 2015), não há indicação ainda de que o código internacional será incorporado às Normas da Autoridade Marítima brasileira. Além disso, não há no Brasil ainda limites de emissões semelhantes àqueles adotados por diversos países, como aqueles que estabeleceram ECA's. Até mesmo a aplicabilidade dos limites de enxofre de 2020 da IMO nas Águas Jurisdicionais Brasileiras (AJB) segue incerta. Não há normas da Marinha do Brasil, IBAMA, ANTAQ ou ANP impondo limites de emissões especificamente para embarcações. Sem a intervenção regulatória, o desenvolvimento do gás natural como combustível tenderá a ser muito mais lento. O exemplo mais eloquente é da Noruega, que ao implementar uma taxa sobre os NOx, acabou fomentando de forma pioneira o desenvolvimento de uma indústria de equipamentos e serviços que hoje é líder no setor de abastecimento com gás natural. Uma das necessidades do setor no Brasil é, portanto, absorver o conjunto citado de normas e experiências operacionais internacionais e articulá-los com a realidade regional, redigindo assim normas atualizadas autóctones. Ao menos algum avanço já tem ocorrido do ponto de vista

regulatório. A ANP, nos últimos anos, publicou resoluções (ANP, 2008 e ANP, 2015) que regulamentam instalações de gás natural para veículos e produção de energia, bem como a própria produção do gás a partir de fontes renováveis (o chamado biometano). Por ter potencial de gerar gás natural em regiões próximas do consumo, o biometano tem potencial de impactar positivamente o mercado de gás natural em embarcações, mas ainda apenas num cenário de longo prazo.

As limitações técnicas dizem respeito especialmente aos tanques de armazenamento do gás natural, a certas condições operacionais e à escassez de motores capazes de queimar gás. Esses desafios não se restringem apenas ao Brasil.

As limitações econômicas dizem respeito ao preço do gás natural no Brasil, que não acompanha diretamente o preço internacional e está sujeito a um monopólio logístico, pois todos os gasodutos do país são controlados pela Petrobras, como já citado anteriormente. No Brasil, porém, o intervencionismo estatal tem criado dificuldades para o avanço no setor de gás natural. Entretanto, como, especificamente, no Amazonas os preços de todos os combustíveis são bastante elevados, o preço e a alta disponibilidade do gás natural fazem que ele seja competitivo, especialmente quando comparado ao diesel.

Finalmente, limitações logísticas também têm atrasado o desenvolvimento do gás natural na navegação amazônica. Essas limitações dizem respeito à indisponibilidade de sistemas de abastecimento de gás natural para as embarcações, o que de certa forma é um fenômeno global, pois essa é uma indústria consideravelmente nova. Potenciais investidores não constroem a infraestrutura, pois ainda não há embarcações que disponham de equipamentos para processar o gás natural (motores, tanques, tubulação, etc.). Já os armadores hesitam em investir nas embarcações, pois não há infraestrutura. Ou seja, um clássico já mencionado impasse do tipo “quem vem primeiro: o ovo ou a galinha”? Assim como ocorreu na adoção de novos combustíveis no passado (como na transição do carvão para os derivados de petróleo e agora na transição para veículos elétricos), são

necessárias iniciativas coordenadas tanto para disponibilizar equipamentos e embarcações adequadas, como também para prover a infraestrutura logística.

Apesar de todas as limitações descritas pode-se destacar duas iniciativas que nos últimos 10 anos buscaram aplicar o gás natural como combustível marítimo no Brasil. A primeira experiência foi o ferryboat “Ivete Sangalo”, lançado em agosto de 2008 pela TWB Construção Naval de Santa Catarina para operação na travessia Salvador – Itaparica, na Bahia (REVISTA ELO, 2008 e G1 RIO, 2008). O ferryboat foi equipado com quatro motores Caterpillar de 600 HP cada um, todos bicom bustíveis diesel-gás natural. Além do fabricante de motores por meio de seu representante (Sotreq), foram envolvidos no projeto também a DNV, a Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), a Petrobras e a Bahiagás. O gás era armazenado a bordo na forma de CNG. Porém, devido a problemas com a disponibilidade de fornecimento do gás, o sistema acabou não sendo utilizado e a embarcação tem sido operada com diesel.

A segunda experiência ocorreu entre 2014 e 2015, quando a Transportes Bertolini Ltda. converteu para testes o empurrador fluvial “Bertolini LXXVI” para propulsão também dual-fuel. A responsabilidade da execução foi contratada à Bertolini Construção Naval (Beconal), de Manaus (AM) e coordenada pelo Engenheiro Naval Paulo Cezar Azevedo Junior, sob o comando da gerência industrial. O empurrador teve seu motor Cummins de 600 HP convertido para operação diesel-gás, com a participação das companhias Convergás, Bosch Engineering, Ecometano/CDGN, Cigás e supervisão da Diretoria de Portos e Costas da Marinha do Brasil. Por não haver espaço a bordo, para armazenamento do GNC foram usadas duas carretas de 5.000 Nm³ de gás natural, posicionadas sobre o convés da balsa carreteira (deck). O conjunto empurrador – balsa normalmente opera com 35 carretas, mas para a viagem de teste entre Manaus e Belém, dois slots foram ocupados pelas carretas. Os testes foram bem-sucedidos tecnicamente, tendo sido obtida taxa de substituição semelhante à experiência do “Ivete Sangalo” 6 anos antes e semelhante à prática usual do mercado: 70% gás natural e 30% diesel.

Em relação à segunda experiência, não houve à época viabilidade econômica para o prosseguimento dos estudos, que poderiam incluir embarcações novas GNC ou GNL. Entre outros motivos, um dos principais foi a falta de infraestrutura de pressurização do gás (até a pressão do GNC, 250 bar) ou liquefação (à -162 °C, no caso do GNL). Ou seja, não havia ainda a rede de abastecimento, que poderia incluir as plantas de GNC e/ou GNL, associados à terminais de atracação, caminhões ou balsas de abastecimento.

Cabe, portanto, a pergunta: por que os armadores da região norte ainda não estão investindo em embarcações propelidas a gás? A resposta só poderia ser dada com rigor a partir de pesquisa estruturada qualitativa com questionário a ser aplicado aos principais operadores da região e, por não ser parte do escopo deste trabalho, fica como sugestão de pesquisas futuras. Porém, como as duas experiências existentes até hoje no país mostram, certamente a falta de infraestrutura adequada de abastecimento é parte importante da razão. A menos que um armador grande o suficiente construa a infraestrutura por si próprio, ou organize consórcio de interessados, não haverá progressos substanciais. Se houver iniciativas além dos armadores, por empresas de distribuição de combustíveis, ou de serviços de *bunkering* ou de investimentos públicos, pode ser aberto um novo caminho. Finalmente, o Estado (em nível estadual ou federal) poderia fornecer subsídios para a construção de infraestrutura, de maneira semelhante ao que é feito em países como a Noruega e a Alemanha.

2.4. Demanda potencial na Amazônia Brasileira

Há mais de 25 anos existem planos para o emprego do gás natural na navegação amazônica, pois sempre foi evidente que as reservas de Urucu eram muito maiores que a capacidade local de consumo do gás. Um relatório interministerial (BRASIL, 1995) encomendado em 1995, primeiro ano do governo FHC, já apontava o emprego de balsas para transporte de gás natural liquefeito como solução promissora para sistemas elétricos

isolados, incluindo, à época, os estados de Amapá, Roraima, Rondônia e Acre. Posteriormente, outro trabalho bastante detalhado apontava as perspectivas de uso de GNL para abastecimento do parque termelétrico de cidades do interior da Amazônia (KUWAHARA, 1999).

Os setores potenciais de demanda na região amazônica para GNL transportado por embarcações são propulsão naval (navegação interior e mar aberto) e geração termelétrica de sistemas isolados. Excluem-se demanda de GNV, industrial, comercial e residencial de Manaus. Esses segmentos, chamados “não-térmicos”, correspondem somados, em novembro de 2017, a 2,5% do consumo de gás natural do Amazonas, o que significa 108.739 m³/dia em relação a 4.359.094 m³/dia (CIGÁS, 2017). Embora pequena, não é uma quantidade irrelevante, mas o suprimento é feito por gasodutos urbanos (industrial, comercial e residencial) ou postos de gasolina (GNV). Portanto, não há perspectiva para emprego do GNL. O mesmo se aplica ao segmento térmico já atendido por gasodutos: são 4 usinas no interior do Amazonas (Anamã, Anori, Caapiranga e Codajás), 7 usinas operacionais em Manaus (Manauara, Tambaqui, Jaraqui, Aparecida, Mauá, Cristiano Rocha e Ponta Negra), e uma oitava (Mauá 3), que será a maior de todas, consumindo 2,3 milhões de m³ de gás para uma potência aproximada de 520 MW. Ainda sem Mauá operando a pleno vapor, essas usinas são responsáveis por 97,5% da demanda atual, porcentagem que deverá subir.

A demanda tradicional por combustíveis navais na navegação fluvial da Bacia Amazônia se concentra nos rios mais populosos: Negro, Solimões, Madeira, Tapajós e Amazonas e, em menor escala, nos rios Juruá, Purus, Tocantins e Xingu. O transporte de distribuição de combustíveis e demais granéis líquidos possui grande relevância, com origem na Refinaria de Manaus e destino em praticamente para toda a região norte. Há, também, um fluxo considerável de comboios de carga geral entre Belém e Manaus por comboios de uma ou duas balsas (ro-ro caboclo).

O transporte regional, formado principalmente por embarcações mistas de carga e passageiros e ferryboats (de

travessia ou de viagens longas), mereceria atenção para sua potencial demanda de gás natural no futuro, possivelmente GNC. A navegação de cabotagem e de longo curso demanda uma quantidade muito grande de combustível, mas a adoção de GNL em portos da região norte demandaria a disponibilidade de gás em outros pontos do Atlântico Sul, o que hoje não existe. De qualquer forma, recomenda-se a análise de demanda potencial para gás natural em outros terminais de exportação da Região Norte: Juruti, Porto Trombetas e Belém (Miramar), todos no Pará.

Finalmente, a geração termelétrica em sistemas isolados poderia representar uma demanda adicional interessante por GNL. Embora considerando pontos de demanda que hoje já são atendidos pelo gasoduto de Urucu e por conexões ao Sistema Interligado Nacional (SIN), o trabalho de Kuwahara (1999) chegou a uma perspectiva de demanda de 2,8 milhões de m³ de gás por dia. Uma atualização desse estudo poderá apontar volumes consideráveis ainda de demanda por GNL para geração de energia em sistemas isolados, possivelmente acima de 1 milhão de m³ de gás por dia. Pontos focais seriam os municípios da calha dos rios Madeira, Solimões e Juruá, distantes do linhão de Tucuruí e suas potenciais ampliações, e também distantes do gasoduto Urucu-Manaus.

Entretanto, uma mudança está em curso no eixo exportador do noroeste brasileiro que provocará um grande aumento na demanda por diesel (MGO), óleo pesado (HFO) e, potencialmente, por gás natural, no futuro. Há alguns anos tem sido desenvolvido o eixo da rodovia BR-364 em conjunto com o Rio Madeira para transportar granéis. Um dos operadores utiliza comboios fluviais para fazer o trajeto de Porto Velho (RO) até Itacoatiara (AM), enquanto outro operador faz o trajeto de Porto Velho a Santarém (PA). Além de um expressivo aumento de tráfego esperado para essa rota, a nova rota viabilizada pela rodovia BR-163 (Cuiabá-Santarém) operando em conjunto com o Rio Tapajós está provocando grande aumento na demanda por diesel e óleo pesado em embarcações no Pará, especialmente nas cidades de Itaituba, Santarém e Belém.

Não obstante a sobra de gás na região norte e a demanda em franco crescimento, o gás atualmente encontra-se disponível apenas em Manaus, ponto final do gasoduto de Urucu. Disponibilizar o gás em outras cidades dependeria de análises técnico-econômicas em relação ao sistema logístico de distribuição e abastecimento, pois serão necessários pesados consideráveis investimentos em terminais, estações de compressão (ou liquefação) e embarcações para transportar o gás (liquefeito ou comprimido). Toda essa infraestrutura logística ainda não existe, o que constitui uma séria restrição ao desenvolvimento do gás natural como combustível naval, mas ao mesmo tempo trata-se também de uma oportunidade para o mercado e para a academia.

O presente trabalho concentrou-se em avaliação dos comboios fluviais de transporte de granéis sólidos, em navegação interior. Esse é o mercado que mais cresce e que possui armadores com perfil mais voltado a clientes internacionais e usualmente mais exigentes. Ou seja, são armadores mais sujeitos ao comprometimento com um transporte mais sustentável e mais propensos a investir em soluções de maior complexidade, porém com potencial de retorno no médio e longo prazo. A demanda agregada da navegação, juntamente com os outros mercados descritos, poderia viabilizar plantas maiores de liquefação, que são muito sensíveis a economias de escala (MOKHATAB *et al.*, 2014).

2.5. Modelos Matemáticos de redes de distribuição

Deve-se atentar para a importância de se pesquisar ferramentas adequadas para o dimensionamento e otimização de sistemas de transporte complexos (FURTADO; KAWAMOTO, 1997 e SETTI; WIDMER, 1997), buscando maximizar o retorno obtido com os recursos escassos empregados. Para a resolução de redes de distribuição, como é o caso do problema em estudo, pode-se lançar mão de ferramentas de Pesquisa Operacional (TAHA, 2010 e ARENALES *et al.*, 2015). A sistemática para resolução de problemas desse tipo foi formalizada por Bertrand; Fransoo (2002).

O primeiro passo é a escolha de um Problema Real. Em seguida, ele deverá ser abstraído, com as devidas simplificações, premissas e hipóteses, na forma de um Modelo Conceitual. Posteriormente esse modelo será transformado num Modelo Matemático, usualmente na forma de um conjunto de variáveis de decisão, restrições e função objetivo. A função objetivo será então minimizada ou maximizada. Usando algum método ou algoritmo adequado, a solução será obtida e, dependendo da complexidade do problema, essa solução poderá resolver parcialmente ou até mesmo totalmente o problema real original. É preciso, também, verificar a aderência do modelo matemático com a realidade, no processo de validação. Além disso, a solução obtida retroalimenta o modelo conceitual, podendo resultar em alterações ou adaptações.

As análises de redes de distribuição de GNL tem assumido diferentes formas na literatura. Anderson, Salo; Fridell (2015) escolheram uma rede com um ator da cadeia de suprimento responsável pela liquefação em diferentes plantas, gestão dos estoques do GNL em cada uma delas, roteirização das embarcações de distribuição numa frota heterogênea e entregas aos consumidores finais. A rede pode ser modelada como um Problema de Estoque e Roteirização (Inventory Routing Problem, IRP), porém ela encerra uma considerável complexidade, aumentando o tempo computacional sobremaneira. Para um problema IRP semelhante, pode-se aplicar também heurísticas (STÅLHANE *et al.*, 2012). Uma abordagem diferente foi aplicada por Halvorsen-Weare; Fagerholt (2013). Nesse caso foi aplicado o modelo adequado ao Problema de Roteirização de Veículos (PRV), com as decisões de roteamento consistindo em quais embarcações devem servir quais cargas em qual sequência.

O cerne do problema elencado foi o dimensionamento da rede logística formada por uma certa quantidade de balsas de abastecimento de GNL. Buscou-se identificar a capacidade adequada da frota, a quantidade de embarcações empregadas na rede, a velocidade operacional e a rota que cada balsa realizará, minimizando os custos. Esse tipo de problema enquadrar-se

como variante do PRV (LAPORTE; OSMAN, 1995; BRÄYSY; GENDREAU, 2005-a; BRÄYSY; GENDREAU, 2005-b e CORDEAU *et al.*, 2006). Então o problema pode ser enquadrado como PRV multi-viagem (multi-trip) e sua abordagem envolveu solução de modelo de programação linear inteira mista.

Braekers *et al.* (2016) elaboraram uma revisão bastante detalhada da classificação dos tipos de PRV's e revisaram o estado da arte dos diferentes tratamentos do problema em 277 artigos recentes. Uma das conclusões mais relevantes foi a de que os pesquisadores, ao analisar PRV's, buscam variantes que incluam características e premissas da "vida real".

3. MODELAGEM DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE GNL

Apesar de o acesso por rodovia asfaltada estar disponível desde 1983, foram necessários alguns anos até a expansão da fronteira agrícola e o aparecimento de investidores dispostos a construir a infraestrutura de navegação necessária para a navegação graneleira no rio Madeira: portos e embarcações. A Hermasa, companhia de navegação do grupo Amaggi, iniciou, então, de forma pioneira, a navegação em 1997, com terminais em Porto Velho (RO) e Itacoatiara (AM). A partir do início dos anos 2000, seguiu-se a Transportes Bertolini, também operando no rio Madeira. Nos últimos 15 anos diversas iniciativas vieram em sequência: o porto da Cargill, em Santarém (inaugurado em 2003) e, nos últimos 5 anos, os investimentos no corredor Miritituba – Barcarena por novos entrantes: Unitapajós (joint-venture entre Bunge e Hermasa), Hidrovias do Brasil S.A. (HBSA), Cianport, Louis Dreyfus Commodities (LDC), Navegrãos e Caramuru. As origens, perfis corporativos e estratégias de investimento são diversos, mas todos eles buscam fornecer a seus clientes um custo de frete aproximadamente 30% mais barato em relação aos portos competidores do sul e sudeste: Santos (SP) e Paranaguá.

Tanto os novos como os tradicionais armadores operando no Arco Norte conceberam e encomendaram frotas propelidas a diesel marítimo (MDO) ou óleo pesado (HFO). Quase toda

a frota já está construída. A frota atual passa de 700 barcaças graneleiras, com capacidades de carga (TPB, toneladas de porte bruto ou DWT, deadweight) entre 1.800 e 3.400 toneladas. Os empurradores passam de 100, com potências entre 600 HP e 7.200 HP. Porém, como discutido anteriormente, o emprego do gás natural como combustível nessa frota pode fornecer ganhos relevantes, tanto ambientais como econômicos. Parte da frota poderia ser convertida para operação dual-fuel (diesel-GNL) e a outra parte poderia ser substituída, ao longo dos anos, por novos empurradores projetados desde sua concepção para operação dual-fuel. Mas será preciso dimensionar uma rede de abastecimento do gás para essa frota. É para contribuir com potenciais soluções para este principal problema que o presente trabalho foi elaborado.

A proposição esquemática da rede hidroviária para operacionalização com rede de GNL pode ser visualizada na Figura 1. Foram incluídas, apenas para facilitação do entendimento, a representação das áreas de produção atuais (sul de Rondônia, Mato Grosso, sul do Pará e MATOPIBA – sul do Maranhão e do Piauí, Tocantins, e oeste da Bahia) e das áreas atualmente em expansão: Amapá e Roraima. Os Terminais de Uso Privado tanto de Santana (AP) como de Itacoatiara (AM) já estão recebendo grãos diretamente por via rodoviária de suas zonas próximas de influência. O mesmo ocorre com os TUP's de Santarém e Barcarena: eles recebem não apenas as cargas de transbordo hidroviário, mas também diretamente por via rodoviária.

O modelo conceitual consiste na rede indicada na Figura 1, a qual apresenta 6 pontos de demanda do GNL, variando de D1 (Porto Velho) até D6 (Barcarena). O ponto O1 é o ponto de oferta de GNL, em Manaus. Os comboios graneleiros navegam nos rios indicados, mas a sua demanda por GNL será modelada por uma média diária, dada em m³ de GNL. Essa demanda será atendida por uma frota de balsas de abastecimento de GNL autopropelidas. Cada porto de demanda deverá ser coberto por no mínimo uma balsa. Quando que está servindo como estoque de GNL em

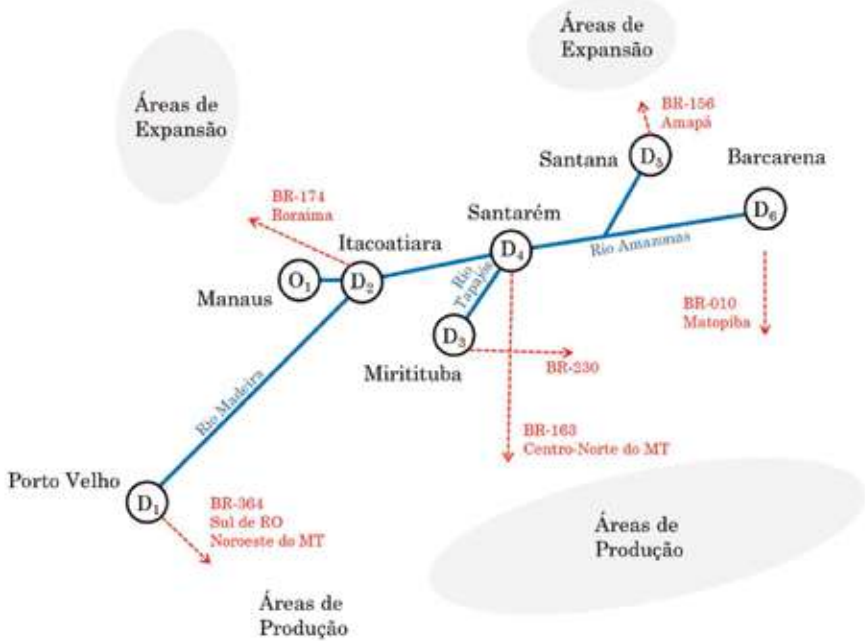


Figura 1: Modelo da rede de distribuição, incluindo acessos rodoviários

Fonte: Autores, 2019.

um dado porto esvaziar-se, deve haver outra imediatamente disponível para atender à demanda. O objetivo é chegar até uma rede composta por uma frota de balsas de capacidade, velocidade e quantidade adequada, com cada uma delas realizando o roteiro que minimiza os custos totais. O modelo elaborado apresenta os seguintes elementos para sua estruturação:

- *Conjuntos e índices*

- N Conjunto de portos, índices
- N^D Conjunto de nós de demanda da rede, índices e
- R Conjunto de viagens, índice
- V Conjunto de balsas, índice

Parâmetros

J_i	+1, se o porto for de suprimento, e -1 se o porto for de consumo
a_{pi}	Parâmetro binário que será 1 se o nó de demanda se refere ao porto i , e 0, em caso contrário
Cap_k	Capacidade da balsa (m ³ de GNL)
T_i^Q	Tempo para movimentação de um m ³ no nó (dias)
T	Horizonte de planejamento (dias)
R_i	Taxa diária de produção ($J_i=+1$), ou taxa diária de consumo ($J_i = -1$) do nó
TWa_i	Limite inferior da janela de tempo em que uma balsa deve chegar a um nó de demanda da rede
TWb_i	Limite superior da janela de tempo em que uma balsa deve chegar a um nó de demanda da rede
R_i	Taxa diária de produção ($=+1$), ou taxa diária de consumo ($J_i + -1$) do nó
T_{ijk}	Tempo de navegação entre os nós i e k com a balsa (dias)
C_{ijk}	Custo de navegação entre os nós i e k da rede com a balsa (R\$)
C_k	Custo de capital da balsa (R\$)

• Variáveis de decisão

X_{ijk}	Variável binária que será 1 se a balsa percorrer o arco na viagem, e 0, em caso contrário
Z_K	Variável binária que será 1 se a balsa for utilizada (incorporada à frota), e 0, em caso contrário
t_{ikr}	Variável contínua que registra o instante de início da operação no porto i pela balsa k na viagem r , e 0, em caso contrário
q_{ikr}	Variável contínua que registra o total carregado pela balsa visando abastecer o porto i na viagem r

• *Expressões*

$$\min C = \sum_k z_k C_k + \sum_i \sum_j \sum_k \sum_r C_{ijk}^N x_{ijkr} \quad \text{Eq. 0}$$

$$\sum_k \sum_r x_{0r,jkr} = 1 \quad \forall j \in N^D \quad \text{Eq. 01}$$

$$\sum_{j \in N^D \cup \{0_{r+1}\}} x_{0r,jkr} = 1 \quad \forall k \in V, \forall r \in R \quad \text{Eq. 02}$$

$$\sum_{j \in N^D \cup \{0_r\}} x_{j0_{r+1},kr} = 1 \quad \forall k \in V, \forall r \in R \quad \text{Eq. 03}$$

$$x_{0r,jkr} - x_{j0_{r+1},kr} = 0 \quad \forall j \in N^D, \forall k \in V, \forall r \in R \quad \text{Eq. 04}$$

$$t_{jkr} \geq TWa_1 x_{0r,jkr} \quad \forall j \in N^D, \forall k \in V, \forall r \in R \quad \text{Eq. 05}$$

$$t_{jkr} \leq TWb_1 x_{0r,jkr} \quad \forall j \in N^D, \forall k \in V, \forall r \in R \quad \text{Eq. 06}$$

$$t_{jkr} \geq t_{0_r,kr} + q_{jkr} T_{0_r}^Q + T_{ijk} - (1 - x_{0r,jkr})T \quad \forall j \in N^D, \forall k \in V, \forall r \in R \quad \text{Eq. 07}$$

$$q_{jkr} \leq Cap_k x_{0r,jkr} \quad \forall j \in N^D, \forall k \in V, \forall r \in R \quad \text{Eq. 08}$$

$$t_{0_{r+1},kr} \geq t_{jkr} + q_{jkr}/R_j + T_{j0_r,k} - (1 - x_{j0_{r+1},kr})T \quad \forall j \in N^D, \forall k \in V, \forall r \in R \quad \text{Eq. 09}$$

$$t_{0_{r+1},kr} \geq t_{0_r,kr} - (1 - x_{0_r,0_{r+1},kr})T \quad \forall k \in V, \forall r \in R \quad \text{Eq. 10}$$

$$t_{0_r,kr} \geq t_{0_r,kr-1} \quad \forall k \in V, \forall r \in R, r > 1 \quad \text{Eq. 11}$$

$$\sum_{j \in N^D} q_{jkr} a_{pj} \geq TR_j \quad \forall p \in P \quad \text{Eq. 12}$$

$$x_{0_{r+1}0_{r+2},kr+1} \geq x_{0_r,0_{r+1},kr} \quad \forall k \in V, \forall r \in R \quad \text{Eq. 13}$$

$$t_{jkr} + \frac{q_{jkr}}{R_j} \leq T \quad \forall j \in N^D, \forall k \in V, \forall r \in R \quad \text{Eq. 14}$$

$$z_k \geq \sum_{j \in N^D} x_{0r,jk1} \quad \forall k \in V \quad \text{Eq. 15}$$

$$q_{jkr} \geq 0, t_{jkr} \geq 0 \quad \forall j \in N^D, \forall k \in V, \forall r \in R \quad \text{Eq. 16}$$

$$x_{ijkr} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in N^D, \forall k \in V, \forall r \in R \quad \text{Eq. 17}$$

$$z_k \in \{0,1\} \quad \forall k \in V \quad \text{Eq. 18}$$

A expressão (0) é a função objetivo do problema e contempla a parcela de custo de capital da frota e a parcela de custo de navegação. A restrição (1) impõe que cada nó de demanda da rede seja visitado por uma balsa, em uma determinada viagem. A restrição (2) impõe que saia um arco do nó de origem, associado a uma nova viagem, e que tenha como destino algum nó de demanda,

ou o nó destino da viagem, indicando que a balsa não foi utilizada naquela viagem e nem será mais utilizada em viagens futuras. A restrição (3) opera de forma similar à restrição (2), e garante o mesmo balanço sob o ponto de vista do nó de destino, para onde deve convergir um arco, originado em um nó de demanda, ou originado no nó de origem daquela viagem.

A restrição (4) trata da equação de continuidade. Assim, um nó de demanda que recebe uma embarcação deve, ao final do período em que esta abasteceu as embarcações na região, enviar a embarcação de volta ao porto que irá abastecê-la novamente. A restrição (5) impõe um limite mínimo para a chegada da embarcação em um nó de demanda da rede, enquanto que a restrição (6) impõe um limite máximo para a chegada da embarcação em um nó de demanda da rede. A restrição (7) associa o instante de início da operação de abastecimento em um nó de demanda, ao instante em que a balsa iniciou o seu carregamento no porto de oferta, somado ao tempo em que permaneceu carregando e ao tempo de navegação para chegar ao nó de demanda. A restrição (8) limita o máximo que pode ser transportado por uma balsa em função de sua capacidade volumétrica. A restrição (9) é similar à restrição (7) e associa o instante de início da operação de carregamento em um porto de oferta, ao instante em que a balsa iniciou a sua operação no nó de demanda, somado ao tempo em que ali permaneceu e ao tempo de navegação até o porto de oferta. A restrição (10) calcula o instante de início de um nó de oferta, quando a balsa não realizou nenhuma viagem. A restrição serve para manter a coerência na contagem do tempo. Também para garantir a coerência e continuidade no tempo, a restrição (11) vincula o instante de início das atividades de um nó de origem de uma nova viagem ao instante atribuído a esta variável em sua viagem anterior.

A restrição (12) impõe que a demanda seja atendida. Isso é garantido somando a demanda entregue nos nós de demanda correspondentes a cada porto, e impondo que esta soma seja maior ou igual à taxa projetada de demanda de gás nos portos, pela extensão do período de planejamento. A restrição (13) tem por finalidade garantir a sequência correta das viagens. Por exemplo, seria indesejável que uma solução pulasse uma viagem antes de fazer uma próxima. Embora, sob o ponto de vista de uma solução

real, não haver diferença, matematicamente é mais interessante manter as viagens que são realizadas sequencialmente, que o sejam também observando o índice da viagem. A restrição (14) impõe que o atendimento da demanda esteja compreendido dentro do horizonte de planejamento. Isto permite, por exemplo, que uma operação que terminou próximo ao final do horizonte de planejamento, e cuja balsa irá retornar a um porto de oferta, que a chegada da balsa ocorra após o período de planejamento, mas a demanda terá sido integralmente atendida. A restrição (15) contabiliza quantas balsas foram usadas, ao contar quantas fizeram a sua primeira viagem a um nó de demanda. Por último, as restrições (16) a (18) definem o domínio das variáveis de decisão. Dois dos parâmetros mais importantes a serem introduzidos no modelo matemático são o custo de navegação entre os nós i e j da rede com a balsa GNL k (C_{ijkN}), dado em R\$, e o custo de capital da balsa GNL k , em R\$.

4. RESULTADOS E ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

O modelo foi então testado para 36 diferentes condições, com base na variação de 4 parâmetros, a saber:

- a) Quanto à fração da frota que adotará o GNL: o gás natural, sendo um combustível novo e de transição, dificilmente assumirá papel hegemônico na propulsão naval. Ele poderá ocupar um espaço crescente, mas é difícil prever em qual horizonte de tempo. Por isso, para a análise de sensibilidade, foram adotadas três faixas de adoção de GNL: 15, 35 e 55%. Em outras palavras, em cada um desses casos, o market share do GNL no mix de combustíveis foi aumentando, com a crescente redução no consumo de MGO e HFO;
- b) Quanto à velocidade de operação das balsas GNL: foram considerados os valores de 8 e 10 nós. Um aumento na velocidade de toda a frota de abastecimento poderá resultar num consumo maior de combustível, mas também poderá significar uma frota menor, pois os tempos de deslocamento caem e a capacidade de atendimento aumenta;

- c) Quanto à capacidade das balsas: como já mencionado anteriormente, a frota foi analisada para três capacidades: Balsas de 400 m³, 600 m³ e 800 m³; e
- d) Quanto aos portos de abastecimento: foram considerados dois casos. O primeiro significa a possibilidade de abastecimento dos empurradores em qualquer porto, alocando com isso parte da demanda nos terminais que se encontram nas extremidades da rede. Na prática, isso resulta em viagens mais longas para as balsas de abastecimento, num deslocamento que tende a ser desnecessário, pois a maior parte dos empurradores já é projetada com tanques de combustível grandes o suficiente para fazer mais de uma viagem redonda (ida e volta). Por isso, o segundo caso considera a desativação dos terminais de Porto Velho e de Miritituba como pontos de abastecimento de GNL, ficando a demanda concentrada nos terminais da calha do rio Amazonas. Uma vantagem potencial desse segundo caso é que, como a profundidade é menos restrita no rio Amazonas do que em seus afluentes, qualquer rede logística dimensionada poderá prever embarcações com maior calado.

Dos 36 casos, 9 não se mostraram viáveis, seja porque o lote de entrega estava incompatível com a embarcação, seja porque a embarcação era grande e lenta demais, não atendendo a alguma das restrições. A solução de menor custo foi a de 6 balsas navegando a 10 nós, cada uma com capacidade de 400 m³ e com 15% da demanda direcionada ao GNL. Essa é a rede que cumpre o objetivo geral do trabalho. Outra condição semelhante, com custo total aproximado ao anterior, mas com a diferença da frota navegar mais lentamente, foi a de 6 balsas navegando a 8 nós, cada uma com capacidade de 400 m³ e também com 15% da demanda direcionada ao GNL. O Quadro 1 apresenta a sintetização dos resultados obtidos nas simulações dos 36 casos avaliados.¹

#	Portos	Capac. Balsas GNL (m ³)	Veloc. (nós)	Nível Demanda (%)	Tempo de Proc. (s)	Custo Total (000 R\$)	Frota	Custo Frota (000 R\$)	Custo Navegação (000 R\$)	Distância Total (km)
1	TODOS	400	8	15	1	43.805,90	9	43.200,00	605,88	19.640
2	TODOS	400	8	35	300	49.000,70	10	48.000,00	1.000,73	32.440
3	TODOS	400	8	55						
4	TODOS	400	10	15	1	43.706,30	9	43.200,00	506,30	19.640
5	TODOS	400	10	35	12	44.044,90	9	43.200,00	844,88	32.440
6	TODOS	400	10	55	300	58.928,60	12	57.600,00	1.328,62	50.660
7	TODOS	600	8	15	1	50.869,50	7	50.400,00	469,48	15.220
8	TODOS	600	8	35	4	65.566,30	9	64.800,00	766,26	24.840
9	TODOS	600	8	55	15	80.298,80	11	79.200,00	1.098,79	35.620
10	TODOS	600	10	15	1	50.797,90	7	50.400,00	397,87	15.220
11	TODOS	600	10	35	2	65.446,20	9	64.800,00	646,16	24.840
12	TODOS	600	10	55	2	72.935,20	10	72.000,00	935,17	35.620
13	TODOS	800	8	15	0	57.971,40	6	57.600,00	371,41	12.040
14	TODOS	800	8	35	0	87.005,90	9	86.400,00	605,88	19.640
15	TODOS	800	8	55	6	96.938,40	10	96.000,00	938,41	30.420
16	TODOS	800	10	15	0	57.907,60	6	57.600,00	307,58	12.040
17	TODOS	800	10	35	1	86.906,30	9	86.400,00	506,30	19.640
18	TODOS	800	10	55	12	96.795,30	10	96.000,00	795,31	30.420
19	S/ PVHe MTT	400	8	15	0	29.329,20	6	28.800,00	529,20	17.160
20	S/ PVHe MTT	400	8	35	3	44.178,80	9	43.200,00	978,80	31.740
21	S/ PVHe MTT	400	8	55						
22	S/ PVHe MTT	400	10	15	0	29.270,00	6	28.800,00	470,02	17.160
23	S/ PVHe MTT	400	10	35	62	39.276,70	8	38.400,00	876,74	31.740
24	S/ PVHe MTT	400	10	55						
25	S/ PVHe MTT	600	8	15	0	43.631,10	6	43.200,00	431,14	13.980
26	S/ PVHe MTT	600	8	35						
27	S/ PVHe MTT	600	8	55						
28	S/ PVHe MTT	600	10	15	0	36.379,70	5	36.000,00	379,73	13.980
29	S/ PVHe MTT	600	10	35	28	58.296,20	8	57.600,00	696,17	25.380
30	S/ PVHe MTT	600	10	55						
31	S/ PVHe MTT	800	8	15	0	48.333,10	5	48.000,00	333,07	10.800
32	S/ PVHe MTT	800	8	35						
33	S/ PVHe MTT	800	8	55						
34	S/ PVHe MTT	800	10	15	0	48.289,40	5	48.000,00	289,44	10.800
35	S/ PVHe MTT	800	10	35	0	58.070,00	6	57.600,00	470,02	17.160
36	S/ PVHe MTT	800	10	55						

Quadro 1: Síntese de resultados.

Fonte: Autor, 2019.

Notou-se que de fato é vantajoso desativar o abastecimento em Porto Velho e Miritituba. O custo médio total dos casos viáveis com todos os portos (R\$65,2 milhões) é 33,31% mais alto do que o custo médio total dos casos viáveis sem os portos citados (R\$43,5 milhões). Quanto à capacidade das balsas GNL, notou-se baixa

competitividade das balsas maiores, de 800m³, pois se trata de capacidade excessiva em relação à demanda pelo gás. Caso haja maior demanda por GNL embarcado, especialmente num futuro em que navios de cabotagem e longo curso possam demandá-lo, o emprego por balsas de maior capacidade poderá ser justificado.

O nível de demanda mais vantajoso mostrou-se consistentemente como sendo o patamar de 15%, o que certamente correlaciona com o horizonte de planejamento de curto prazo adotado (30 dias). Em eventuais análises adicionais para prazos maiores, os custos de capital se diluem com o tempo. Conseqüentemente, a vantagem do baixo custo operacional do GNL aumentará. Tal fato ficou ainda mais claro que os custos de navegação representam no máximo 2,3% dos custos totais. Numa possível análise anualizada, certamente essa relação se aproxima de valores mais realistas e compatíveis com o *status quo* de operacionalidade das empresas de navegação. Quanto à velocidade, em todos os casos a velocidade mais alta resultou num desempenho melhor do sistema, ou pelo menos com um custo total praticamente inalterado.

Merece destaque, também, o fato de que a menor frota não resultou necessariamente em menores custos. Todos os três casos em que a frota especificada ficou em 5 balsas conduziram para custos totais superiores. Adicionalmente, as maiores frotas tampouco são as mais caras: os casos 15 e 18, que são os mais caros, atendiam a rede com uma frota de 10 balsas, duas a menos do que a maior frota obtida.

5. CONCLUSÕES E PROPOSIÇÕES

Conclui-se que o gás natural é um combustível com grande potencial para a aplicação na navegação brasileira, especialmente na Amazônia. Com sobra de oferta e uma grande e ainda crescente demanda potencial, o que falta é o provimento de infraestrutura, preços mais alinhados com as práticas internacionais e um arcabouço regulatório mais favorável. A introdução paulatina do GNL como combustível marítimo no cenário internacional tenderá, no longo prazo, a influenciar na melhora das condições para o

florescimento desse mercado também no Brasil. O gás pode ser cada vez mais identificado como uma excelente oportunidade ainda não aproveitada.

O modelo conceitual proposto foi capaz de aproximar o problema real, com o provimento de um conjunto de dados que ficarão disponíveis para os atores do setor. Porém, diversas premissas adotadas poderão ser alteradas, aumentando ainda mais a adesão do modelo à realidade. Como exemplos, pode-se citar a expansão do estudo de demanda para outros mercados além da navegação de comboios graneleiros, a consideração da sazonalidade da navegação, de maiores variações nas velocidades das embarcações e no estudo de cenários com mais pontos de oferta de gás na Região Norte. O modelo matemático foi capaz de produzir resultados coerentes e prover uma ferramenta útil no auxílio à decisão do planejamento, tanto da infraestrutura de transportes como potencialmente da programação de embarcações dentro da frota de balsas de abastecimento de um operador individual. O modelo poderá ser testado com mais casos no futuro e num horizonte de tempo mais amplo. Uma análise econômica mais detalhada também poderá se mostrar uma ferramenta poderosa em eventuais estudos de viabilidade e análise da tomada de decisão de investimentos.

A rede logística proposta significa uma quantidade de balsas que podem ser fabricadas na própria Região Norte, seja pelo tamanho, seja pela quantidade. O sistema seria potencialmente atrativo mesmo para uma baixa adoção do gás natural na matriz energética da navegação de comboios graneleiros. A absorção de 15% do volume total de combustíveis é uma quantidade que pode ser atingida num prazo menor, não precisando de décadas para se concretizar.

O tema da propulsão naval mais sustentável segue com diversas lacunas ainda a serem pesquisadas. O Brasil ainda precisa amadurecer leis, regras e normas para acomodar as mudanças que estão ocorrendo. Um entendimento mais aprofundado do impacto no desenvolvimento da sociedade da adoção de combustíveis mais limpos como o GNL ainda precisaria ser feito, incluindo impactos

ambientais no ambiente amazônico, quantidade de geração de empregos, potencial de geração de valor e desenvolvimento tecnológico, entre outros. Porém, uma das maiores lacunas permanece sendo o provimento de infraestrutura. Não apenas balsas de abastecimento precisariam ser construídas e operadas, mas também terminais de armazenamento e liquefação, terminais de compressão para disponibilização de CNG a aplicações de menor porte, terminais de transbordo, sistemas de recebimento de regaseificação, entre outros. Com o envolvimento de diferentes participantes da cadeia de valor do gás natural e a resolução das diferentes barreiras que ainda permanecem, a transição energética do futuro poderá se aproximar do presente.

REFERENCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (2008). Resolução ANP Nº 16, de 17.06.2008 - DOU 18.06.2008. Disponível em <<http://www.scgas.com.br/uploads/editores/20100720165420.pdf>>. Acesso em 30/11/2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (2015). Resolução ANP Nº 8, de 30.01.2015 - DOU 02.02.2015. Disponível em <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=280722>>. Acesso em 28/11/2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS (2016). Desempenho do Setor Aquaviário 2016 – Oportunidades e Melhorias Portuárias. Indicadores, Cargas, Navegação. Disponível em <<http://antaq.gov.br/Portal/PDF/Anuarios/ApresentacaoAnuario2016.pdf>>. Acesso em 14/12/2017.

AHLFELDT, G.; MOELLER, K. e WENDLAND, N. (2014). Chicken or egg? The PVAR econometrics of transportation. *Journal of Economic Geography*. Volume 15, Edição 6, 1169–1193.

AMERICAN BUREAU OF SHIPPING, ABS (2011). Propulsion and Auxiliary Systems for Gas Fueled Ships. Houston.

ANDERSON, M.; SALO, K. e FRIDELL, E. (2015). Particle- and Gaseous Emissions from an LNG Powered Ship. *Environmental. Science & Technology* 49, 12568-12575.

- ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R. e YANASSE, H. (2015). Pesquisa Operacional. Elsevier, 2a Ed.
- BERTRAND, J. W. M. e FRANSOO, F. C. (2012). Operations management research methodologies using quantitative modeling. *International Journal of Operations & Production Management*. 22, 2. Pág 241, 2002.
- BIZI, R., TISCHER, F. Estudo de Emissões em Motor Dual Diesel e Gás Natural. XXII Simpósio Internacional de Engenharia Automotiva.
- BP (2017). BP Statistical Review of World Energy. Londres. Disponível em <<https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review-2017/bp-statistical-review-of-world-energy-2017-full-report.pdf>>. Acesso em 18/11/2017.
- BRAEKERS, K.; RAMAEKERS, K. e VAN NIEUWENHUYSE, I. (2016). The vehicle routing problem: State of the art classification and review. *Computers & Industrial Engineering*. Volume 99, Pages 300-313, Setembro.
- BRASIL ENERGIA (2015). GNV vai para reabilitação. Nº 410, Janeiro.
- BRASIL (1995). COMISSÃO DESIGNADA PELA PORTARIA MME Nº 128/1995. Suprimento de Energia Elétrica na Amazônia Legal - Relatório dos Estudos. MME - DNDE - ELETROBRÁS - PETROBRÁS – ELETRONORTE.
- BRÄYSY, O. e GENDREAU, M. (2005b). Vehicle routing problem with time windows, Part I: Route construction and local search algorithms. *Transportation Science*, 39:1, p.104-118.
- BRÄYSY, O. e GENDREAU, M. (2005b). Vehicle routing problem with time windows, Part II: Metaheuristics. *Transportation Science*, 39:1, p.119-139.
- BRETT, B. C. (2008). Potential Market for LNG-fueled Marine Vessels in the United States. Dissertação de mestrado, Massachusetts Institute of Technology.
- BUREAU VERITAS, BV(2011). Safety Rules for Gas-Fuelled Engine Installations in Ships. Paris.
- BUREL, F.; TACCANI, R. e ZULIANI, N. (2013). Improving sustainability of maritime transport through utilization of Liquefied Natural Gas (LNG) for propulsion. *Energy* 57 (2013) 412e420. Elsevier.
- CIGÁS, COMPANHIA DE GÁS DO AMAZONAS (2017). Correspondência com o setor comercial da empresa. Data: 14/12/2017.
- CORDEAU, J.F.; LAPORTE, G.; SAVELSBERGH, M. W. P. e VIGO, D. Vehicle Routing. In: Barnhart, C., Laporte, G. (eds). (2006). *Transportation: Handbooks in Operations Research and Management Science*, vol. 14, p. 367-428. North-Holland: Amsterdam.

- DENIZ, C. e ZINCIR, B. (2016). Environmental and economical assessment of alternative marine fuels. *Journal of Cleaner Production*, 113, 438-449.
- EL GOHARY, M. M. e SEDDIEK, I. S. (2013). Utilization of alternative marine fuels for gas turbine power plant onboard ships. *International Journal on Naval Architecture and Ocean Engineering*, 5:21-32.
- FOLHA DE S. PAULO (2016). Gigantes do agronegócio tentam gerar exportações por portos privados. Publicação online, 30/06/2016. Disponível em <<http://www1.folha.uol.com.br/mercado/2016/06/1786722-gigantes-do-agronegocio-tentam-gerar-exportacoes-por-portos-privados.shtml>>. Acesso em 14/12/2017.
- FURTADO, N. e KAWAMOTO, E. (1997). Avaliação de Projetos de Transporte. Escola de Engenharia de São Carlos - USP, Departamento de Transportes.
- G1 PARÁ (2017). Demora nas obras do Pedral do Lourenço afeta a economia no Pará. Publicação online, 01/10/2017. Disponível em <<https://g1.globo.com/pa/para/noticia/demora-nas-obras-do-pedral-do-lourenco-afetam-a-economia-no-para.ghtml>>. Acesso em 09/12/2017.
- G1 RIO (2008). Ivete vira nome de barco bicombustível. Publicação online, 08/08/2008. Disponível em <<http://g1.globo.com/Noticias/Rio/0,,MUL716653-5606,00-IVETE+VIRA+NOME+DE+BARCO+BICOMBUSTIVEL.html>>. Acesso em 13/12/2017.
- GCAPTAIN, U.S. (2017). Ready to Ship More Gas to Middle East, reproduzindo texto da Agência Bloomberg L.P. Disponível em <<http://gcaptain.com/u-s-ready-ship-gas-middle-east/>>. Acesso em 11/12/2017.
- GNANN, T.; PLÖTZ, P. e WIETSCHER, M. (2015). How to address the chicken-egg-problem of electric vehicles? Introducing an interaction market diffusion model for EVs and charging infrastructure. *ECEEE Summer Study Conference Proceedings*. Hyères, França, 2015.
- HAÏDAR, T. (2015). The Barriers to a Small-Mid Scale LNG Future. *Oil and Gas iQ*, 2015. Disponível em <<http://www.smallmidlng.com/media/1001074/40846.pdf>>. Acesso em 03/12/2017.
- HALVORSEN-WEARE, E. e FAGERHOLT, K. (2013). Routing and scheduling in a liquefied natural gas shipping problem with inventory and berth constraints. *Annals of Operations Research* 203:167-186, 2013.
- HARVEY, G. (2017). Go Green website section. Disponível em <<http://www.harveygulf.com/green.html>>. Acesso em 03/12/2017.
- HELLENIC SHIPPING (2017). Japan LNG buyers pay \$9/MMBtu for spot

contracts in Nov, up 10% on month: METI. Citação original de dados da Platts. Disponível em <<http://www.hellenicshippingnews.com/japan-lng-buyers-pay-9-mmbtu-for-spot-contracts-in-nov-up-10-on-month-meti/>>. Acesso em 12/12/2017.

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION – IMO (2009). Interim Guidelines on Safety for Natural Gas-Fuelled Engine Installations on Ships. Maritime Safety Committee, 86th Session. Annex 11, Resolution MSC.285(86). Disponível em <<http://www.epa.gov/region5/water/npdestek/badger/pdfs/Attachment-G-3.pdf>>. Acesso em 10/03/2014.

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION (2015). International Code of safety for ships using gases or other low-flashpoint fuels (IGF Code). Maritime Safety Committee, 95th Session. Disponível em <<http://www.imo.org/en/Publications/Pages/Home.aspx>>. Acesso em 07/11/2017.

KHAN, M. I. (2017). Policy options for the sustainable development of natural gas as transportation fuel. *Energy Policy* 110, 126–136.

KUWAHARA, N. (1999). Análise do gás natural liquefeito como alternativa energética para os pequenos e médios sistemas isolados da Amazônia. Dissertação de mestrado, Universidade de Campinas. Disponível em <http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/265571/1/Kuwahara_Nelson_M.pdf>. Acesso em 10/11/2017.

LAPORTE, G. e OSMAN, I. H. (1995). Routing problems: a bibliography. *Annals of Operations Research*, 61, p.227-262.

LLOYD'S REGISTER e UMAS (2017). Zero-Emission Vessels 2030. How do we get there? Low Carbon Pathways 2050 series. Londres. Disponível em <<http://www.lr.org/en/projects/zero-emission-vessels-2030.aspx>>. Acesso em 15/12/2017.

LNG SHIP FUEL SAFETY ADVISORY GROUP (2013). Standards and Guidelines for Natural Gas Fueled Ships. The Society of International Gas Carrier and Terminal Operators (SIGTTO), Society for Gas as a Marine Fuel (SGMF).

MACLEAN, K.; SANSOM, R.; WATSON, T. e GROSS, R. (2016). Managing Heat System Decarbonisation - Comparing the impacts and costs of transitions in heat infrastructure. Final Report. Imperial College, Londres.

MARINE LOG (2017). Video: Plugging in Finland's first electric ferry. Disponível em <http://www.marinelog.com/index.php?option=com_k2&view=item&id=27695:video-plugging-in-finland%E2%80%99s-first-electric-ferry&Itemid=226>. Acesso em 10/12/2017.

MAXWELL, D. e ZHU, Z. (2011). Natural gas prices, LNG transport costs, and the dynamics of LNG imports. *Energy Economics* 33 (2011) 217–226. Elsevier.

MOKHATAB, S.; MAK, J.; VALAPPIL, J. e WOOD, D. (2014). *Handbook of Liquefied Natural Gas*. 1ª Ed. Gulf Professional Publishing, Londres.

OGUNLOWO, O.; BRISTOW, A. L. e SOHAIL, M. (2017). A stakeholder analysis of the automotive industry's use of compressed natural gas in Nigeria. *Transport Policy* 53, 58–69.

PEREIRA, R. (2017). Fatia exportada pelo Arco Norte já chega a 24%. *Jornal O Estado de S. Paulo* online. Disponível em <<http://economia.estadao.com.br/noticias/geral,fatia-exportada-pelo-arco-norte-ja-chega-a-24,70002081115>>. Acesso em 13/12/2017.

PETERS, J. e WAINWRIGHT, S. (2017). Solving the 'chicken and egg' problem of alternative fuels. In: *The Review, European Edition*. Edição 49, pág. 6, março. Disponível em <http://www.steerdaviesgleave.com/sites/default/files/rev49_v25_web_updated.pdf>. Acesso em 16/12/2017.

PETRÓLEO BRASILEIRO S.A. – PETROBRAS (1991). *Gás Natural Liquefeito*. A018 - P29. Rio de Janeiro.

PORTOS E NAVIOS (2017). ANP vê quadro de mudanças profundas no mercado de gás natural do país, reproduzindo texto do Valor Econômico. Disponível em: <<https://www.portosenavios.com.br/noticias/geral/41694-anp-ve-quadro-de-mudancas-profundas-no-mercado-de-gas-natural-do-pais>>. Acesso em 11/12/2017.

REVISTA ELO (2013). TWB lança primeiro ferryboat com sistema bicombustível. Agosto-Setembro, 2008.

ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING, RAE (2017). *Future Ship Powering Options*. Londres. Disponível em <<https://www.raeng.org.uk/publications/reports/future-ship-powering-options>>. Acesso em 14/07/2017.

SETTI, J. R. e WIDMER, J. A. (1997). *Tecnologia de Transportes*. Escola de Engenharia de São Carlos - USP, Departamento de Transportes. 2ª Ed.

STÅLHANE, M.; RAKKE, J. G.; MOE, C. R.; ANDERSSON, H.; CHRISTIANSEN, M. e FAGERHOLT, K. (2012). A construction and improvement heuristic for a liquefied natural gas inventory routing problem. *Computers & Industrial Engineering* 62, 245–255.

STILES, T. (2016). Demand for liquefied natural gas in Japan after Fukushima. In *Leaders in Energy*, 09/11/2016. Disponível em <<https://lercpa.org/lng-japan/>>. Acesso em 12/12/2017.

- STOPFORD, M. (2009). *Maritime Economics*. Routledge, Londres.
- STUER-LAURIDSEN, F.; NIELSEN, J. B.; ODGAARD, T.; BIRKELAND, M., GRAUGAARD, C. W., BLIKOM, L. P., MURO-SUNÉ, N., ANDERSEN, M. e ØVLISEN, F. (2010). *Natural Gas for Ship Propulsion in Denmark – Possibilities for using LNG and CNG on ferry and cargo routes*. Danish Ministry of the Environment. Disponível em <<http://aapa.files.cms-plus.com/PDFs/Danish%20Study.pdf>>. Acesso em 14/04/15.
- TAHA, H. A. (2010). *Operations Research: An Introduction 9a Ed*. Prentice Hall.
- THOMSON, H.; CORBETT, J. J. e WINEBRAKE, J. J. (2015). Natural gas as a marine fuel. *Energy Policy* 87. 153–167.
- TZANNATOS, E. e NIKITAKOS, N. (2013). Natural gas as a fuel alternative for sustainable domestic passenger shipping in Greece. *International Journal of Sustainable Energy*, Vol. 32, N° 6, 724–734.
- UNITED STATES ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION - U.S. EIA (2017). *Natural Gas Data*. Disponível em <<https://www.eia.gov/naturalgas/data.php>>. Acesso em 25/11/2017.
- WAN, C.; YAN, X.; ZHANG, D.; SHI, J.; FU, S. e NG, A. K. Y. (2015). Emerging LNG-fueled ships in the Chinese shipping industry: a hybrid analysis on its prospects. *WMU Journal of Maritime Affairs*, 14:43–59.
- WANG, S. e NOTTEBOOM, T. (2014). The Adoption of Liquefied Natural Gas as a Ship Fuel: a Systematic Review of Perspectives and Challenges. *Transport Reviews* Vol. 34, N° 6, 749-774.
- WORLD NUCLEAR ASSOCIATION (2016). *Heat Values of Various Fuels*, September. Disponível em <<http://www.world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/heat-values-of-various-fuels.aspx>>. Acesso em 14/12/2017.
- XU, J.; TESTA, D. e MUKHERJEE, P. K. (2015). The Use of LNG as a Marine Fuel: The International Regulatory Framework. *Ocean Development & International Law*, 46:225–240.
- YOO, B-Y. (2017). Economic assessment of liquefied natural gas (LNG) as a marine fuel for CO2 carriers compared to marine gas oil (MGO). *Energy* 121, 772-780.

- (1) Azevedo Junior, Paulo Cezar de, Avenida General Rodrigo Octavio Jordão Ramos, 6200, Bairro: Coroado I, Setor Norte do Campus da Universidade Federal do Amazonas-UFAM, Faculdade de Tecnologia, Laboratório TRANSPORTAR Manaus - AM, CEP: 69080-900, email: paceaz@gmail.com
 - (2) Kuwahara, Nelson, Avenida General Rodrigo Octavio Jordão Ramos, 6200, Bairro: Coroado I, Setor Norte do Campus da Universidade Federal do Amazonas-UFAM, Faculdade de Tecnologia, Laboratório TRANSPORTAR, Manaus - AM, CEP: 69080-900, email: nelsonk@ufam.edu.br
 - (3) Mendes, André Bergsten, Avenida Professor Melo Moraes, 2231, Cidade Universitária, Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Naval e Oceânica, Sao Paulo – SP, CEP: 05508-900, email: andbergs@usp.br
- (1; 2) Universidade Federal do Amazonas - UFAM/TRANSPORTAR laboratório.
- (3) Universidade de São Paulo/POLI.

UMA PROPOSTA DE MODELO DE BENCHMARKING E AHP QUE CLASSIFIQUE COMO HUB PORT UMA PLATAFORMA LOGÍSTICA QUE ATENDA A DEMANDA DE NAVIOS PÓS PANAMAX. UM ESTUDO DE CASO NO LITORAL DO PARÁ

A PROPOSAL FOR A BENCHMARKING AND AHP MODEL THAT CLASSIFY AS HUB PORT LOGISTICS PLATFORM THAT MEETS THE DEMAND OF POST PANAMAX SHIPS. THE CASE STUDY IN THE PARA COAST

SOUSA, M. A ¹; FIGUEIREDO, N. M ²; MORAES, H. B ³
(1;2;3) Universidade Federal do Pará

RESUMO

Este artigo apresenta uma revisão bibliográfica de logística portuária e marítima que levanta o desenvolvimento global juntamente com as demandas do comércio, a evolução dos navios que veem acompanhando as demandas mundiais, por conseguinte dos portos que se adaptam como igual. Nessa mudança, abordaremos a classificação do conceito *hub* com base no *benchmarking* genérico entre os principais portos do mundo na busca de formular KPI's com o apoio da AHP. A proposta de gerar um possível modelo de aferir dados é criar uma base que fomenta estudos de viabilidade que comprovem o potencial estratégico da implantação da plataforma logística no litoral do estado do Pará como ponto estratégico para o comercio mundial e principalmente escoamento da produção das commodities brasileiras, haja vista que atualmente as principais saídas de produção estão sobrecarregadas e defasadas. Utilizando ferramentas de análise de decisão se busca apresentar a importância do *hub port* não só para o comercio e empresariado local, mas para o Brasil e o mundo.

Palavras-chave: Avaliação comparativa. AHP. Logística. Porta *Hub*.

ABSTRACT

This article presents a bibliographic review of port and maritime logistics that raises global development together with the demands of trade, the evolution of the ships they see accompanying the world demands, therefore of the ports that adapt as equals. In this shift, we will address the classification of the hub concept based on generic benchmarking among the world's major ports in the pursuit of formulating KPIs with support from AHP. The proposal to generate a possible model of benchmarking data is to create a base that promotes feasibility studies that prove the strategic potential of the logistics platform implementation in the coast of the state of Pará as a strategic point for world trade and especially the flow of Brazilian commodity production. , given that currently the main outputs are overloaded and outdated. Using decision analysis tools we seek to present the importance of the hub port not only for commerce and local business, but for Brazil and the world.

Keywords: Benchmarking. AHP. Logístic. *Hub Port*.

1. INTRODUÇÃO

As dinâmicas econômicas estão em frequente mudança e expansão, a consolidação do cenário mundial globalizado é sinônimo de inovação, a necessidade de buscar ou mesmo criar novas alternativas de atender demandas. No viés de inovar, a logística busca justamente consolidar maior eficiência e produtividade no meio ao qual está alinhada, a exemplo do setor naval. Mediante as necessidades de inovar, os sistemas portuários buscam desempenho competitivo através de processos eficientes.

O comércio global utiliza em grande parte o transporte transoceânico de mercadorias a granel ou em contêineres, conforme Grant (2013) os fluxos de comércio global são importantes em termos de capacidade de embarcações e de portos. Os portos são verdadeiras portas de entradas para geração de negócios, representa o elo da cadeia de transporte ao integrar modais terrestres aos transportes marítimos e, assim, movimentar a economia global.

O desenvolvimento portuário tem sido utilizado como importante elemento estratégico para o crescimento econômico em várias partes do mundo. Embora muitos planejadores aceitem a noção tradicional do porto como porta de entrada, alterações nas condições políticas e econômicas mundiais vêm provocando mudanças na estratégia de atuação dos portos.

A adoção de portos concentradores e alimentadores têm como principais objetivos desde a redução do custo operacional dos armadores, melhoria do acesso entre os diversos pontos da hinterlândia além da ampliação da interface com mercados internacionais para assim poder gerar competitividade. Segundo Bogossian (1981), a competitividade portuária recai basicamente sobre quatro aspectos: eficiência do porto, fatores institucionais de sucesso, competitividade em preço e nível de prestação de serviços (FIGUEREDO, 2001).

Para Figueiredo (2001) a formulação de um sistema de portos integrados pode ser o diferencial competitivo na comercialização de produtos voltados para exportação os portos concentradores garantem economia de escala e boa ligação com os mercados internacionais. Desta forma, rastrear meios de desenvolvimento para tornar os portos brasileiros mais competitivos, são essenciais para o fortalecimento dos mesmos.

A logística portuária demanda roteiros menos onerosos para embarcações, que possam ser eficientes em termos de percursos mais curtos e estrategicamente bem localizados. O estado do Pará possui uma posição estratégica quanto sua distância em relação aos principais portos do mundo e, atualmente, ao canal do Panamá, ou seja, o estado possui potencial para admitir um *hub port*, que seja uma nova saída logística do país, para o escoamento da produção brasileira que está estrangulada nos principais portos do sul e sudeste.

2. LOGÍSTICA MARÍTIMA

A logística marítima é voltada para o transporte marítimo a exemplo do transporte entre portos, nas mais tradicionais funções

que vão de armazenamento, armazenagem, oferta de serviços de centro de distribuição, entre outros além de atividades logísticas integradas como serviços de valor agregado, incluindo rotulagem, montagem, reparação. Apesar do fato de ter havido um grande número de tentativas de investigar o papel convergente entre transporte marítimo e da logística global, Lu (2000) Rodrigues (2005), Fremont (2004) *apud* Nam e Song (2011), o termo logística marítima ainda não foi claramente abordado. Panayides (2006) *apud* Nam e Song (2011) introduziram, inicialmente, o termo logística marítima no contexto da globalização cadeias de suprimentos, mas a definição e outros atributos relacionados, como escopo, processo e as características do conceito não foram completamente examinadas em seu estudo. No entanto, se compreende logística marítima baseada nas literaturas de logística e transporte marítimo (NAM e SONG, 2011).

No mesmo seguimento, de acordo com Nam e Song (2011) ainda que a definição de logística marítima possua diferentes aspectos e seja mais reconhecida pelas literaturas com conceitos mais diretos, é importante salienta que a mesma possui aspectos e funções de características específicas, que ao longo do tempo foram adaptadas, baseadas em modelos tradicionais das relações de transporte entre portos, navios e suas embarcações, porém adaptaram-se às devidas demandas. Mas, especificamente, ela busca a coordenação e integração com outros modos de transporte em si, a fim de promover o aumento do nível de eficiência e desempenho competitivo.

Como se pode observar na Figura 1, obtida pela UNCTAD (2016) embora atualmente possam existir inúmeras formas de redefinir padrões de comércio, os fluxos do comércio marítimo continuam a ser amplamente determinados por comportamentos macroeconômicos. Ainda que, como analisado na Figura 1, existem tendências de crescimento, apesar do cenário atual mundial, mesmo os volumes de comércio marítimo geralmente ficam paralelos com o crescimento econômico, juntamente com atividades industriais e comércio de mercadorias, embora que em velocidades menores.

Segundo a UNCTAD (2016) em 2015 foram estimados uma movimentação comercial em volumes que ultrapassaram 10 bilhões de toneladas. Embarques aumentaram 2,1%, um ritmo menor e mais lento do que da média histórica, mas que demonstra as perspectivas positivas apresentadas pelo setor. Ainda que, com a desaceleração da China, o comércio sul-sul vem crescendo e ganhando ímpeto com parcerias e infraestrutura de qualidade como o canal do Panamá e o de Suez ampliado, todos têm potencial de afetar o comércio marítimo e remodelar o transporte mundial.

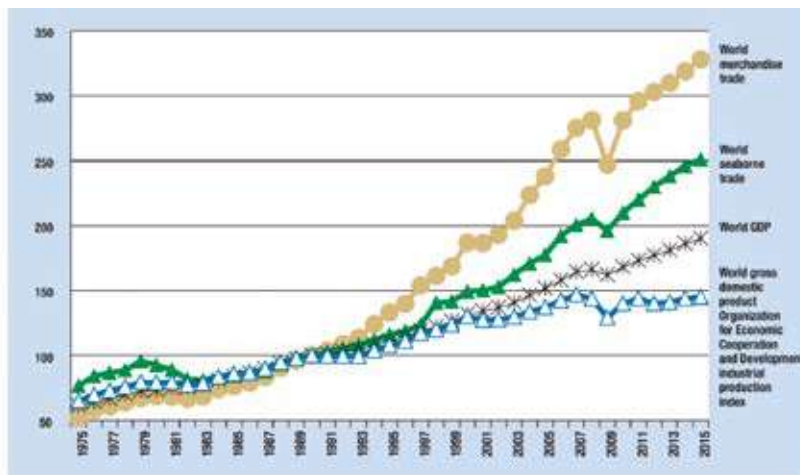


Figura 1: Mapa de Belém e ilhas índices de produção industrial para o produto interno bruto mundial, comércio marítimo e comércio de mercadorias, 1975-2015

Fonte: UNCTAD, 2016.

2.1. Logística Portuária

A construção de um porto visa genericamente à entrada e saída de mercadorias de um país que negocia seu comércio com outro(s), no entanto esta localização exige afinidades estratégicas que convirjam investimentos e retornos econômicos. Para que se possa manter o crescimento do comércio internacional é necessário desenvolver e consolidar o sistema portuário para que seja eficiente e eficaz no atendimento de processos comerciais.

A logística portuária consiste em tipos de transportes através de portos ou terminais, que podem possuir vazão tanto fluvial quanto marítima, nestes podem estar envolvidos navios a puxadores, a depender do meio. No entanto, existe a capacidade de se transportar grandes quantidades de materiais a custos baixos, além de serem infinitamente mais sustentáveis, três pontos que acabam compensando o fator velocidade, que acaba por ser baixo.

O desenvolvimento do comércio internacional é a força matriz para a indústria naval, por conseguinte, a portuária. De acordo com Grant (2013) o advento do transporte feito em contêineres e o poder da computação, a eliminação de barreiras tarifárias e a adoção do serviço terceirizado em manufatura e serviços em outros países contribuíram para promover o aumento do comércio global. A dinâmica dessas mudanças mundiais provocou efeitos significativos sobre as atividades logísticas, a cadeia global busca por serviços que envolvam desde a coleta de mercadoria do exportador até sua entrega no destino final, ou seja, alto nível de serviço com valor agregado e preço atrativo. Na Figura 2 tem-se a demonstração do crescimento dos navios, em referência o Panamax que era o único habilitado a passar pelo canal do Panamá, e com o aumento da economia de escala e os altos volumes transportados, os navios aumentaram, juntamente com a ampliação do canal do Panamá. Conforme Figura 2.

O Brasil é privilegiado quanto sua localização portuária, detentor de uma abrangente costa marítima, fora seus abundantes rios, no entanto, mesmo com tamanha abundância o nível de utilização destes meios, ainda é baixo a sua utilização, principalmente, se tratando no deslocamento de mercadoria. A cultura do país se voltou quase que inteiramente para as rodovias, no entanto, ao longo dos anos a novas demandas buscaram meios menos onerosos para empresas, fornecedores e clientes, haja vista que a rodovia vem proporcionando custos impagáveis de serem mantidos.

Considerando todos os apanhados de um porto e ponderando sua evolução com o tempo é vital na sua conceituação. A literatura sobre logística portuária tem apenas se desenvolvido ao longo das duas últimas décadas, e apresenta uma série de monografias sobre

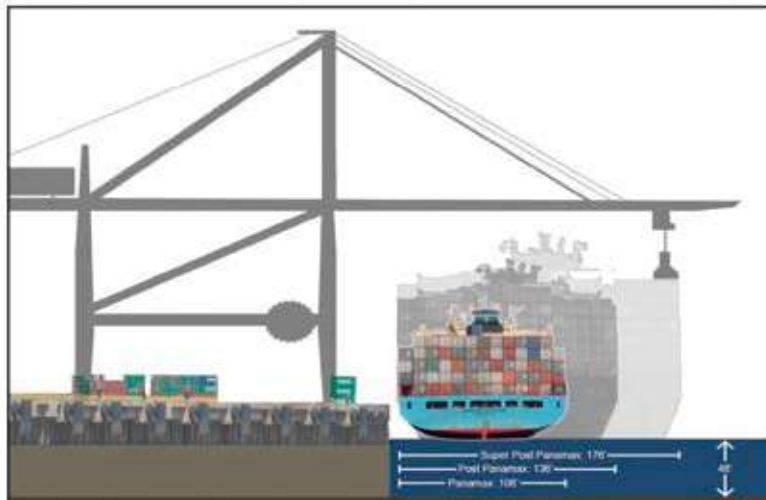


Figura 2: Evolução dos navios Panamax

Fonte: Morais, 2012.

gerenciamento e operações portuárias, descrevendo tendências recentes na gestão portuária e sugerindo um quadro para a reforma e desenvolvimento portuário. A exemplo da UNCTAD *apud* BICHOU e GRAY (2004) define terceira geração de portos como aqueles que oferecem serviços de valor agregado a exemplo da armazenagem e embalagem.

Além do manuseio de carga e dos portos da quarta geração, como os que são separados geograficamente, mas com operadores ou administração comuns, como por empresas multi-portadoras globais. Em um esforço para avaliar o potencial de logística de portos, Harding e Juhel *apud* Bichou e Gray (2004) distinguem entre serviços de logística geral (GLS) e atividades de valor agregado ou logística, sendo este último uma comum característica da carga contêinerizada e geral (BICHOU e GRAY,2004).

A análise do porto como parte de uma cadeia global está voltada com a sua integração local e sua facilidade de ligação com os mercados internacionais. Dentro da integração local deve-se notar as ligações multimodais com o mercado interior, os serviços alimentadores com os outros portos integrantes (no caso de um *hub*

port, possui outros feeds portos de apoio da malha e a existência de locais para armazenagem no interior, criando uma alternativa para desobstruir a área portuária. O acesso a mercados internacionais depende da posição geográfica do porto em relação às rotas de grande movimentação, flexibilidade de serviços de transporte marítimo, isto é, variedade de armadores, frequência de navios, capacidade de transporte e importância para operação global de cada armador (FIGUEIREDO, 2001).

2.2. Hub Port

Os conceitos desta classificação de porto começaram a ser construído nos últimos 40 anos, somado com o crescimento econômico mundial, ainda que se acredite que este modelo surgiu naturalmente de acordo com demandas, observa-se que embora exija critérios para sua classificação, está ligado diretamente com o poderio econômico do local onde estalado. Porém, a partir dos anos 90 as companhias marítimas começaram a adotar este modelo como estratégia econômica, conforme Guialog (2016) o principal objetivo dessas estratégias era de aumentar a economia de escala, no caso da navegação, o menor custo unitário por slot ou contêiner transportado.

No entanto, *hub* descende do *hub and spoke*, que fora por anos utilizado no setor aéreo como referência de concentração de cargas, segundo Nam e Song (2011) foi introduzida no mercado da aviação pela companhia US Airlines que foi desregulamentada depois de 1970, a primeira a implantar o modelo de fato. No entanto, no campo das cadeias logísticas e de abastecimento, o conceito *hub* tem sido frequentemente introduzido em vários termos de acordo com a funcionalidade, um termo heterogêneo que vem sendo aplicado tanto por atuantes no setor quanto acadêmicos.

No setor portuário este modelo foi criado para considerar a economia na utilização de grandes navios e deixando em segundo plano o custo de transbordo. Neste sistema a proposta é fazer com que grandes navios parem em poucos portos, sendo estes concentradores ou Hubs, gerando uma estratificação dos portos de escala, assim gerando mais vantagem econômica (MAGALHÃES, 2010).

Conforme Figueiredo (2000) adoção de portos concentradores e alimentadores tem como principais objetivos: redução do custo operacional dos armadores, melhoria do acesso entre os diversos pontos da hinterlândia e ampliação da interface com mercados internacionais. A ANTAQ (2016) define que estes demandam zonas de separação de mercadorias vindas de navios que praticam longos percursos, pois ao concentrar carga e reduzir as escalas de viagem, o tempo de navegação é reduzido, juntamente com as operações portuárias, e assim podem diluir os custos fixos e a obter maior receita. De acordo com Guialog (2016) o aumento do tamanho dos navios, aumenta a quantidade de contêineres transportados, diminuindo o custo unitário através de um maior rateio dos custos fixos, então com a concentração das rotas e a redução do número de escalas, o navio fica mais tempo navegando e menos tempo em operação nos portos.

Compreende-se um *hub port* também como uma porta de transbordo, visto que por atender a navegação de longo curso este distribui ou recebe cargas, vindas de portos alimentadores para distribuí-las a *feeder ports* que são portos secundários que não recebem navios de grande porte ou mesmo encaminhar para portos de dimensões menores *gateways*. A exemplo da Figura 3 que demonstra o funcionamento de um *hub port*, empresas de navegação optam por operarem em *hubs*, pois, movimentam grandes volumes de contêineres no menor tempo e com tarifas atraentes.

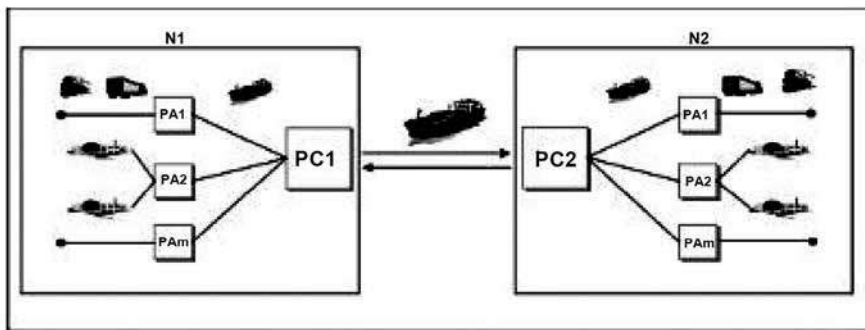


Figura 3: Modelo de funcionamento de *hub port*

Fonte: Figueiredo, 2001.

2.3. Benchmark

O processo de comparação de produtos, serviços e práticas empresariais é um importante instrumento para a gestão indústrias e empresa é realizado através de pesquisas para comparar as ações de cada empresa. Também analisa as estratégias de cada envolvido na análise possibilita criar ideias novas diferentes do que costumeiramente é realizado.

De acordo com Camp (1998) o benchmarking busca melhores praticas na indústria que conduzem ao desempenho superior, assim podemos considerar como um processo de avaliação de forças e fraquezas em relação as suas parceiras e concorrentes que possuem desempenho superior, ou seja, avaliar empresas ou indústrias que são capazes de melhor realizar seus processos para obter ótimos desempenhos, estão claramente em vantagem.

Segundo algumas bibliografias é possível identificar quatro classificações:

- *benchmarking* competitivo está relacionado com os processos e gestão de empresas concorrentes. É uma área delicada, pois empresas concorrentes defendem e escondem as práticas que as levam ao sucesso.
- *benchmarking* genérico consiste na comparação de parâmetros da funcionalidade das empresas, em aspectos como o tempo que um determinado produto demora a chegar ao cliente, desde que foi requisitado.
- *benchmarking* funcional é muitas vezes comparado ao genérico porque é relativo a um processo de atuação da empresa, como a distribuição.
- *benchmarking* interno, que é tomar como referência as práticas e processos de outros setores dentro da própria empresa, e tentar apropriá-los ou melhorá-los para outros setores. No âmbito interno, o *benchmarking* favorece a própria empresa, uma vez que não precisa ter custos com pesquisas externas, e é um processo mais fácil de ser executado.

2.4. AHP (Analytic Hierarchy Processo)

A AHP é uma abordagem analítica muito comum e popular usado na pesquisa acadêmica, é vista com multicritério, possui métodos de tomada de decisão que podem ser empregadas para identificar os critérios de avaliação quantitativos ou qualitativos. Esta ferramenta possui uma abordagem que satisfaz a necessidade de gerar um consenso e reduzir a dependência direta da intuição em processos decisórios, por ser simples, fácil de usar e capaz de estabelecer uma estrutura hierárquica de decisão através de combinação de diversos tipos de critérios (YURDAKUL, 2004).

Em virtudes destes critérios, que se pretende analisar nos arranjos das informações, Vaclavik (2011) afirma que o AHP está fundamentado justamente no arranjo de fatores, que uma vez selecionados, são organizados em uma estrutura hierárquica descendente, em níveis suscetíveis, desde o seu objetivo maior, passando por critérios, atributos e alternativas.

3. PROPOSTA DE MODELO DE BENCHMARKING E AHP

Em virtude destes critérios, tem-se como os principais para poder definir como sendo *hub port* as sentenças que serão divididas por dimensões e, assim, gerará um estudo empírico que servirá para análise e promoverá a organizações de possíveis políticas de desenvolvimentos para a potencialização e competitividade dos portos do Brasil.

A conceituação de indicadores demanda um elaborado processo de levantamento de informações a cerca do meio o qual os *hubs* estão relacionados, desde atividades a estrutura organizacional. No entanto, autores diversos e definem *hubs ports* a partir de suas experiências relacionadas a portos estudados. O estudo em questão levantará estas visões e a partir de metodologias e informações secundárias, para assim gerar um padrão de estudo que viabilize análises.

Segundo Caldeirinha e Felício (2011) a influências dos fatores de caracterização dos portos no desempenho deles podem ser medidos por indicadores operacionais e de eficiência. Estes argumentos sustentam-se na influência e importância dessas características, sejam para a construção de um novo porto ou

adaptação dos existentes e para o desenvolvimento das condições de competitividade de portos e terminais. Toda essa elaboração visa uma indústria portuária mais competitiva.

Indicadores de desempenho têm como objetivo mensurar tarefas realizadas a fim de aferir a performance da mesma e saber se de fato estão sendo cumpridas. Em portos, um dos principais indicadores de desempenho é o nível de receitas por toneladas, porém segundo Caldeira e Felício (2011) não é necessário estabelecer critérios e sim um sistema que leve à avaliação de indicadores, e este sistema consiste na classificação de itens que se integrem e dependam um do outro.

Com o levantamento das principais bibliografias sobre classificação ou determinação de *hub port* se obtém diversos modelos, no entanto, o estudo busca sintetizá-las para assim propor uma forma genérica de indicadores essenciais que sejam encontrados em todos os portos analisados e estudos baseados. A começar por Moreira (2009) que considera uma investigação de sistema que analisa o nível de serviço, gerando um estudo de caso em cada porto desejado, através de coleta de dados para então formar um sistema de indicadores, baseados em registros, documentos e entrevistas no porto observado.

Caldeirinha e Felício (2011) abordam que existem fatores que influenciam na caracterização de um porto para podê-lo classifica-lo como *hub*, sendo necessário que o mesmo apresente a existência de indicadores, dos quais ele pré-estabelece como sendo seis. Porém, de acordo com Barros (2013) existem oito parâmetros para classificar um *hub port*, dos quais o autor identifica como critérios. Em diversas abordagens e, a mais atual, e a que envolve os conceitos dos diversos autores, Yang e Chen (2016) aborda dez critérios de decisões, para assim estabelecer vinte e cinco indicadores divididos em cinco dimensões.

Do levantamento bibliográfico feito o que mais se apresentou ao desejado no estudo foi o de Yang e Chen (2016), não apenas por ser mais atual, mas apresentar parâmetros mais generalizados. Assim se decidiu por propor uma metodologia adaptada dos modelos dos autores, buscando como referência principais portos do mundo que podem ser classificados como *hubs ports* e foram citados nos trabalhos tomados como referência, porém com indicadores pré-selecionados a partir do levantamento bibliográfico. No Quadro

1 é possível observar a matriz de portos estudados. No caso foram selecionados dez com dose indicadores para cada um, dos quais serão divididos nas dimensões que serão avaliados pelo AHP, cada dimensão foi caracterizada da seguinte maneira:

- Ambiente político econômico: vantagens e desvantagens de negociações com o país/porto, relações de importação e exportação, demanda, consumo necessidades de troca relacionada a “mais valia”, ocasionando a alteridades política econômica, social e administrativa dos locais em questão, no caso países em negociação.
- Ambiente Operacional: dimensiona a eficiência e eficácia de processos voltados ao porto, seja por questões aduaneiras, nível de serviço, logística, tecnologias de informação entre outros afins.
- Ambiente de Custo: voltado a mensuração de valores monetários de processos, custos econômicos, logísticos, avaliação de escolhas, principalmente, a de valoração da relação de “mais-valia”, sem deixar de considerar os próprios custos operacionais e trabalhas.
- Ambiente de Infraestrutura e incentivo: voltado especificamente a questões físicas, referente a tamanho do porto, quantidade e dimensão de berços, equipamentos e suas eficiências, localização estratégica, intermodalidade, acessibilidade e seus níveis de serviços quanto a esses componentes. Além de considerar políticas que estimulem o desenvolvimento dos *hubs*, sejam propostas do próprio porto ou mesmo dos países que comercializam, estes incentivos geralmente são voltados a zonas de livre comércio, planejamentos estratégicos, políticas de isenção, gestão ambiental entre outros.

Com a AHP será possível levantar a relevância das dimensões à partir das análises feitas com os portos selecionados, e assim oferecer relevâncias relacionadas aos critérios que competem e enfatizam a potencial do *hub port* no litoral do estado do Pará.

4. ESTUDO DE CASO

O estado do Pará se localiza ao norte do Brasil, possui 1.247.954,7 m² de extensão territorial, onde vive uma população de 7.581.051, de acordo com último censo realizado em 2010, que estão distribuídos em 143 municípios.

Indicadores	Portos									
	Le havre	Antúerpia	Hamburgo	Roterdã	Busan	Koarung	Toquio	Lon beach	Singapura	Toquio
Hinterland	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Calado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rotas tronco	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Investimento dedicado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nível de serviço internacional	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Políticas Ambientais	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
IFS - Índice de fragilidade do sistema	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zona de livre comercio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
IDA - Índice de deslv. Amb.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Volumes movimentados	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Desembaraço	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PIB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Quadro 1: Matriz de Portos e Indicadores

Fonte: Autores, 2017.

Seu litoral é banhado pelo oceano atlântico norte, em toda sua extensão é classificado como estuarina por ser uma zona que sofre influência das águas dos rios e do oceano. O estado possui vocação natural para o transporte aquaviário por possuir grandes extensões de rios que cortam todo o estado e possuem grande potencial de navegação.

Atualmente, no Estado do Pará, percebem-se grandes impactos logísticos em torno das cadeias produtivas, o grande exemplo fica a cadeia mineral e do agronegócio, a exemplo das últimas supersafras. O meio de transporte mais utilizado na região, como na maioria das cadeias produtivas, é o rodoviário, assim como em grande parte do Brasil uma cultura voltada para o uso de rodovias, mesmo que no Estado a vocação sejam os rios.

A logística portuária no Estado do Pará é a melhor saída para o escoamento da produção da própria região, quanto a do Brasil. Para Carvalho *apud* AOPEP (2015), o Pará é a solução para o Brasil, por essencialmente possuir uma localização privilegiada e está perto das fontes de matérias primas. O Próprio Governador do estado, Simão Jatene afirma no AOPEP (2015) que “o Brasil começa a perceber uma saída rumo ao norte, até pelo esgotamento das alternativas pelo sul e sudeste”. Conforme pode-se observar na Figura 4.

Em vista dos projetos que estão sendo implantados no Estado, fica evidente o potencial da região. No entanto, quando busca-se referências quanto à capacidade de desenvolver todas as riquezas, infelizmente, os resultados são ineficientes. Por conta do aumento da demanda, o escoamento das matérias primas da região vem passando por muitas barreiras, por questões logísticas. Segundo Ballou (2002), para agregar vantagens competitivas no mercado é essencial ter um bom modal logístico para que as mercadorias cheguem de forma adequada e no tempo certo aos seus clientes. (BALLOU, 2002)

Devido aos gargalos logísticos na região norte, a Confederação Nacional das Indústrias (CNI), em parceria com as Confederações das Indústrias dos nove estados participantes da Amazônia Legal, encomendou um projeto chamado Norte Competitivo. Este é projeto que inverteu a ordem do processo, de que ao invés do



Figura 4: Mapa das rotas dos portos do Pará

Fonte: Manual do Investidor- Governo do Pará, 2014.

328

governo apresentar propostas de desenvolvimento para a melhoria dos modais de transporte, a iniciativa privada foi quem fez o levantamento. A empresa Macrologística, como se visualiza na Figura 5, junto com a CNI e as FI's dos estados participantes, fizeram todos os estudos e mostraram para o governo onde será preciso investir, e boa parte destes investimentos estão no Estado do Pará CNI (2011).

No projeto Norte Competitivo ficou identificado que se nenhum investimento for feito até 2020, pelo menos 13 malhas rodoviárias, ferroviárias e fluviais estarão trabalhando acima de sua capacidade, juntamente com mais quatro portos que também estarão com gargalos CNI (2011).

Será necessário investir cerca de R\$13,7 bilhões em 73 projetos prioritários. Na proposta, R\$5 bilhões viriam da iniciativa privada e o restante do governo. Esses investimentos se pagariam em menos de quatro anos, em função de reduções do custo de transporte. Atualmente os estados participantes da Amazônia Legal, gastam o equivalente a R\$17 bilhões por ano com custos logísticos, conforme dados levantados pela CNI (2011).



Figura 5: Mapeamento da infra-Estrutura no Pará

Fonte: Projeto Norte competitivo CNI 2011.

A proposta é implantar um porto off com finalidade *hub port*, que não seja atrelado a costa para que assim não interfira na reserva ecológica existente na região. Apenas funcionará como o modelo *hub* propõem, um desvinculado e vinculador de cargas concentradas. Como se pode visualizar na Figura 6, existe um canal de acesso perfeito para navios pós panamax, calado até 22m. Na Figura 7 pode-se verificar a instalação estratégica em relação a américa latina, no Brasil por fazer fronteira com mais nove países e a aproximação com o canal do Panamá que foi recentemente ampliado.

A proposta do modelo de classificação, vem com o intuito de criar uma justificativa coerente de análises baseadas em ferramentas de tomada de decisão (AHP) juntamente de pesquisa de mercado (benchmarking) que demonstre a realidade mundial e apresente o potencial local, levando incentivos nos estudos elaborados sobre a implantação do *hub port*.



Figura 6: Carta náutica do canal do Espadarte
Fonte: Centro de Hidrografia da Marinha, 2017.



Figura 7: Localização estratégica
Fonte: Autores, 2017.

5. CONCLUSÃO

As expansões econômicas de demandas das cadeias globais em especial das de serviços marítimos, oferecem amplas possibilidades de desenvolvimento para a geração de renda e empregos, aquecendo o comércio exterior. A logística portuária que esta fundida nesta cadeia, abrange fatores externos e internos na intenção de agregar valor na criação de competitividade e eficácia em seu desempenho produtivo. Contudo, neste panorama

visualizar novas possibilidades competitivas exige a análise de novas propostas e a utilização de ferramentas de embasamento.

Rotas marítimas estão surgindo pelo mundo, embora consideremos a existência de zonas de transporte pelo globo, estes estão se integralizando, puxadas por novas demandas. Desde o crescimento comercial de contêineres e commodities a serem deslocadas em altos volumes escalares, navios foram se adaptando, no caso, aumentando seus tamanhos para comportar as cargas, por conseguinte, os portos se expandiram e neste conjunto novos canais marítimos foram adaptados ou criados. O canal do Panamá é o maior exemplo de adaptação, como projeções de séculos, em poucas décadas se defasou e necessitou se expandir, assim mesmo o Canal de Suez que se expandiu e oferecendo mais qualidade de trafegabilidade. Novos comportamentos econômicos geram novas oportunidades impulsionam projetos e possibilidades de inovação.

Porém, não somente estar ciente da conjuntura de cenários das novas possibilidades, é necessário estar munido de referências, práticas similares que sirvam como embasamento. O intuito de utilizar ferramentas de análise e tomadas de decisões, é o meio de comprovar a veracidade das possibilidades e as vantagens envolvidas, o benchmarking e o AHP foram sugeridos neste propósito de levantamento de práticas existentes, juntamente com as oferecidas na proposta de bibliografias e projetos. Como estudos anteriores, de *hub ports* asiáticos que avançaram o patamar de *hub ports* para *mega hub ports*. Nesta via de avaliação, buscou propor uma demonstração de embasamentos para a viabilidade da implantação de um *hub port offshore*, no estado do Pará, como uma nova possibilidade comercial para o Brasil e o mundo.

O Estado do Pará vem ganhando evidência não somente por suas riquezas naturais e pertencer a Amazônia, mas também por poder propor ao país um novo corredor logístico de escoamento da produção. A vocação natural do potencial hidroviário demonstra ser solução para muitos gargalos que hoje se concentram no Sudeste e centro-oeste. Uma plataforma logística em modelo hub porto

offshore, é atraente seja em termos econômicos e comerciais para o estado o país e o mundo, por estar estrategicamente posicionado e fomentar movimentações econômicas exponenciais de volume de cargas, gerando desenvolvendo escalar para os envolvidos nas cadeias produtivas do porto.

REFERÊNCIAS

A, Yi-Chih YANG; , N. e CHEN, Shu-Ling.(2016) Determinants of global logistics hub ports: Comparison of the port development policies of Taiwan, Korea, and Japan. *Transport Policy*, [S.L], v. 45, p. 179-189.

ANTAQ (2016) A marinha mercante brasileira escola de guerra naval curso de estado-maior para oficiais superiores. Disponível em: <<http://www.antaq.gov.br/portal/pdf/palestras/mai08escolaguerranaval.pdf>>. Acesso em: 20 mai. 2016.

BARROS, C. F. S. (2013). Procedimento para Classificação de Portos Organizados Brasileiros. Dissertação de Mestrado em Transportes, Publicação T. DM – 006 A/2013, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, DF xv; 126 p.

BALLOU, R. H. (1993). *Logística empresarial: transporte, administração de materiais e distribuição física*. São Paulo: Atlas, 1993. BOGOSSIAN, Marcos Paulo, Modelo de Análise para a Operação Portuária de Carga Geral, Rio de Janeiro.

CALDEIRINHA, V. R. e FELÍCIO, J. A. (2011). A influência dos fatores de caracterização dos portos no desempenho, medido por indicadores operacionais, financeiros e de eficiência. Munich Personal RePEc Archive, [S.L], n. 30009, mar.

CAMP, R. C. (1998). Benchmarking: identificando, analisando e adaptando as melhores práticas que levam à maximização da performance empresarial: o caminho da qualidade total. 3. ed. São Paulo: Pioneira.

CNI (2011). Projeto Norte Competitivo.

CARVALHO, D. F. (2006). A indústria mineral não-metálica e seus índices de encadeamento produtivo na economia da Região Norte: uma abordagem a partir das matrizes de insumo-produto e de contabilidade social dos anos de 1985 e 1999. *Amazônia: Ciência & Desenvolvimento*, v.1, n.2,.

- FIGUEIREDO, G. S. (2016) O PAPEL DOS PORTOS CONCENTRADORES NA CADEIA LOGÍSTICA GLOBAL. Produção online, [S.L], 2./set. 2017. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENECEP2001_TR11_0464.pdf>.
- GRANT, D. B.(2013) Gestão de logística: cadeia de suprimento. 1 ed. São Paulo: Saraiva.
- GUIALOG (2016). As estratégias adotadas pelas companhias marítimas e a identificação de hub ports. Disponível em: <<http://www.guialog.com.br/artigo278.htm>>. Acesso em: 25 mai. 2016.
- MARINHA (2017). Centro de Hidrográfica, Carta náutica do canal do espadarte Disponível; Acesso em: 21 set.2017em :https://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-cartas-raster/raster_disponiveis.html.
- MAGALHÃES, P. S. B. (2010). Transporte marítimo: cargas, navios, portos e terminais. São paulo: Aduaneiras.
- MOREIRA, A. S. (2009). METODOLOGIA APLICADA PARA OBTER UM SISTEMA DE INDICADORES DE PORTO CONCENTRADOR DE CARGA.Tese (Doutorado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. SãoPaulo, 287p.
- SAATY, T.L. (2008) Decision making with the analytic hierarchy process. In: International Journal of Services Sciences, Vol. 1, No. 1, pp.83–98.
- VACLAVIK, M. C. (2011). Proposta de um Modelo de Avaliação de Prestadores de Serviços Logísticos Utilizando o AHP: o caso de uma indústria de motores. Escola de Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Endereço para correspondência:

- (1) Sousa, Marina Aranha de. E-mail: marinaaranha.engprod@gmail.com;
 - (2) Figueiredo, Nelio Moura de. nelio@ufpa.br;
 - (3) Moraes, Hito Braga de. hito@ufpa.br
- (1;2;3) Universidade Federal do Pará – UFPA/ PPAGENAV, rua Augusto, no. 1, Campus Guamá.

MODELAGEM E SIMULAÇÃO DA CAPACIDADE OPERACIONAL DE UM CORREDOR LOGÍSTICO DO ARCO NORTE

*MODELING AND SIMULATION OF
OPERATIONAL CAPACITY FROM A
NORTH ARCH LOGISTICS CORRIDOR*

CARDOSO, J.M.¹; MORAES, H. B.²; FIGUEIREDO, N.M.³
(1;2;3) Universidade Federal do Pará

RESUMO

O Brasil, atualmente, segundo maior produtor de soja no mundo com perspectiva contínua de crescimento verifica gargalos logísticos no processo de escoamento, justificada principalmente, pela falta de terminais de integração e baixa utilização em conjunto de modais logísticos. Neste contexto se torna importante os estudos na melhoria do processo de movimentação da soja nos terminais e portos, sobretudo as novas rotas de exportação desencadeadas pelos corredores do chamado Arco Norte, descrevendo a construção de um projeto, apresentando uma análise na movimentação e no processo de escoamento de grãos de soja em um corredor de exportação pertencente ao Arco Norte, por meio de estudos relacionados a Teoria de Filas, técnicas de Modelagem e Simulação, utilizando linguagem de programação Visual Basic Application (VBA) e *software* especializado. Para isso, foi necessário entender a extensão do problema e os aspectos singulares que envolvem o sistema logístico de um corredor do Arco Norte. A partir dessa análise, foi possível a construção e validação do modelo. Com a validação do modelo, foram executados vários cenários para melhoria da movimentação e exportação da soja brasileira.

Palavras chave: Modelagem. Simulação. Teoria de Filas. *Visual Basic for Application*. Logística. Grãos de soja.

ABSTRATC

Brazil, nowadays the second world's largest soy producer and with continuous prospect for growth, realizes logistical gaps on the outflow of cargo, mainly justified by the lack of transport integration terminals and low engagement on multimodal logistics transportation. In this context it is important to study improvements on cargo handling and transportation processes on ports and terminals, and also new routes of shipments triggered by the transport corridor named Arco Norte. This dissertation reports a project's construction introducing an analysis on shipments and outflow of grain cargo in one of the routes composing the Arco Norte corridor, through studies linked with the queueing theory, modelling and simulation techniques and specially designed *softwares*, all using Visual Basic Application language. To reach the foregoing, an approach was made on the particular problems related to Arco Norte corridor's logistical system. Proceeding from this analysis, the model's construction and approval became possible. From the model's recognition, different scenarios were run to improve the brazilian's soy cargo handling and outflow. **Keywords:** Modelling. Simulation. Queueing Theory. Visual Basic for Application. Logistics. Soy.

1. INTRODUÇÃO

A produção nacional de grão de soja no decorrer dos últimos anos apresenta-se em constante crescimento. O Brasil possui expressiva participação na oferta e demanda no mercado internacional de produtos do complexo agroindustrial de soja, o que vem desempenhando papel fundamental para o desenvolvimento de várias regiões do país.

O Brasil, no âmbito mundial, participa com 29% e 33%, respectivamente, na produção e exportação do grão segundo a *USDA - United States Department of Agriculture*, possuindo significativa participação na oferta e demanda de produtos do complexo agroindustrial de soja, desenvolvendo fundamental papel em várias regiões do país.

Em relação ao volume total de grãos de soja exportado mundialmente, destaca-se Estados Unidos, Brasil e Argentina, que

representam mais de 90% das exportações mundiais com destaque nas últimas duas décadas para Brasil e Argentina que alavancam mais de 40% do produto exportado.

Dentre as regiões produtoras da oleaginosa no país, destacam-se os estados de Mato Grosso, maior produtor com 26,058 milhões de toneladas, seguido por Paraná com 17,102 milhões de toneladas e Rio Grande do Sul com 16,201 milhões de toneladas, participando juntos com 62% da produção total de soja do Brasil.

Os portos são fundamentais ao Brasil, visto esta expectativa de exportação, dado a importância do transporte marítimo na comercialização internacional. A importância dos portos na atividade de exportação através do transporte marítimo para o comércio internacional deve ser pauta em assuntos estratégicos na adequação dos modais logísticos relacionados ao escoamento dos grãos de soja.

Entre os principais portos utilizados para a exportação de soja no Brasil em 2016, destaca-se o porto de Santos/SP com um total de 12,9 milhões de toneladas embarcadas. Segunda a Associação Nacional dos Exportadores de Cereais - ANEC, os portos do chamado Arco Norte do país ganharam relevância ao longo de 2015, como Itaqui (São Luís/MA), Vila do Conde (Barcarena/PA), e Aratu (Cotegipe/BA) embarcando junto um total de 9,5 milhões de toneladas de soja.

A Figura 1 apresenta essa nova rota, no qual os grãos de soja saem da região Centro-Oeste do país pela BR-163, percorrendo 1.100 km até a Estação de Transbordo no Oeste do Estado do Pará onde a carga será exportada para a Ásia e Europa. A nova rota de exportação dos grãos de soja proporcionará uma redução média do custo logístico de escoamento em até 34% em relação ao Porto de Santos/SP (PEREIRA, 2014).

2. MODELAGEM, SIMULAÇÃO DE SISTEMAS E TEORIA DE FILAS

Simulação é o processo de elaborar modelos de um sistema real e de conduzir experimentos, com a finalidade de compreender o comportamento do sistema ou de avaliar as possíveis estratégias para a operação do sistema (SALIBY, 1998). Um sistema pode ser entendido como um conjunto de componentes inter-relacionados, trabalhando

em conjunto para o alcance de um objetivo comum (BLANCHARD e FABRYCKY, 1990). Simulação de sistemas é uma ferramenta importante dentro da pesquisa operacional, pois possui meios de para análises de projetos e a operacionalidade de sistemas complexos.

A Teoria das Filas é baseada em técnicas matemáticas para a análise do fluxo de objetos através de uma rede (NEWELL, 1982). A Teoria de Filas visa otimizar o desempenho do sistema, de modo que tanto a entidade que aguarda na fila, quanto a que atende obtenham benefícios (BHAT, 2008). Desta forma, o principal objetivo dentro do estudo de filas é otimizar o sistema, caracterizando a melhor utilização dos serviços disponíveis, no menor tempo de espera e com alto grau de rapidez no atendimento.

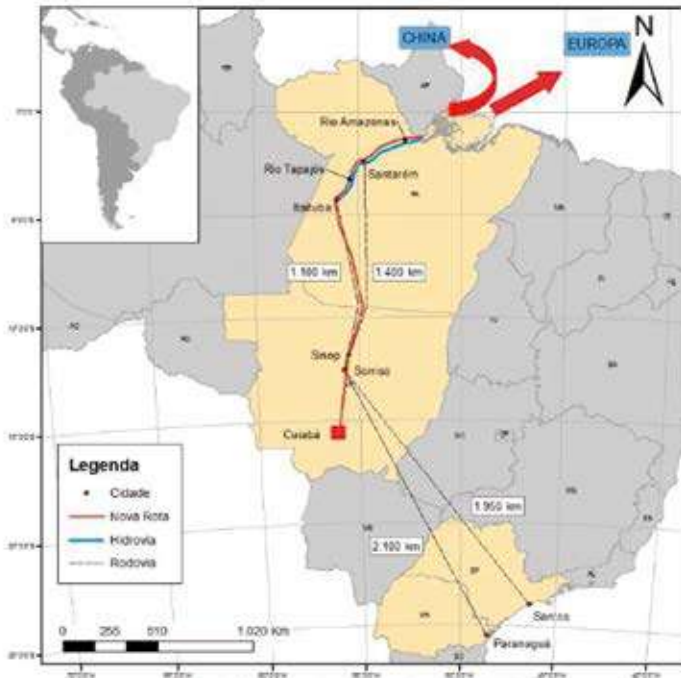


Figura 1: Novo Corredor Logístico de Grãos de Soja.
Fonte: Ministério da Agricultura, 2014.

3. SOFTWARE ARENA® E VISUAL BASIC FOR APPLICATION

Adaptado de Prado, 2009, o *software* ARENA® utiliza uma técnica de programação visual, criando através de um fluxograma os eventos do modelo referente à simulação desejada. Os blocos do fluxograma descrevem cada evento do modelo de simulação como mostrado na Figura 2. Os blocos do fluxograma são formados por um diagrama de módulos originando a visão do *software* ARENA®.

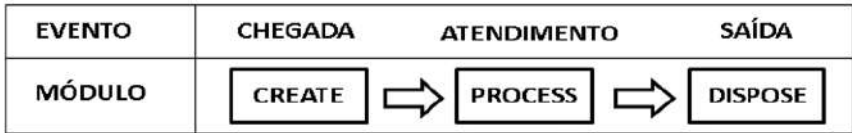


Figura 2: Fluxograma de Eventos *Software* ARENA®

Fonte: Adaptado de Prado, 2009.

O Visual Basic for Application é uma linguagem incorporada através de códigos, podendo ser usados para controlar uma aplicação a partir de outra. No caso do *software* ARENA®, podemos escrever códigos VBA, instalado junto ao programa, para enviar dados da simulação para planilhas do Microsoft Excel (dados de saída), ou planilha para o modelo de simulação (dados de entrada). Além disso, podemos escrever códigos VBA para automatizar o *software* ARENA®, tal como adicionar variáveis de animação, obter valores das estatísticas de saída da simulação, entre outros.

Os eventos VBA disponíveis em um modelo ARENA® são classificados em três grandes categorias: eventos anteriores, durante e posterior a execução. Na iniciação da execução da simulação, existe uma sequência de ações e eventos tais como: RunBegin, RunBeginSimulation, RunBeginReplication, RunEndReplication, RunEndSimulation e RunEnd.

O Model_Logic_RunBegin é o primeiro evento que ocorre quando iniciamos uma simulação no *software* ARENA®. No Model_Logic_RunBeginSimulation o código VBA para o evento é executado apenas uma vez no início da execução da simulação. Desse modo, dados externos podem ser carregados na simulação (e.g., dados contidos em planilhas Excel, Access, entre outros). O Model_Logic_

RunBeginReplication define o número de vezes que o *software* ARENA® chamará o evento, o qual é sempre requerido no início de cada replicação. No Model_Logic_RunEndReplication são executados os códigos VBA que escrevem informações para um arquivo externo, ou incremento de alguma variável global, ou ambos, ou seja, este é apenas chamado quando acontece o fim de uma replicação. No evento Model_Logic_RunEndSimulation, independentemente de como a execução da simulação é finalizada, o código VBA escrito é executado. E por fim, o Model_Logic_RunEnd, é chamado e os códigos VBA escritos neste evento não podem acessar qualquer informação de execução da simulação, pois tudo foi zerado pelo passo anterior.

4. CORREDOR LOGÍSTICO ARCO NORTE

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), O chamado Arco Norte, é responsável por uma safra de 69,9 milhões de toneladas de soja e milho, correspondente a 38% da produção brasileira. A perspectiva para os próximos anos é um aumento da produção das commodities, justificado pelas novas fronteiras agrícolas presentes no leste de Rondônia, nordeste do Estado do Mato Grosso e leste do Pará.

Dentre os portos do Arco Norte, podemos destacar o de São Luís com sua eficiência, embarcando aproximadamente 8,6 milhões de toneladas de grãos e os portos de Itacoatiara-AM, Santarém-PA e o Complexo portuário de Vila do Conde/Munguba/ Barcarena-PA, todos apresentando uma expectativa de exportação muito semelhante, em torno de 3,3 a 3,7 milhões de toneladas.

Uma característica importante dos corredores pertencentes ao Arco Norte é o sistema fluvial amazônico, visto que o principal fluxo de transporte utilizado é o hidroviário, sendo o modo rodoviário apenas suporte na interligação das regiões produtoras aos pontos de exportação.

5. METODOLOGIA

A logística de escoamento de grãos de soja é apresentada, descrevendo as principais etapas que compõe o sistema. O processo

se inicia com a chegada dos caminhões transportando a carga via rodoviária pela BR-163. Os caminhões são encaminhados para superpostos com capacidade de pátio de 500 caminhões. Os caminhões vindos do estacionamento passam pela portaria que são dirigidos a balança para pesagem, sendo posteriormente encaminhados ao calador hidráulico para a retirada das amostras das cargas para análise da qualidade. Caso a carga seja aprovada na análise de qualidade, os caminhões com os grãos de soja são direcionados ao descarregamento nos tombadores hidráulicos e em seguida são encaminhados novamente as balanças localizadas junto à saída da estação. Caso não aprovado a carga na análise de qualidade, os grãos são rejeitados (Figura 3).

A capacidade de descarregamento dos tombadores de caminhões é de 600 t/hora e a capacidade de carregamento das barcaças pelo transportador de correia é de 1.400 t/hora. O sistema de recebimento é estruturado para receber caminhões do tipo bitrem com capacidade de 40 toneladas. Os grãos de soja descarregados nos tombadores são encaminhados para os quatro armazéns com capacidade de 30.000 toneladas cada, totalizando 120.000 toneladas. O carregamento de grãos para as barcaças se dá por sistema de transportadores de correia de arraste, localizados nos armazéns, interligados a galerias basculantes apoiadas em dolphins até o píer flutuante.



Figura 3: Chegada dos Caminhões na Estação de Transbordo
Fonte: MPS Projetos, 2014.

Posteriormente, a carga é transportada em barcaças navegando o rio Tapajós percorrendo um percurso de 1.000 km realizado em aproximadamente três dias até o Terminal Portuário de Exportação.

Um único comboio de 20 barcaças transporta 40 mil toneladas de grãos, o que equivale a mais de setecentos caminhões. No Terminal Portuário de Exportação, os grãos a bordo de comboios de empurra constituídos por barcaças aguardam fundeados onde os comboios são desmontados, sendo as barcaças transportadas individualmente para os dois berços de descarga conforme Figura 4. O berço de descarga tem capacidade para a atracação de duas barcaças. Após o descarregamento da primeira barcaça completamente, o descarregador é dirigido à outra barcaça atracada ao lado da primeira. Enquanto descarrega a segunda, a primeira barcaça vazia é substituída por outra cheia, otimizando assim os tempos de operação.

Nos berços de descarga um descarregador mecânico desembarca o produto e o transfere para o sistema de correias que destina para a estocagem nos armazéns na área da retaguarda do terminal, a uma taxa nominal de 2.000 t/hora.

No processo de embarque para exportação, os grãos estocados em dois armazéns com capacidade total para 90.000 toneladas localizado na área do retro porto.

São movimentados por meio de correias transportadoras até a torre do terminal onde os navios estão atracados conforme Figura 4.



Figura 4: Berço de Descarga e Embarque para Exportação
Terminal Portuário de Exportação

Fonte: MPS Projetos, 2014.

O sistema de transferência consta de duas correias com capacidade individual de 2.000 t/hora, ou seja, um total 4.000 t/hora. Para a exportação no terminal, os grãos de soja são transportados por navios classe Panamax de 75.000 de Tonelagem por Porte Bruto

(TPB). A capacidade efetiva do Terminal Portuário de Exportação é uma movimentação anual de até 1.900.000 toneladas de grãos de soja.

A Figura 5 ilustra o fluxo esquemático das operações na Estação de Transbordo e no Terminal Portuário de Exportação.

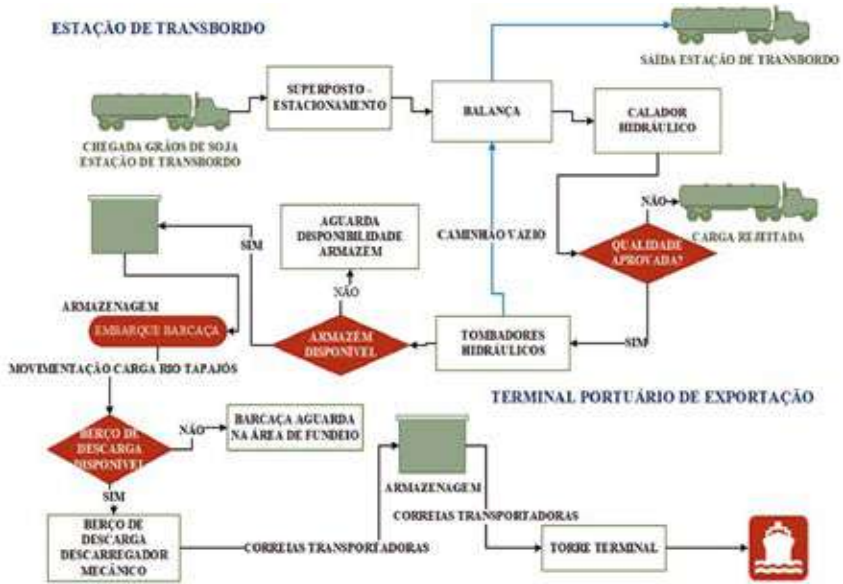


Figura 5: Fluxograma das Operações na Estação de Transbordo e Terminal Portuário de Exportação

Fonte: Autor, 2017.

6. CENÁRIOS UTILIZANDO TEORIA DE FILAS, VISUAL BASIC FOR APPLICATION, MODELAGEM E SIMULAÇÃO

O modelo de simulação desenvolvido é baseado no processo de escoamento de grãos de soja pelo Corredor Tapajós, corredor logístico pertencente ao Arco Norte. É apresentada a modelagem e simulação construído no *Software* ARENA® segundo o fluxograma esquemático conforme Figura 6. Para a criação do modelo foi utilizado a linguagem Visual Basic for Application no cálculo dos dados de entrada e saída para os cenários propostos. Para os cenários, foram previstas demandas conforme as capacidades do

corredor logístico, como a quantidade de balanças, tombadores hidráulicos, disponibilidade de espaço de estocagem e taxas de descarregamento e carregamento nas correias transportadoras. Para as demandas previstas foram obtidas informações sobre cada etapa do processo, tais como: quantidade de carretas que entram na Estação de Transbordo; geração de filas com possíveis gargalos; quantidade de barcas movimentadas; armazenagem média utilizada; tempo médio de percurso dos grãos de soja e quantidade de navios atendidos. Para o modelo foram considerados para cada replicação, 200 dias de operação, 24 horas por dia. Esse valor de 200 dias é baseado no horizonte de tempo dos terminais que operam com grãos de soja, no qual, variam entre 180 a 200 dias, justificado principalmente por questões climáticas e demanda da safra da commodities.

Para a elaboração e determinação do comportamento das variáveis e recursos do modelo foi utilizado Teoria de Filas para geração dos dados de entrada, como o Intervalo Médio entre Chegadas (IC), no ARENA® Times Between Arrivals, obtido através da previsão de exportação para cada simulação. Para o desenvolvimento do estudo, foram consideradas também algumas limitações no modelo, tais como: quando a barcaça atraca na Estação de Transbordo, é considerado que os Armazéns estão sem estoque de grãos de soja, visto que a carga entra no sistema no horário zero (TNOW) no *software* ARENA®, proporcionando um “delay” de alguns dias até o carregamento do primeiro navio para exportação. Também, foram considerados apenas um tipo de carreta, barcaça e navio para embarque dos grãos de soja com suas respectivas capacidades, 40, 2.000 e 60.000 toneladas.

6.1. Modelo desenvolvido

Foram realizados três cenários com variações na demanda de exportação. Para isso foi construído um formulário de inserção de dados no próprio ARENA® fazendo o processo de simulação ser dinâmico e de fácil uso por qualquer usuário que deseja propor possíveis cenários promovendo uma interface entre o modelo desenvolvido e a necessidade desejada. A simulação é parametrizada de acordo com os valores apresentados na Tabela 1 a seguir:

Tabela 1: Parametrização do Cenário

Variável	Cenário 1 (1)	Cenário 2 (2)	Cenário 3 (3)	Unid.
Intervalo médio entre chegadas 1(C)	0,1011	0,0674	0,0505	Horas
Ritmo de chegada	10	15	20	Carretas Dia
Tempo carreta estacionamento	TRIA (5,6,8)	TRIA (5,6,8)	TRIA (5,6,8)	Minutos
Tempo conferência portaria	TRIA (5,6,7)	TRIA (5,6,7)	TRIA (5,6,7)	Minutos
Tempo para análise qualidade	TRIA (8,10,12)	TRIA (8,10,12)	TRIA (8,10,12)	Minutos
Tempo pesagem balança 01	TRIA (5,7,8)	TRIA (5,7,8)	TRIA (5,7,8)	Minutos
Tempo pesagem balança 02	TRIA (5,7,8)	TRIA (5,7,8)	TRIA (5,7,8)	Minutos
Tempo entrada carreta tombador 01	TRIA (10,15,20)	TRIA (10,15,20)	TRIA (10,15,20)	Minutos
Tempo entrada carreta tombador 02	TRIA (10,15,20)	TRIA (10,15,20)	TRIA (10,15,20)	Minutos
Tempo entrada carreta tombador 03	TRIA (10,15,20)	TRIA (10,15,20)	TRIA (10,15,20)	Minutos
Tempo entrada carreta tombador 04	TRIA (10,15,20)	TRIA (10,15,20)	TRIA (10,15,20)	Minutos
Capacidade armazém estação de transbordo	120.000	120.000	120.000	120.000
Tempo barcaça Rio Tapajós	TRIA (2,5,3,3,5)	TRIA (2,5,3,3,5)	TRIA (2,5,3,3,5)	Dias
Capacidade armazém terminal portuário de exportação	90.000	90.000	90.000	Toneladas

Fonte: Autores, 2017.

Para melhor compreensão e visualização do processo de escoamento de grãos de soja, foi construído no próprio *software* ARENA®, uma animação da Estação de Transbordo (Figura 6) e do Terminal Portuário de Exportação (Figura 7).

6.2 Dados utilizados no sistema e visual basic for application no modelo de simulação

O dado de entrada no bloco CREATE (CHEGADA CARRETAS) no modelo de simulação foi obtido a partir da demanda prevista de exportação de grãos de soja pelo Corredor Tapajós, capacidade da carreta em toneladas e o tempo de operação anual e diário da Estação de transbordo e do Terminal Portuário de Exportação, utilizando para isso, fundamentos de Teoria de Filas. Esses dados são alimentados no

formulário inicial, gerando o Intervalo Médio entre Chegadas (IC), ou mais precisamente, o Times Between Arrivals solicitado pelo ARENA®. Então o Intervalo Médio entre Chegadas (IC) é inserido no modelo de simulação com os demais dados, tais como: taxa de descarregamento dos tombadores hidráulicos e taxa de carregamento das barças na Estação de Transbordo em toneladas por hora, taxa de descarregamento das barças e taxa de carregamento do navio no Terminal Portuário de Exportação em toneladas por hora e custos operacionais. Este formulário é apresentado logo após abertura do modelo de simulação. Na Figura 8, podemos visualizar a janela inicial do modelo.

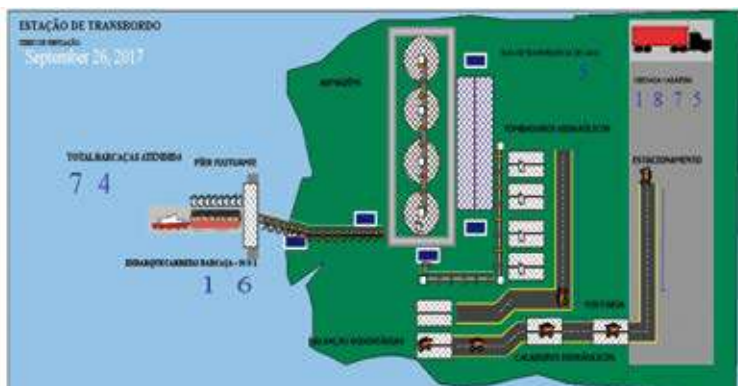


Figura 6: Animação Estação de Transbordo

Fonte: Autor, 2017.

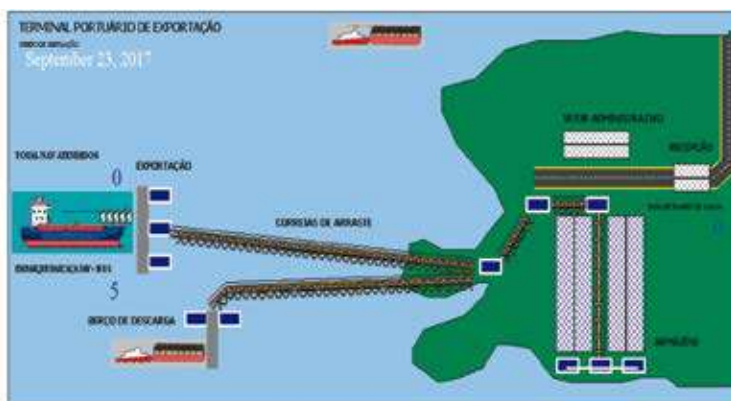


Figura 7: Animação Terminal de Exportação

Fonte: Autor, 2017.

processo de simulação pode ser iniciado a partir do controle a seguir. O software ARENA® irá gerar dados em base na capacidade operacional das Estações de Transbordo e na projeção estimada de exportação anual de grãos de soja.

Selecione o Intervalo Médio Entre Chegadas e Ritmo Médio Entre Chegadas:

Quantidade de Exportação Corredor Tapajós:

Tempo de Operação:

Tempo de Operação:

Capacidade Carreta (ton):

Intervalo Médio Entre Chegadas (IC) = 0,1011 horas

Ritmo Médio de Chegada (RC) = 18 Carretões hora

Calcula IC/RC

Limpar

Iniciar Simulação

Dados Operacionais:

Intervalo Médio Entre Chegadas (IC):

Descarregam. Tombador Hidráulico (ton/h):

Carregamento Barracas (ton/h):

Descarregam. Barracas (ton/h):

Carregamento NAV Exportação (ton/h):

Custos Operacionais Estação de Transbordo:

Custo Operacional Balança (R\$):

Custo Operacional Laboratório Qualidade (R\$):

Custo Operacional Tombador (R\$):

Faturamento Unitário Tonelada (R\$):

Figura 8: Tela Inicial do Modelo de Simulação

Fonte: Autor, 2017.

No projeto de simulação foi utilizado uma ferramenta de extrema importância na criação de interface automática entre os aplicativos ARENA® e Excel. Essa interface é gerada antes do início da simulação por meio do controle de dados de entrada através do formulário descrito acima e após o término do processo de simulação, criando uma planilha e um gráfico de forma automática referente ao tempo inicial, tempo final e duração de cada carreta com grãos de soja com a utilização do bloco VBA. Na Figura 9, podemos visualizar os dados e o gráfico gerado em planilha Excel após conclusão da simulação. Estes dados representam o tempo inicial de entrada da entidade carreta no bloco CREATE (CHEGADA

CARRETAS), tempo final no bloco VBA na estação píer flutuante e a duração calculada com base na diferença entre esses dois valores. Foram criadas 30862 entidades carretas no bloco CREATE (CHEGADA DE CARRETAS) com o tempo médio de duração entre chegadas de aproximadamente 0,11 dias, ou 2,64 horas. Esse valor do tempo médio é calculado em função do Intervalo Médio Entre Chegada de 0,10 horas para 1.900.000 de toneladas previstas em 200 dias de operação, 24 horas por dia.

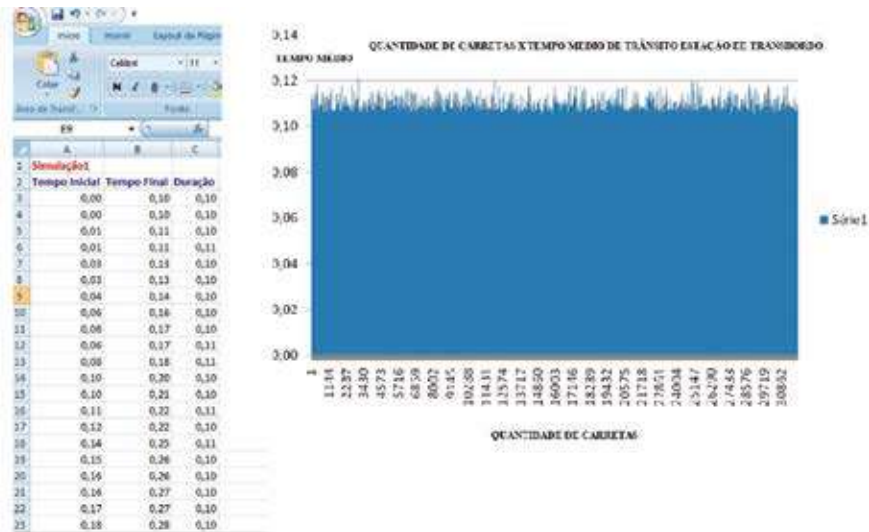


Figura 9: Dados Gerados Interface VBA ARENA® Excel

Fonte: Autor, 2017.

6.3. Verificação e validação do modelo

Para o desenvolvimento do modelo apresentado, foram consultadas várias biografias de estudos relacionados ao assunto, bem como a utilização de dados expostos em publicações de órgãos competentes, como o observatório agrícola de acompanhamento da safra brasileira de grãos emitidos pela Companhia Nacional de Abastecimento - Conab para a safra 2016/2017. No modelo desenvolvido, apesar de existirem algumas limitações e aproximações do sistema real, a modelagem é considerada

válida por apresentar por meio de resultados parâmetros com a realidade observada no escoamento de grãos de soja entre estações de transbordo e terminais de exportação. Ressalta-se que, essa modelagem se baseia em um projeto de simulação alimentado por dados gerados através de estudos sobre a ótica de Teoria de Filas, não contemplando dados históricos que descrevem uma análise mais apurada quando comparado os cenários produzidos com a realidade observada.

6.4. Replicações e resultados alcançados

A replicação do modelo representa o período de tempo em que uma simulação será executada. Para esse trabalho, o tamanho da replicação foi de 200 dias. A partir dos dados de entrada, foram analisados os cenários C1, C2 e C3 com demandas de exportação de 1.900,000, 2.850,000 e 3.800,000 toneladas de grãos de soja respectivamente. Foram inseridos também dados contábeis nos recursos primordiais ao funcionamento eficiente da Estação e do Terminal com o intuito de obter um relatório que estime o custo e o faturamento da logística de escoamento de grãos de soja pelo Corredor Tapajós. Os dados gerados estão exemplificados na Tabela 2.

Para os cenários C1, C2 e C3, foram atendidos 29, 44 e 50 navios respectivamente, com um aumento de 51,72% para o cenário C2 e um aumento de 72,41% para o cenário C3. O número médio de entrada de carretas no modelo no Cenário C1 foi 48.380, no Cenário C2 foi de 72.567 e no Cenário C3 foi de 96.585, sendo embarcadas em média 917 barcaças no Cenário C1, 1.373 no Cenário C2 e 1.561 no Cenário C3 com destino ao Terminal Portuário de Exportação. É observado, ainda, que o tempo médio para embarque de grãos de soja nos navios é de 3,18 dias para o Cenário C1, 2,14 para o Cenário C2 e 1,87 para o Cenário C3; 32,75% e 41,03% abaixo para os cenários C2 e C3 em relação ao C1 apesar do aumento na demanda. O tamanho médio na fila para carregamento dos navios foi de 14,01 dias para o Cenário C1, 14,15 dias para o Cenário C2 e 14,11 dias para o Cenário C3.

Tabela 2: Resultados Cenários

Informações	Nome do Campo no Relatório ARENA®	Cenário 1 (C1)	Cenário 2 (C2)	Cenário 3 (C3)	Relação C1 C2	Relação C1 C3
Total chegada de carretas	Number in carreta	48.380	72.567	96.585	> 49,99%	> 99,64%
Total de carretas descarregadas	Number out carreta	46.720	70.987	81.350	> 51,94%	> 74,12%
Total de barcas carregadas na Estação de Transbordo	Number in barcaça	917	1.373	1.561	> 49,73%	> 70,23%
Total de barcas descarregadas no Terminal Portuário	Number out barcaça	899	1.364	1.550	> 51,72%	> 72,41%
Tempo médio na fila (TF) p/ carregamento das barcas (dia)	Queue waiting time	0,1084	0,0725	0,0637	< 33,08%	< 41,20%
Tempo médio na fila (TF) p/ carregamento dos navios (dia)		3,1805	2,1390	1,8754	< 32,75%	< 41,03%
Tamanho médio na fila (NF) p/ carregamento das barcas (dia)	Queue number waiting	24,46	24,49	24,46		
Tamanho médio na fila (NF) p/ carregamento dos navios (dia)		14,01	14,15	14,11	> 0,95%	< 0,68%
Taxa média de utilização Laboratório Qualidade Estação de Transbordo	Resource scheduled utilization	0,16	0,25	0,33	> 50,09%	> 100,24%
Taxa média de utilização balança 01 Estação de Transbordo		0,63	0,87	1,00	> 37,91%	> 58,96%
Taxa média de utilização balança 02 Estação de Transbordo		0,42	0,96	1,00	> 130,23%	> 140,25%
Taxa média de utilização tombador 01 Estação de Transbordo		0,49	0,71	1,00	> 45,22%	> 104,79%
Taxa média de utilização tombador 02 Estação de Transbordo		0,68	0,99	1,00	> 46,64%	> 47,84%
Taxa média de utilização tombador 03 Estação de Transbordo		0,61	0,96	1,00	> 56,17%	> 62,87%
Taxa média de utilização tombador 04 Estação de Transbordo		0,57	0,86	1,00	> 49,79%	> 74,45%
Número de vezes que o laboratório de qualidade foi utilizado		Resource total number seized	47.471	71.207	95.036	> 50,00%
Número de vezes que a balança 01 foi utilizada	27.154		37.471	43.174	> 37,99%	> 59,00%
Número de vezes que a balança 02 foi utilizada	17.980		30.070	43.208	> 67,24%	> 140,31%
Número de vezes que o tombador 01 foi utilizado	9.377		13.611	19.202	> 45,15%	> 104,78%
Número de vezes que o tombador 02 foi utilizado	12.981		19.031	19.406	> 46,61%	> 49,50%
Número de vezes que o tombador 03 foi utilizado	11.775		18.414	19.181	> 56,38%	> 62,90%
Número de vezes que o tombador 04 foi utilizado	10.998		16.478	19.211	> 49,83%	> 74,68%
Total de navios atendidos	Category overview		29	44	50	> 51,72%

Fonte: Autor, 2017.

Apesar do tamanho médio na fila para carregamento dos navios serem relativamente menor que tamanho médio na fila para embarque nas barcaças, a taxa de chegada de carretas na Estação de Transbordo é bem maior que a de chegadas de barcaças no Terminal Portuário de Exportação, o que causa um nivelamento entre os pontos iniciais e finais do sistema para os dois cenários. Outro dado importante extraído do relatório gerado pelo ARENA® é verificado nas taxas de utilização dos tombadores, no qual o tombador 02 é o mais utilizado tanto no Cenário C1, como no Cenário C2 e C3. Com esse dado em mãos, pode ser implementado um estudo para alterar fisicamente o processo de descarregamento nos tombadores, objetivando uma melhor eficiência em conjuntos dos tombadores 01, 02, 03 e 04.

Para uma análise financeira do processo de escoamento de grãos de soja pelo Corredor Tapajós, foi inserido custos em algumas etapas do projeto de simulação conforme Tabela 3, emitido um relatório que possibilita mensurar um possível faturamento com base nas previsões de demandas descritas nos Cenários C1, C2 e C3 para o Corredor Logístico. Para esta análise, foi considerado somente o processo de movimentação de grãos de soja na Estação de Transbordo nas etapas de pesagem nas balanças rodoviárias, análise da qualidade no laboratório e descarregamento nos tombadores hidráulicos.

Tabela 3: Taxas Operacionais e Faturamento Estação de Transbordo

Variável	Incidência	Nome do campo no Relatório ARENA	Valor Unitário	Total (C1)	Total (C2)	Total (C3)	Relação C1 C2	Relação C1 C3	
Taxa operacional balança 01	Por carreta pesada	Resource usage cost	R\$ 20,00	R\$ 2.715.400	R\$ 3.747.100	R\$ 4.317.400	37,99%	59,00%	
Taxa operacional balança 02	Por carreta pesada		R\$ 20,00	R\$ 1.798.000	R\$ 3.007.000	R\$ 4.320.800	67,24%	140,31%	
Taxa operacional Laboratório Qualidade	Por carreta descarregada		R\$ 10,00	R\$ 2.373.550	R\$ 3.560.350	R\$ 4.751.800	50,00%	100,20%	
Taxa operacional tombador 01	Por carreta descarregada		R\$ 50,00	R\$ 1.875.400	R\$ 2.722.200	R\$ 3.840.400	45,15%	104,78%	
Taxa operacional tombador 02	Por carreta descarregada		R\$ 50,00	R\$ 2.596.200	R\$ 3.806.200	R\$ 3.836.600	46,61%	47,78%	
Taxa operacional tombador 03	Por carreta descarregada		R\$ 50,00	R\$ 2.355.000	R\$ 3.682.800	R\$ 3.836.600	56,38%	62,90%	
Taxa operacional tombador 04	Por carreta descarregada		R\$ 50,00	R\$ 2.199.600	R\$ 3.295.600	R\$ 3.842.200	49,83%	74,68%	
Faturamento unitário	Por carreta carregada		R\$ 50.000	R\$ 45.850.000	R\$ 68.650.000	R\$ 78.050.000	49,73%	70,23%	
Receita				R\$ 29.936.850	R\$ 44.828.750	R\$ 49.304.600	49,74%	64,70%	

Fonte: Autor, 2017.

Para cada barcaça carregada foi estimado também um faturamento unitário que multiplicado pela quantidade de barcaças que se direcionaram ao Terminal Portuário de Exportação obtém-se Receita da Estação de Transbordo.

Os dados apresentados na Tabela 3 demonstram que os valores sobre a incidência de algumas operações possibilitam gerar relatórios financeiros viabilizando tomadas de decisões com maior eficácia no processo de escoamento de grãos de soja pelo Corredor Tapajós desenvolvendo a exportação brasileira no mercado internacional.

No Gráfico 1, é ilustrado uma outra análise realizada por meios das ferramentas do *software* ARENA®, que mostra o tempo médio de trânsito das carretas na Estação de Transbordo, que no caso, é de aproximadamente de 0,10 dias para o Cenário C1, valor este calculado com base no bloco ASSIGN inserido logo após o bloco CREATE (CHEGADA DE CARRETAS) e RECORD (TEMPO DE TRÂNSITO) introduzidos na programação do modelo.

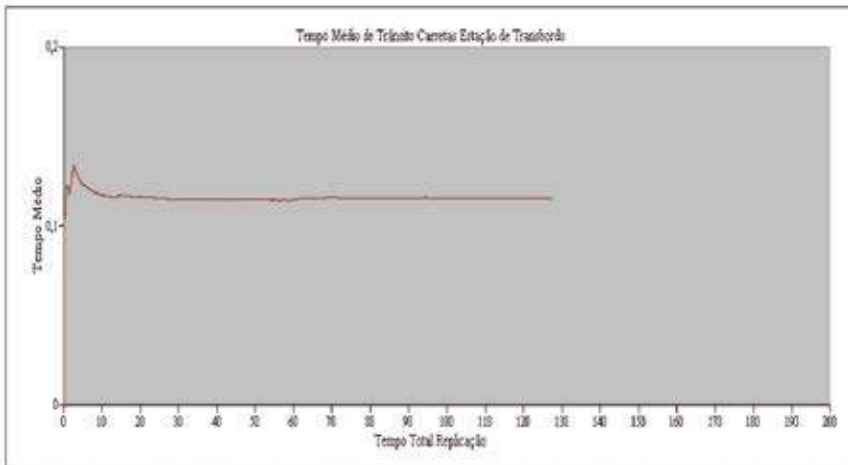


Gráfico 1: Tempo Médio de Trânsito Carretas Estação de Transbordo
Fonte: Autor, 2017.

Como pode ser observada, a média de tempo dos grãos de soja na Estação de Transbordo é de aproximadamente 0,10 dias para os 200 dias de operação. Este valor é obtido tanto utilizando

os blocos ASSIGN e RECORD (TEMPO DE TRÂNSITO), quanto o bloco VBA com análise de dados no Excel conforme exemplificado no item 6.3. Esta aproximação entre as duas formas de se calcular o tempo médio de trânsito das entidades carretas, valida a programação introduzida no ARENA® por meio do bloco e da linguagem VBA.

7. CONCLUSÃO

Este trabalho conclui que o *software* ARENA® se apresentou bastante eficaz no desenvolvimento do modelo de simulação para o escoamento de grãos de soja no Corredor Tapajós, pois viabilizou uma análise da capacidade operacional da Estação de Transbordo e do Terminal Portuário de Exportação de maneira clara e precisa. Destaca-se ainda a aproximação da quantidade de navios exportados obtidos com a simulação, um total de 29 navios para o Cenário C1, 44 para o Cenário C2 e 50 para o Cenário C3, com a demanda prevista para 2017 e 2018 informados por órgãos como a Companhia Nacional de Abastecimento (Conab).

Por meio dos dados obtidos com a simulação, foi possível analisar os tempos dispostos no processo de movimentação de grãos de soja no Corredor Tapajós, como a formação de filas, percentual de utilização das estações delineadas, tempo de espera antes de cada etapa, quantidades de barcaças embarcadas e navios atendidos, bem como uma análise dos custos operacionais envolvidos, visando obter a maior rentabilidade na logística como um todo.

Por fim, o modelo desenvolvido com o *software* ARENA® mostrou-se, apesar da complexidade, extremamente viável para o desenvolvimento do processo logístico de movimentação de grãos de soja pelo Corredor Tapajós, sendo necessário, para isso, experimentos e execuções contínuas para a análise de alternativas dos cenários propostos, validando com isso, o projeto de simulação.

REFERÊNCIA

- AMORIM, R. (2005). *Estudo do Transporte de Produtos Siderúrgicos, em Viagens Cíclicas De comboios Oceânicos, Dentro de uma Visão Logística*. 2005. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – área de Transportes) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.
- ANEC – Associação Nacional de Exportadores de Cereais (2007). Disponível em: <http://www.anec.com.br> acesso em maio 2017.
- BANKS, J. (2000). *Introduction to simulation, Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference*. pp.09-16.
- BHAT, U. N. (2008). *An Introduction to Queueing Theory*. New York: Birkhäuser.
- BICHOU, K.; GRAY, R. (2005). *A critical review of conventional terminology for classifying seaports*. *Transportation Research*, p. 75-92.
- BLANCHARD, B.S e FABRYCKY, W.J. (1990). *Systems Engineering and Analysis*, 4ª ed, W.J Fabrycky and J.H. Mize.
- BUENA DA COSTA, M.A. (2002). *Simulação de Sistemas*. Disponível em: < www.simucad.dep.ufscar.br > Acesso: julho 2017.
- CHWIF, L.; MEDINA, A. C. (2010). *Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações*. 2. ed. São Paulo: Editora dos Autores.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. *Acompanhamento Safra Brasileira: grãos, quinto levantamento, 2017* Disponível em: < <http://www.conab.gov.br> > acesso em: maio 2017.
- DREFUS, L. (2016). *Relatório de Impacto Ambiental do Terminal LDC Tapajós*. Louis Dreyfus.
- DUARTE, K. P. (2017). *Análise Operacional do Complexo Portuário de Rio Grande Usando Teoria de Filas*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Oceânica, FURG. Rio Grande.
- FABRI – Food and Agricultural Policy Research Institute. Disponível em <<http://www.fabri.org>> Acesso em: maio 2017.
- FLEURY, P. F; WANKE, P. e FIGUEIREDO, K. F. (2008). *Logística empresarial: a perspectiva brasileira*. São Paulo: Atlas.
- FREITAS FILHO, P. J. (2008). *Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas*, 2ª Ed. Florianópolis, Visual Books.
- GAMBARDELLA L.M., RIZZOLI A.E. e ZAFFALON M. (1998) *Simulation and Planning of an Intermodal Containers Terminals, Special Issue of Simulation*

Journal in Harbour and Maritime Simulation, Vol. 21, No 2, pp. 107-116, August.

GOEBEL, D. (2002). *Logística – otimização do transporte e estoque na empresa, ECEX – IE/UFRJ e do PIT – COPPE/UFRJ*.

GORDON, G. (1978). *System Simulation*. 2d Ed, Prentice-Hall, Englewood Clieffs, N.J.

GROSS, D.; SHORTLE, J. F.; THOMPSON, J. M. e HARRIS, C. M. (2008). *Fundamentals of Queueing Theory*. 4th ed. New Jersey: Wiley.

HARRELL, C; GHOSH, B. K e BOWDEN JR, R. O. (2004). *Simulation Using Promodel*. 2ª ed. New York: McGraw Hill, 2004.

HILLIER, F. S; LIEBERMAN, G. J. (2001). *Introduction to Operations Research*. 7th ed. New York: McGraw-Hill.

KELTON, W. D; SADOWSKI, R. P. e STURROCK, D. T. (2010). *Simulation with Arena*. 5ª ed. New York: McGraw Hill.

LEMKE, N. (2008). *Análise das condições operacionais do Porto do Rio Grande utilizando a técnica de simulação*. 2008. 191 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica).

MULLER, G. (1999). *Intermodal Freight Transportation. Eno Transportation Foundation and IANA, Virginia*.

NEWELL, G. F. (1982). *Applications of Queueing Theory*. 2nd ed. New York: Chapman and Hall.

PAIXÃO, A.C; MARLOW, P.B. (2003). *Fourth generation ports – a question of agility?*; International Journal of Physical Distribution & Logistics Management. Vol.33, n. 4, p.355-376, Emerald.

PEREIRA, R.; CASTRO, S. (2014). *Exportar pelo Norte começa a virar realidade*. O Estado de S. Paulo, p. B8.

PRADO, D. S. (2010). *Usando o arena em simulação*. 4. ed. Nova Lima: INDG-Tecnologia e serviços, v. 3 307 p.

PRADO, D, S. (2009). *Teoria das filas e da simulação*. 4. ed. Nova Lima: INDG-Tecnologia e Serviços, v.2 127p.

RAZZOLINI FILHO, E. (2009). *Logística: evolução na administração: desempenho e flexibilidade*. Curitiba: Juruá.

REUVEN, Y. R. e BENJAMIN, M. (1998). *Modern Simulation and Modeling*. Wiley Series in Probability and Statistics, Applied Probability and Statistics Section, A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, INC.

RIPOLL, F.G. (2012). *Proposta de uma análise logística no agronegócio como fator competitivo para a distribuição e comercialização da soja em grão no Estado*

de Mato Grosso. Custos e @gronegocio on line, v.8, n.1 – Jan/Mar.

ROSSETTI, M. D. (2015). *Simulation Modeling and Arena*. 2nd ed. New Jersey: Wiley.

SALIBY, E; NAZÁRIO, P; LACERDA, L. e LARA, M. (2003). *Modelo de simulação de operações portuárias*. CEL. [on-line], Rio de Janeiro.

SALIBY, E; LARA, M.S; LACERDA, L e NAZARIO, P.R.S. (1998). *Modelo de Simulação de Operações Portuárias*. In: IX CLAIO, 1998, Buenos Aires. Anais do IX CLAIO.

SECEX – *Secretaria de Comércio Exterior*. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio, Balança comercial brasileira – dados consolidados, 2017. Disponível em <<http://WWW.desenvolvimento.gov.br>> Acesso em: abril 2017.

STERMAN, J. (2002). *All Models are Wrong*: reflections on becoming a system scientist. *System Dynamics Review* – vol. 18. 501–531.

UNCTAD - UNITED NATIONS CONFERENCE ON TRADE AND DEVELOPMENT (2002). *Commercial development of regional ports as logistics centres*. New York.

USDA – *United States Department of Agriculture*. Disponível em <http://www.usda.gov>> Acesso em: maio 2017

VIEIRA, D. S. (2005). Estudo operacional do terminal de contêineres de Vila Velha-ES, utilizando simulação e recursos de otimização. 2005. 152 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil - área de Transportes) – Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.

Endereço para correspondência:

(1) Cardoso, Jaison de Moura. E-mail: jaison.ep@hotmail.com;

(2) Moraes, Hito Braga de. E-mail: hito@ufpa.br;

(3) Figueiredo, Nélio Moura. E-mail: nelio@ufpa.br;

(1;2;3) Universidade Federal do Pará – UFPA(PPGENAV), rua Augusto, no. 1, Campus Guamá.

ACCESSIBILITY MODELLING TO SUPPORT DECISION-MAKING IN URBAN INVESTMENTS IN AMAZONIA CITIES: THE CASE OF SANTAREM - PA

*MODELAGEM DA ACESSIBILIDADE COMO SUPORTE
À TOMADA DE DECISÃO EM INVESTIMENTOS
URBANOS NA AMAZÔNIA: O CASO DE SANTARÉM-PA*

RODRIGUES, D.S.¹; RAMOS, R. A. R.²; TOBIAS, M. S. G.³
(1; 2) Universidade do Minho; (3) Universidade Federal do Pará

ABSTRACT

City planning processes are often supported by decision-making methods that involve selection, evaluation and combination of several factors. Also, nowadays, the accessibility is one important issue for the development of cities. So, factors closely related to the accessibility are very relevant to identify and assess the location of urban facilities, which stresses the interest of evaluating accessibility methods. The main goal of this paper is to present an accessibility evaluation model to support decision-making in urban investments, applied in Santarem, in Brazil; a city located midway between the larger cities of Belem and Manaus. The paper describes the research instruments, sampling method and data analysis proposed for mapping urban accessibility. Basic activities (education, health, services, leisure and commerce) provided by the city were used to identify the main key-destinations. The model was implemented within a Geographic Information System and integrates the individual's perspective, through the definition of each key destination weight, reflecting their significance for daily activities in the urban area. The results of this model application can support city administration decision-making for new investments in order to improve urban quality of live. In addition, the model can simulate and analyze several planning proposal for the city,

e.g., expansion of the transport network, the construction of new education and health services, helping to understand which will be the consequences of those actions.

Keywords: Urban accessibility assessment. Geographic Information Systems. Santarem. Brazil.

RESUMO

Os processos de planejamento da cidade geralmente são suportados por métodos de tomada de decisão que envolvem seleção, avaliação e combinação de vários fatores. Além disso, atualmente, a acessibilidade é uma questão importante para o desenvolvimento das cidades. Portanto, fatores intimamente relacionados à acessibilidade são muito relevantes para identificar e avaliar a localização das instalações urbanas, o que enfatiza o interesse de avaliar os métodos de acessibilidade. O principal objetivo deste artigo é apresentar um modelo de avaliação de acessibilidade para apoiar a tomada de decisão em investimentos urbanos, aplicada em Santarém, no Brasil; uma cidade localizada a meio caminho entre as cidades maiores de Belém e Manaus. O artigo descreve os instrumentos de pesquisa, o método de amostragem e a análise de dados propostos para o mapeamento da acessibilidade urbana. As atividades básicas (educação, saúde, serviços, lazer e comércio) fornecidas pela cidade foram usadas para identificar os principais destinos-chave. O modelo foi implementado dentro de um Sistema de Informações Geográficas e integra a perspectiva do indivíduo, por meio da definição de cada peso-chave de destino, refletindo sua importância para as atividades diárias na área urbana. Os resultados desse aplicativo de modelo podem apoiar a tomada de decisões da administração da cidade para novos investimentos, a fim de melhorar a qualidade de vida urbana. Além disso, o modelo pode simular e analisar várias propostas de planejamento para a cidade, por exemplo, expansão da rede de transporte, construção de novos serviços de educação e saúde, ajudando a entender quais serão as consequências dessas ações.

Palavras-chave: Avaliação de acessibilidade urbana. Sistemas de Informação Geográfica. Santarém. Brasil

1. INTRODUÇÃO

The concept and evaluation of accessibility have been discussed for almost two hundred years. In urban context, that analysis is crucial to conduct a sustainable development process because it is linked with the opportunity of citizens to reach urban facilities and, at the same time, it can promote the reduction of urban traffic or support the improvement of urban transport systems. In one of the most interesting texts about accessibility, Hoggart (1973) sustains that accessibility is associated with the interpretation, implicit or explicit, of the easiness of reaching spatially distributed opportunities. This means that accessibility depends not only on the location of opportunities but also on the easiness of overcoming the spatial separation between individuals and specific places.

In the same line, Ingram (1971) defines accessibility of a place as its characteristic (or advantage) regarding the overcoming of any form of resistance to the movement. This author distinguishes between relative accessibility, which regards the degree of connection between two points on a surface (or network), and integral (or global) accessibility, which refers to the degree of connection between a point and all the other points on a surface (or network). The second proposal, global accessibility, is a very important issue in urban planning process because most of urban investments are capitalized as general investments and not as specific investments. In urban context, the planning processes promote strategic and integrated decision-making in order to strength connectivity and reduce trips.

The way accessibility is evaluated depends on the purpose or objective to be achieved. Morris *et al.* (1979) present an extensive classification and formulation of measures for relative and integral accessibility. In order to clearly set the domain of their study, the global or integral accessibility was defined as the focus of this work. For that reason, it is important that the developed model includes: measures of separation between all the points; measures of separation incorporating the effect of distance; measures of separation incorporating network capacity and restrictions; and complex measures of separation and supply/demand. Other contributions (ALLEN *et al.*, 1993; GEERTMAN *et al.*, 1995; LOVE

and LINDQUIST, 1995; MACKIKIEWICZ *et al.*, 1996; MENDES *et al.*, 2005 and LIMA *et al.*, 2019) proposed accessibility measures that somehow can be framed in the classification of Morris *et al.* (1979).

2. METHODOLOGY

The methodology is described in two steps. The first one identifies the theoretical issues of the multicriteria accessibility evaluation model and focus on the domain of an accessibility index (MENDES and LIMA *et al.*, 2005). The second one explains how the model can be implemented within a Geographical Information System (GIS) in order to map the spatial variation of the accessibility index. Hence, the two steps methodology illustrates a simple process for mapping spatial variation of accessibility to city basic destinations in a global point of view.

2.1. Multicriteria accessibility model

The multicriteria accessibility evaluation model proposed in this research stands on a measure of separation incorporating the effect of distance. The main theoretical points and assumptions of this model regarding envisioning accessibility include:

- i - Accessibility evaluation is related to a certain objective/purpose; in this case we are concerned with accessibility evaluation for basic activities purposes in a city (education, health services, leisure and commerce).
- ii - The accessibility index is a result of the combination of distances to a set of key-destinations, which can be particular points (e.g. facilities), lines (e.g. roads), or areas (e.g. neighborhoods or city blocks);
- iii - Key-destinations are related to different objectives/purposes and can have different priorities (weights) in urban activities;
- iv - In urban context key-destinations can be reached through streets/roads, each one can have different resistance to movement (impedance) depending on its characteristics;
- v - Cost-distances to a key-destination are a result of the combination of actual distances and the impedance of network segments;

vi - Cost-distances to key-destinations can be normalized through fuzzy set functions that, after weighting, represent their contribution to the accessibility index.

The multicriteria accessibility index of a location A_i assessment given by Equation 1 denote the fuzzy set membership function applied to cost-distances by $f(c_{ij})$, and the weight of the key-destination j by w_j .

$$A_i = \sum_j f(c_{ij}) \cdot w_j \quad [\text{Eq. 1}]$$

Points i , for which accessibility is measured, depend on the way space is modelled. The node points of a network dataset should be considered when working with geographic data stored in vector format. Equation 1 is essentially a Weighted Linear Combination, one of the aggregation procedures available in the context of multicriteria evaluation (VOOGD, 1983). In this multicriteria accessibility index, the assessment of c_{ij} represents the cost-distance to a key-destination j from a point i . Both, key-destination j and point i are located within urban area in evaluation.

A very important component of a multicriteria evaluation model concerns the priorities attached to the several key-destinations, i.e. the values of the weights w_j in (Equation 1). The objective of setting weights is to quantify the importance of key-destinations relatively to one another, in terms of their contribution to an overall accessibility index. Among many methods to derive weights established and used by different authors, two are most commonly used Mendes (2000): the n -points scale (originally seven-points scale, as introduced by OSGOOD *et al.*, 1957); and a more complex method called Pairwise Comparisons, which was developed by Saaty (1977) in the context of a decision making process known as Analytical Hierarchy Process (AHP). Both methods are valid and the adoption of one of them depends on the possibility to implement a simple or complex survey.

Cost-distances measured to each key-destination can be expressed in different scales, i.e., one can be available to travel longer distances to a key-destination than to another, giving a

different meaning to identical measured values. For that reason, it is necessary to standardize them before aggregation. The process of standardization is essentially identical to that of fuzzification in fuzzy sets (JIANG and ASTMAN, 2000). Depending on the nature of the criterion being fuzzified, different fuzzy functions can be selected. Among the most used are: Sigmoidal (S-shaped), J-shaped, Linear and Complex (MENDES, 2000). In this model, the objective is to transform any scale to a comparable one measured according to a standardized range (e.g. 0-1). In this work, the result expresses a membership grade that ranges from 0.0 to 1.0, indicating a continuous variation from non-membership (no accessibility) to complete membership (maximum accessibility), on the basis of the cost-distance being fuzzified (Figure 1).

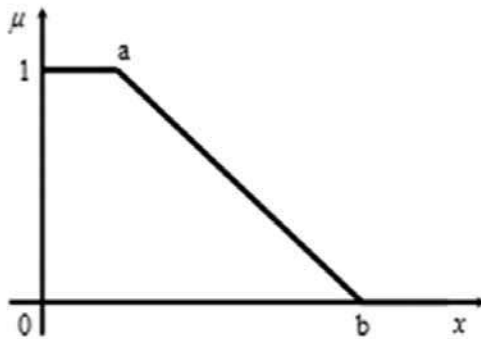


Figure 1: Linear fuzzy set membership function
Source: Author, 2019.

When fuzzifying distance variables, the linear monotonically decreasing function (Figure 1) is one of the most used, for which membership grade μ (i.e., standardized value) is given by Equation 2. Control points a and b are critical points that should be set for each particular situation, considering their inherent meaning.

$$\mu = (x - x_b) (x_b - x_a) \quad [\text{Eq. 2}]$$

2.2. A vector gis-based implementation

Merging multicriteria decision analysis techniques with GIS allows to combine spatial data and analysis with preferences (value judgements), as it can be seen in the work of many authors (such as MENG and MALCZEWSKI, 2015; RODRIGUES *et al.*, 2015; HAWAS *et al.*, 2016; RAMOS *et al.*, 2016; VERONESI *et al.*, 2017 and LIMA *et al.*, 2019) The formal model presented before can be implemented within a GIS environment, making use of the available toolbox set. The implementation depends on the specific characteristics of the *software* adopted. The following paragraphs explain the several stages to be taken on to implement the methodology within a vector GIS-based environment. The detailed information presented for the implementation of each stage implies that the reader is familiarized with GIS environment and toolbox set.

The flowchart of Figure 2 shows the geographical database needs (GIS layers) and the sequence of operations required to complement the attribute table to assess the accessibility index for the network points. The first step of the model is to calculate the cost-distance for each point of the network to each of the key-destinations. This step consists in calculating the OD Matrix from all network points to each key-destination and storing the values as new columns in the attributes table. At the end, the attribute table of the evaluated point's layer must have a number of cost-distances columns equal to the number of key-destinations used in the study undertaken.

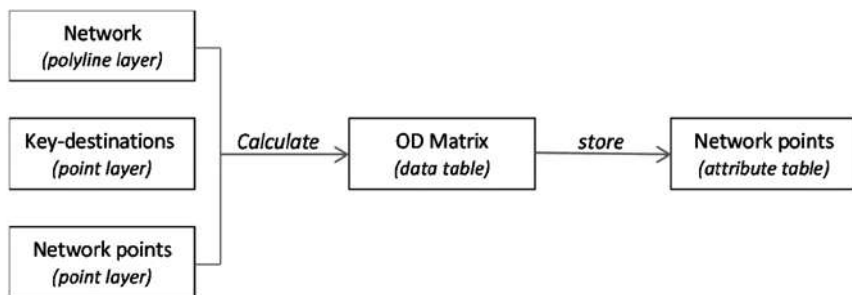


Figure 2: Vector GIS model to calculate cost-distances

Source: Authors, 2019.

Having the cost-distance from network points to all key-destination, the multicriteria procedure is implemented following the flowchart of Figure 3. The sequence of operations starts with the standardization (i.e., the application of the selected fuzzy set functions) followed by the weighting. Afterwards, the accessibility index is obtained by the aggregation of the several weighted standardized cost-distance. This procedure is applied at the attributes level. Once again, new columns must be added to the Table 2 columns for each key-destination (standardization results and weighting results). One last column is added to the attribute table to store the accessibility index.

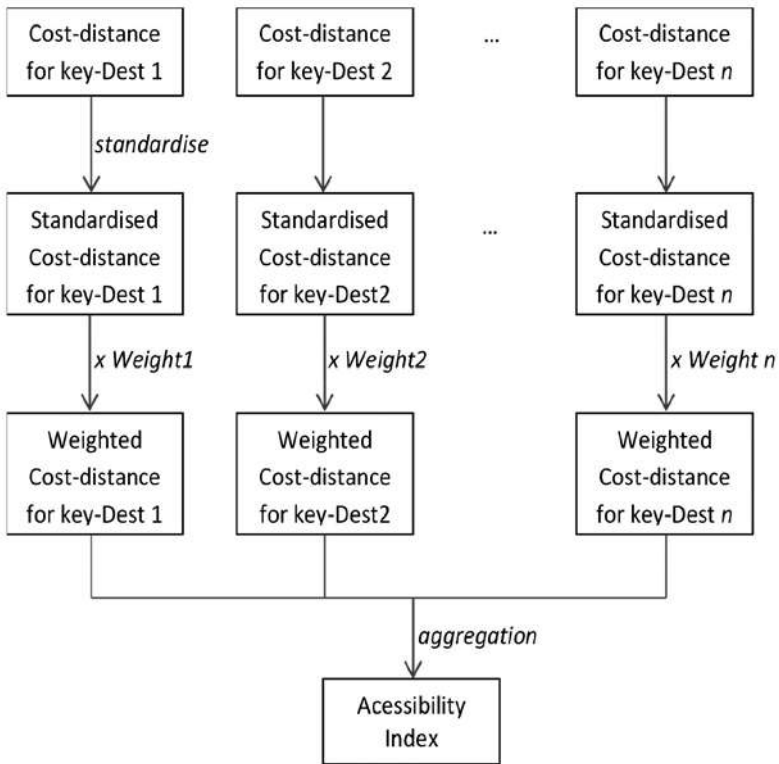


Figure 3: Accessibility index calculation process

Source: Authors, 2019.

With all the spatial calculations concluded, it is possible to generate the accessibility map. The method adopted is building a triangulated irregular network (TIN) that will represent a surface covering the study area. Using as inputs the network points and applying their accessibility index as Z values, the resulting surface will show how accessibility values are distributed along the area by interpolating the obtained values of the network points. The same process can be implemented to create a map to show the accessibility to a specific key destination or a partial group of key-destinations. In this case, the TIN will represent as Z values the weighted cost-distance for a specific key-destination or a partial group.

In order to use the accessibility evaluation model established in this paper, the model must be “customized” to be applied in a particular context under study. This means: (i) to identify the set of key-destinations; (ii) to establish the weights for each key-destination; (iii) to identify the fuzzy set functions to be used; (iv) and to set the control points a and b for the fuzzy set functions.

The proposed methodology can be implemented for any city to show accessibility evaluation in urban area. The evaluation can be put into practice by two different perspectives: as global index for the city area or as a partial index for facilities represented by a key-destination or a partial group. That allows a comparison between the several maps and an analysis of the relevance of partial facilities. Other possibility is to evaluate future scenarios in order to assess the impact of future investments: (i) increasing accessibility network to improve better connectivity (new roads or streets) or urban transport systems; (ii) building new facilities to improve the spatial attendance or to redefine a location.

3. CASE STUDY: SANTAREM, PA - BRAZIL

The city of Santarem is located in the Amazon floodplain, in the Brazilian State of Para. The town is placed on the right side of the Amazon River at the confluence with the Tapajos River and was founded in 1661. Nowadays, Santarem is municipality with 304,589 inhabitants and occupies a territory of 22,887 km² (IBGE, 2019). Most of the population is concentrated in the restricted urban area of the

city of Santarem. The accelerated urban growth occurred from the 1940s Figure 4 and, by the mid-1970s and until the present day, the population of the municipality became majorly urban (Figure 5).

The city economy is based on tourism activities, trade and services. Outside the urban area, farming and fishing are the predominant activities. Like other riverside or coastal cities, the urban morphology is radial and the central business district is located in the old town area along the riverside. The most important access is by boat, with direct links to other cities in the region. By land, the Transamazonica road is the major motorway infrastructure of the region. There is also a connection by air (commercial flights and private) to Belem, capital of the State of Para.

Nowadays, mobility and quality of life are some of the most challenging issues that a development process of a city must take into account. However, the location of the most important facilities in Santarem are the result of previous public infrastructures policies or isolated private initiatives. In addition, the central area of the old town preserves the importance for commerce and leisure activities. Hence, the accessibility evaluation is an important topic in the definition of future facilities buildings locations or in the definition of improvements in the transport infrastructures. The spatial assessment of accessibility to the city most representative facilities in inhabitants' daily activities (education, health, services, leisure and commerce) will be an important contribution to identify urban areas with lower level of accessibility. The results can contribute for future land-use policies and planning decisions that can overcome the actual inequity level of accessibility of the peripheral neighborhoods.

3.1. Santarem road network and impedance

In a GIS environment, the first step was to generate the map of the streets/roads network and to extract the network points to be evaluated (Figure 6). Those points will be used as origins in the accessibility evaluation process. Their distribution revealed to be adequate to guarantee a good coverage of the studied area, this having in mind that the global accessibility is intended to be mapped as a continuous surface.

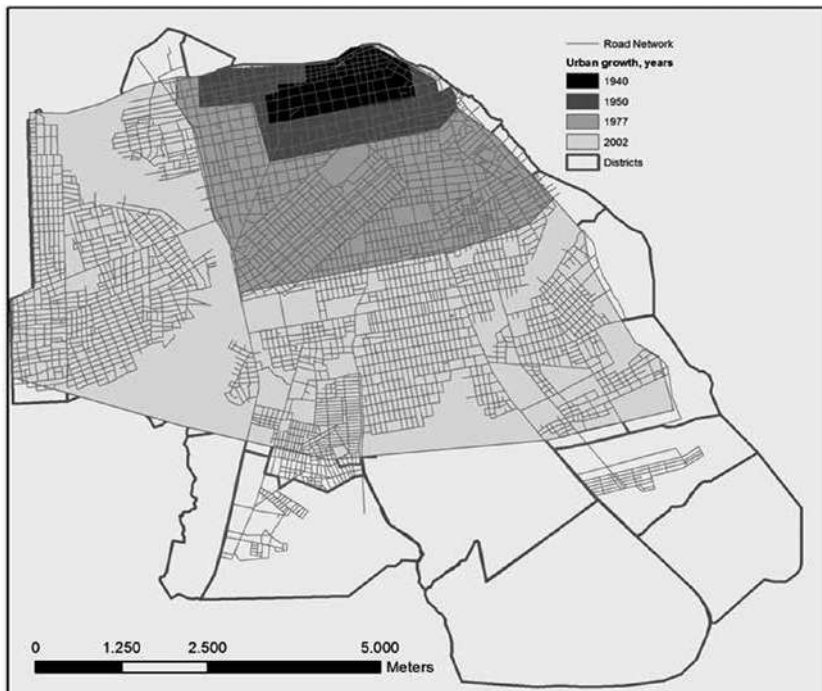


Figura 4: Boundary evolution of the city of Santarem (1940-2002).
Source: IBGE, 2019 (Adapted).

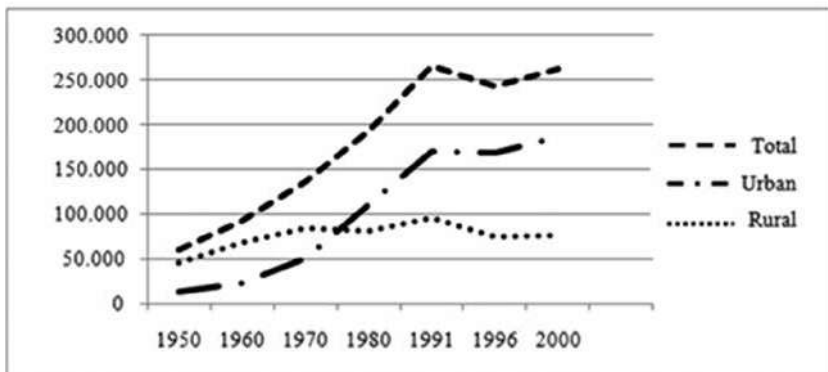


Figure 5: Population growth of the municipality
of Santarem – 1950 to 2000 (IBGE)

Source: IBGE, 2019.

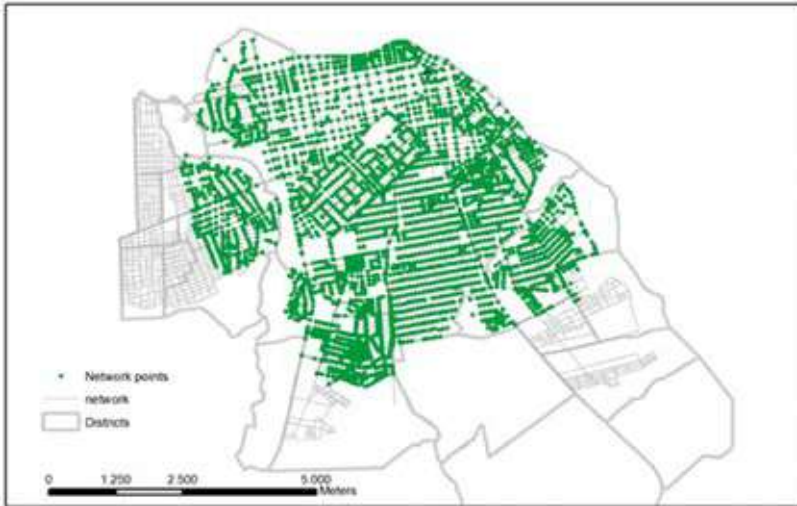


Figure 6: Network points map for Santarem

Source: Global Accessibility, 2019 (Adapted).

Since a network is used to measure distances between origins and key-destinations, the inclusion of impedance was then considered. Combining available data and local observation, it was possible to define an impedance factor for network segments as follow: if the network segment is paved then no impedance factor is applied on the segment length; otherwise, if the network segment is not paved, the distance for travelling on this segment is doubled, corresponding to an effective reduction to half of the travelling speed on a paved segment. Circulation restrictions were also included in the final network model.

3.2. Key-destinations in Santarem

In the case under study, the information needed to carry out the methodology was obtained by a survey. The survey was undertaken, as a pilot test, through a structured questionnaire that included the reasons and destinations listed previously by specialists. The interviewed was also able to suggest new destinations with-in the urban area. First, the pilot test was carry

out only in two districts of the city: one in the center and another at the periphery. Then the survey was applied to a panel of specialists, technicians, professionals and a large random group of residents. It was composed by two phases: the first one to identify the location of the relevant key-destinations in the city of Santarem and to identify the modes of transportation in the city; the second one to obtain the data needed for the aggregation process.

Even not being directly relevant for the accessibility evaluation method, several issues about transports in Santarém, were analyzed in the survey undertaken. Some figures from that part of the survey are the following: 80% of urban trips are related to work, education, commerce, services and entertainment; Over 70% of trips are made by individual motorized transport (car or motorcycle).

From the results of the survey, the identified key-destinations within the city were grouped into functionalities, forming homogeneous sets of key-destinations to perform specific activities: education, health, services, leisure and commerce. Thus, all functionalities were populated by the most relevant key-destinations in the urban area, i.e. schools, hospitals, services buildings, public recreational facilities and shopping areas. The Figure 7 shows the maps with the functionalities location adopted in the study. The Table 1 list and make a short description of the key-destinations.

3.3. Fuzzy set functions and weights

The information required to define fuzzy set functions and weights for the several key destinations was not directly available and, for that reason, an empirical approach was implemented.

The second phase of the survey, as referred in the previous section, served to define the key-destinations relevance (weights) and the maximum distance that interviewed were willing to travel to each one (value of x_b , as define in the section 2.2). This phase of the survey was taken in 24 districts of Santarém, which represented 50% of city districts and 84% of the number of households, equivalent to 46,239 households. The research was household, based assuming

one person per household. A binomial probability sample was used, with 95% confidence level error estimated at 10%, with, 400 households interviewed. The relevance of functionalities and key-destinations was assigned by all the interviewees by scoring each item in a scale of 0 to 100 points. This process intends to capture the perspective of the participants about the importance of each key-destination for the realization of their daily activities.

Table 1: List of the key-destination for the city of Santarem

Funcionalities	Key-destination – short description
Education	Frei Ambrósio School IESPES College Integrated Colleges of Tapajós and Tapajós High School
Health	Aldeia/Fátima Health Center Livramento/S. José Health Center Imaculada Conceição Hospital Municipal Hospital Regional Hospital of West Pará Unimed Hospital
Services	Bank of Brasil Itaú Bank Bradesco Bank Caixa Econômica Bank Bookkeeper of Rui Barbosa street Central Post Office
Leisure	Shopping Centre of Santarém Municipal Market CR Supermarket Candilha Fair Mercadão 2000 Fair
Commerce	Santarém waterfront Church of the Peace Assemblies of God Church Mariscada Bar Mascote Restaurant

Source: Authors, 2019.

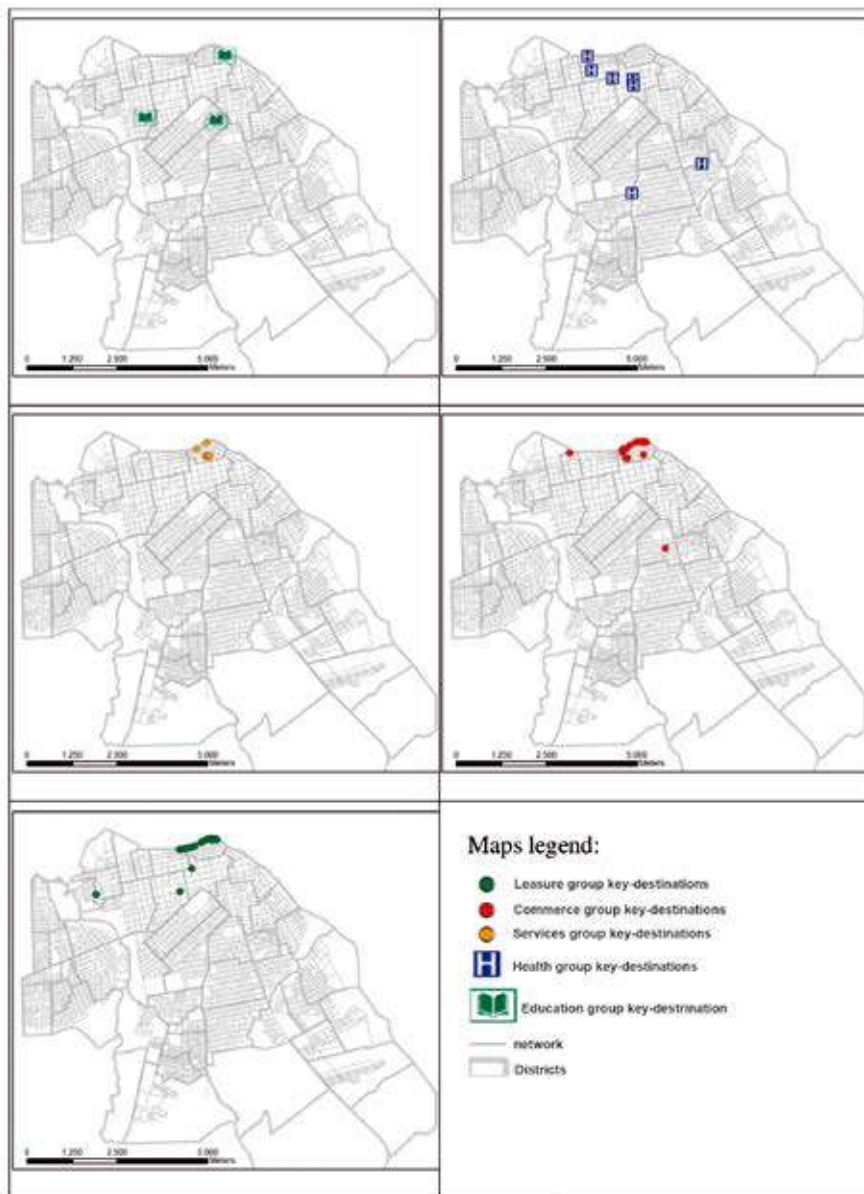


Figure 7: Key-destination maps for Santarem
Source: Global Acessibly, 2019 (Adapted).

Using data compiled from the interviewees answers, the weights of the key-destinations and the functionalities groups were obtained: for each evaluated item, the average value of points assigned was calculated and then transformed in a percentage corresponding to the portion of all points assigned to all items of the group. Interviewees were also asked to point out the minimum and maximum distances that corresponds to full and no accessibility for each key-destination. Reporting to the model application, those values are used to determine the control points for the standardization functions (Equation 2).

The questionnaire for the second phase of the survey had the following fields:

- Identification of the basic socioeconomic interviewed;
- A column with the functionalities: a study, health services, leisure and commerce;
- Weights of functionalities;
- A column with the key-destinations;
- Weight of the key-destinations;
- Minimum distance to assume full accessibility for each available key-destination.
- Maximum distance to be travelled for each available key-destination.

The Table 2 shows the relevant data that were used to feed the evaluation model as parameters values.

3.4. Accessibility mapping

Applying the proposed model to calculate accessibility indexes for all points within a GIS platform is possible when taking advantages of database management. All key-destinations data must be stored in a table in order to perform further calculations that require standardization and weighting. Control points (minimum and maximum distances) must be assigned to each key-destination to allow the standardization of distance values through the fuzzy function. Then, the shortest distance to each key-destination must

be identified and stored in the attribute table of the point layer. This step is performed using a tool for network analysis that generates OD Matrices. Network points are designated as origins and all the key-destinations (points) as destinations. The results are the shortest path over the network from each origin to each destination. To transpose those values into the attributes table of the network points layer, new columns were added and unique column identifier assigned in order to keep the relationship with the key-destinations. The existent one to one relationship between network points identifiers and key-destinations identifiers is used to ensure that the values transfer is applied successfully. This step was performed twice in order to obtain an OD matrix using each version of the network, i.e., including or not pavement impedance.

Table 2: Weights and control distances for functionalities and key-destinations for Santarem

Functionalities	Weights	Key-destinations	Weights	Min. Distance (m)	Max. Distance (m)
Education	0.14	Frei Ambrósio School	0.38	721	2770
		IESPES College	0.15	1261	3794
		Integrated Colleges of Tapajós and Tapajós High School	0.47	1503	3764
Health	0.2	Aldeia/Fátima Health Center	0.08	598	1460
		Livramento/S. José Health Center	0.06	3271	4579
		Imaculada Conceição Hospital	0.08	1677	3362
		Municipal Hospital	0.46	1525	3629
		Regional Hospital of West Pará	0.07	850	2695
		Unimed Hospital	0.25	1311	3697
Services	0.23	Bank of Brasil	0.18	1004	3556
		Itaú Bank	0.38	1689	3528
		Bradesco Bank	0.18	1121	3511
		Caixa Econômica Bank	0.11	1962	4764
		Central Post Office	0.07	470	2370
		Bookkeeper of Rui Barbosa street	0.08	1528	4416
Commerce	0.26	Shopping Centre of Santarém	0.62	987	3804
		Municipal Market	0.07	299	1792
		CR Supermarket	0.14	695	3821
		Candilha Fair	0.08	1017	4060
		Mercadão 2000 Fair	0.09	609	2959
Leisure	0.17	Santarém waterfront	0.57	785	3942
		Church of the Peace	0.25	681	3106
		Assemblies of God Church	0.08	507	2472
		Mariscada Bar	0.06	681	2517
		Mascote Restaurant	0.04	643	2382

Source: Authors, 2019 (Adapted).

As the next calculation steps are associated to the standardization of values and the index calculation, once again, new columns were added to the network points attribute table: one column for each key-destination to store the standardized values and one extra column to store the final accessibility indexes values. The standardization was performed applying the chosen fuzzy function formula to each distance value using the “Field Calculator” tool. With all distances standardized, the accessibility indexes were finally calculated using the same tool to apply the aggregation formula from the proposed model.

With the conclusion of the calculation process, the map production started. To generate a continuous surface that can illustrate how the accessibility to key-destinations varies over the study area, a triangulated irregular network (TIN) was created. The network points were used as mass points, covering the study area, and the accessibility index values was designated as Z values. Using those parameters, the resulting TIN “filled” the study area with accessibility indexes values. Figures 8 and 9 shows the accessibility index map obtained by changing the TIN representation as a graduated color ramp that varies from red (lowest values) to green (higher values).

3.5. Case study conclusions

The implementation of the methodology in Santarém indicates that an adequate number of key-destinations could be easily adopted to evaluate the accessibility index. Moreover, the GIS environment and the representation of the index in a map give the opportunity to analyse the spatial distribution and to understand how levels of global accessibility index to key destinations vary along the studied area.

A detailed analysis of the map show in Figure 8 and 9 highlights the following aspects of the case studied:

- The concentration of key-destination for several functionalities in the central area of the city gives high level of accessibility for that part of city;

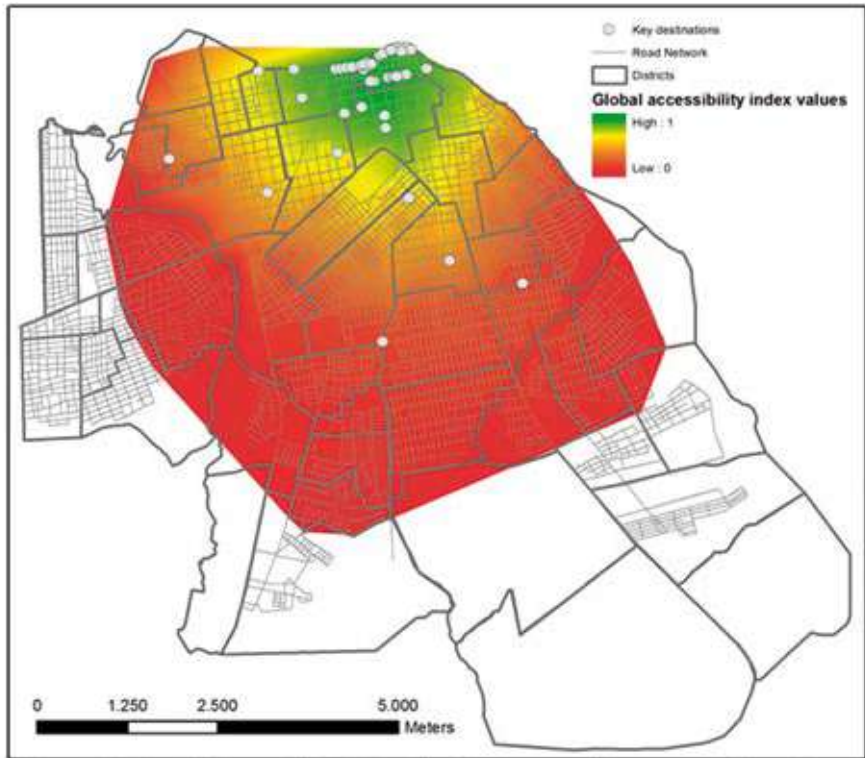


Figura 8: Map of Accessibility Index for Santarem with pavement impedance

Source: Global Accessibility, 2019 (Adapted).

- Outside the central area, about 2km, we found some facilities distributed along a peripheral arc;
- In the outside peripheral area, between 2.5km and the limit of the city, there are none relevant facilities for the city;
- The accessibility values found in the central area and in the area inside the arc of 2 km are relevant and identifies good access to the most important facilities in the city;
- However, outside the 2.5km peripheral arc the accessibility to the facilities is very low;

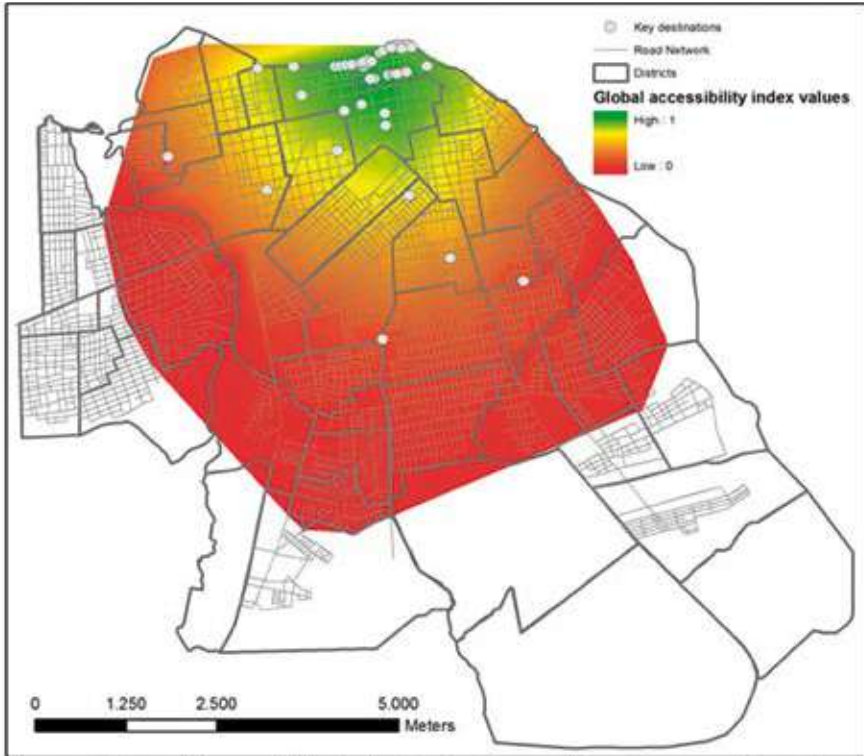


Figura 9: Map of Accessibility Index for Santarém without pavement impedance

Source: Global Accessibility, 2019 (Adapted).

- The spatial distribution of the accessibility index highlights the maintenance of the importance of downtown area (the old town) and the necessity of long trip for the inhabitants' daily activities.

For better understanding the results differences achieved when pavement impedance is including or not in the calculation process, Figure 10 is presented. It is the result of the algebraic difference between the previous maps (Figures 8 and 9). It can be seen that global accessibility indexes values can differ in worst cases almost 0.2, near 20% of the full scale. It confirms that details about the network that has influence on accessibility must be integrated in the evaluation process.

4. CONCLUSIONS

In this paper a multicriteria accessibility evaluation model was developed within a GIS environment. The proposed model calculates an accessibility index given by the weighted summation of cost-distances to a number of key-destinations. Relevant elements in this model include:

- The calculation of cost-distances making use of a road network with friction that represents the resistance to movement.
- The standardization of cost-distances using fuzzy set membership functions that, when calibrated, represent much better the effect of distance in the evaluation.
- The combination of cost-distances taking into account the relative weight of key-destinations in the evaluation.
- The implementation in a GIS environment, taking advantage of the map algebra and visualization toolbox.

In that context, the methodology proposed for the accessibility index evaluation within a GIS framework forms a tool for an easy and ample assessment of urban spatial distribution of the most relevant facilities access. Moreover, it helps to identify the relationships between street patterns and urban morphology related to big traffic generators/attractors, i.e. hospitals, schools, services, leisure or shopping areas. In such way, the method can be used for monitoring and supporting transport policies and facilities location.

Hence, the results of this model application can support city administration decision-making for new investments in order to improve urban quality of live. In addition, the model can simulate and analyze several planning proposals for the city, e.g., expansion of the transport network, the construction of new education and health services, helping to understand which will be the consequences of those actions.

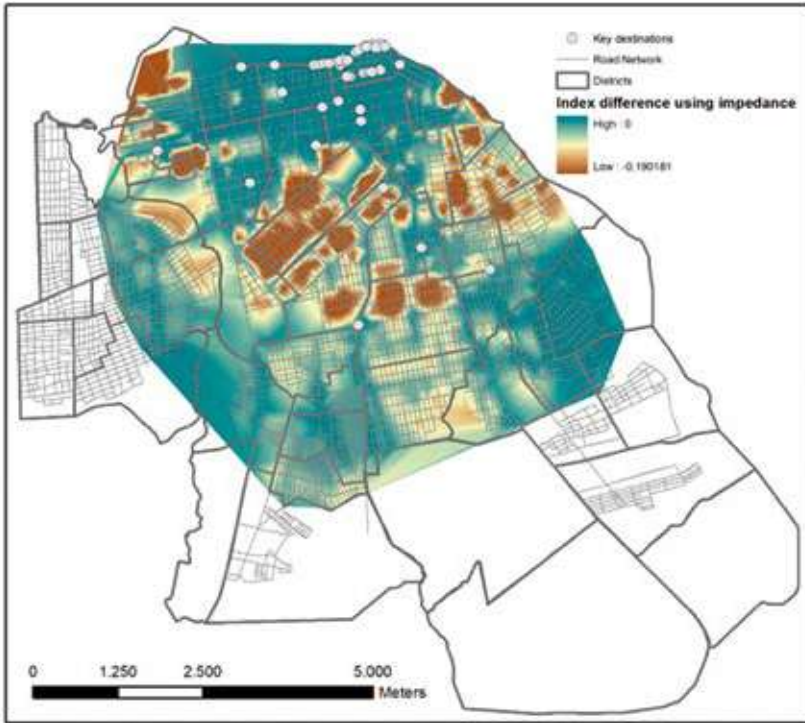


Figure 10: Map showing index differences setting or not pavement impedance on the network

Source: Global Accessibility, 2019 (Adapted).

REFERÊNCIAS

- ALLEN, W. B.; LIU, D. and SINGER, S. (1993). Accessibility Measures of U.S. Metropolitan Areas. *Transportation Research. Part B, Methodological*, 27(6), 439-450.
- FERREIRA, J. D. TOBIAS, M. S. G.; OLIVEIRA, J. M. G. C. and LOURENÇO, J. M. (2010). *Análise dos fatores determinantes do plano-processo de Santarém-Pa-Brasil*. AICA, December (2), 17-28.
- GEERTMAN, S. C. M. and VAN ECK, J. R. R. (1995). GIS and Models of Accessibility Potential: an Application in Planning. *International Journal of Geographical Information Systems*, 9 (1), 67-80.
- HAWAS, Y. E.; HASSAN, M. N. and ABULIBDEH, A. (2016). A multi-criteria approach of assessing public transport accessibility at a strategic level, *Journal of Transport Geography*, 57, 19-34.

- HOGGART, K. (1973). Transportation Accessibility: some references concerning applications, definitions, importance and index construction. *Council of Planning Librarians: Exchange Bibliography* 482, Monticello.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2019). *Estimativa de População no Brasil e Unidades da Federação*. Rio de Janeiro, Brazil. Disponível em: ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2019/estimativa_dou_2019.pdf. Accessed on 18/11/19.
- INGRAM, D. R. (1971). *The Concept of Accessibility: a search for an operational form*. *Regional Studies*, 5(2), 101-107
- JIANG, H. and EASTMAN, J. R. (2000). Application of Fuzzy Measures in Multi-criteria Evaluation in GIS. *International Journal of Geographical Information Science*, 14(2), 173-184.
- LIMA, J. P.; ABITANTE, J. C.; PONS, N. A. D. and SENNE, C. M. (2019). *A Spatial Fuzzy Multicriteria Analysis of Accessibility: A Case Study in Brazil*. *Sustainability*, 11(12), 3407.
- LOVE, D. and LINDQUIST, P. (1995). *The Geographical Accessibility of Hospitals to the Aged: a Geographical Information Systems Analysis within Illinois*. *Health Services Research*, 29(6), 629-652.
- MACKIEWICZ, A. and RATAJCZAK, W. (1996). Towards a New Definition of Topological Accessibility. *Transportation Research. Part B, Methodological*, 30(1), 47-79.
- MENDES, J. F. G. (2000). Decision Strategy Spectrum for the Evaluation of Quality of Life in Cities. In Foo Tuan SEIK, LIM LAN YUAN and GRACE WONG KHEI MIE (eds.), *Planning for a Better Quality of Life in Cities*, NUS, Singapore, 35-53.
- MENDES, J. F. G.; RODRIGUES, D. S. and RAMOS, R. A. R. (2005). A GIS-based multicriteria model for the evaluation of territorial accessibility. In A. KUNGOLOS, C.A. BREBBIA and E. BERIATOS (eds), *Sustainable Development and Planning II*, 795-804, WITpress, Southampton.
- MENG, T. and MALCZEWSKI, J. (2015). A GIS-based multicriteria decision making approach for evaluating accessibility to public parks in Calgary, Alberta, *Human Geographies – Journal of Studies and Research in Human Geography*, 9(1).
- MORRIS, J. M.; DUMBLE, P. L. and WIGAN, M. R. (1979). Accessibility Indicators for Transport Planning. *Transportation Research. Part A, Policy and Practice*, 13(2), 91-109.
- OSGOOD, C. E.; SUCI, G. J. and TANNENBAUM, P. H. (1957). *The Measurement of Meaning*. *University of Illinois Press*, Urbana.
- RAMOS R. A. R. and FONSECA F. (2016). A methodology to identify a network of industrial parks in the Ave valley, Portugal, *European Planning Studies*, 24 (10), 1844-1862.

- RODRIGUES D. S.; RIBEIRO P. J. G. and NOGUEIRA I. (2015). Safety classification using GIS in decision-making process to define priority road interventions, *Journal of Transport Geography*, 43, 101-110.
- SAATY, T. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*. 15, 234-281
- VERONESI, F.; SCHITO, J.; GRASSI, S. and RAUBAL, M. (2017). Automatic selection of weights for GIS-based multicriteria decision analysis: Site selection of transmission towers as a case study. *Applied Geography*. 83, 78–85.
- VOOGD, H. (1983). *Multicriteria Evaluation for Urban and Regional Planning*. Pion, London

Endereço para correspondência:

- (1) Rodrigues, Daniel Souto – E-mail: dsr@civil.uminho.pt;
 - (2) Ramos, António Rodrigues – E-mail: rui.amos@civil.uminho.pt;
 - (3) Tobias, Maisa Sales Gama – E-mail: isatobias1@gmail.com.
- (1;2) Universidade do Minho – Escola de Engenharia, Campus de Azurém, 4804-533 – Guimarães, Portugal.
- (3) Universidade Federal do Pará - UFPA/PPGENAV - Campus Guamá, Belém-Pará-Brasil.

ANÁLISE DE ESFORÇOS RESULTANTES DE IMPACTOS ENTRE BARCAÇAS DE COMBOIOS FLUVIAIS PARA MODELAGEM DE SISTEMA DE AMORTECIMENTO DE CHOQUES UTILIZANDO TEORIA DE ANÁLISE MULTI-CORPOS

ANALYSIS OF RESULTING EFFORTS FROM IMPACTS BETWEEN RIVER TRAIN BARGES FOR SHOCK DAMPING SYSTEM MODELING USING MULTI-BODY ANALYSIS THEORY

CRUZ, F. C.¹; SOEIRO, N S²; MORAES, H. B³
(1;2;3) Universidade Federal do Pará

RESUMO

Sabe-se que a produção brasileira de grãos é referência mundial no que diz respeito a sua qualidade e eficiência, porém a estrutura logística de transporte não é suficiente para acompanhar o potencial de produção do país. Com a necessidade da integração logística entre diferentes modais de transporte, são delimitadas prioridades para o desenvolvimento de um modelo de resposta adequado com a capacidade de exportação de grãos sólidos por parte do setor agrícola brasileiro. Dentro deste cenário, o modal fluvial, representado pelos comboios de empurra fluviais, assume um papel crucial para atender essa demanda. Entretanto, a presença de solicitações estruturais que surgem na região de acoplamento entre as barcaças que formam os comboios acabam onerando o processo. Esses entraves são percebidos e acabam prejudicando a segurança operacional dos comboios, elevando os custos de manutenção das barcaças, influenciados pela elevada incidência de ondas, ventos e correntezas. Com o intuito de realizar uma análise global em torno desse problema técnico, este trabalho assume

um papel desbravador com o intuito de caracterizar o problema de impacto entre barcaças de comboios utilizando ferramentas de elementos finitos como mecanismo de aquisição e validação de dados, para isso a utilização do *software* ANSYS AQWA é proposta para avaliação do comportamento global do sistema.

Palavras-chave: Barcaças. Transporte. Comboio. Tensões.

ABSTRACT

It is known that the Brazilian grain production is a world reference when we talk about quality and efficiency, but the structure of transport is not enough to keep up with the country's production potential. With the need for logistic integration between different modes of transport, priorities are defined for the development of a response model that is in line with the growing flow of products that travel throughout the country, much in function of the export capacity of solid bulk cargoes of the Brazilian agricultural sector. Within this scenario, the fluvial modal, represented by barge flotillas, plays a crucial role in meeting this growing production. However, the presence of structural stresses, that arise in the region of coupling between the barges that form the flotillas, end up burdening the process. These obstacles are perceived and end up hampering the operational safety of the flotillas, raising the maintenance costs of the barges, influenced by the high incidence of waves, winds and currents. Thus, it is necessary to carry out analysis about the high collisions rates between barges in formation, besides the search for current mechanisms of attraction and mitigation of tensions and impacts. In order to carry out an overall analysis of this technical problem, this work has a pioneering role in characterizing the impact issues between barges using finite element tools as a mechanism for data acquisition and validation, for this purpose the application of ANSYS AQWA is proposed to evaluate the overall behavior of the system.

Keywords: Barges. Transport. Convoy. Stresses.

1. INTRODUÇÃO

O atual cenário da navegação de comboios fluviais para o transporte de soja na região Amazônica, apresenta, dentro de suas problemáticas principais, a presença de impactos que surgem na região de acoplamento entre as barcaças que formam os comboios, quando estes navegam em regiões com elevada incidência de ventos e ondas.

Levando-se em conta esse problema, elaborou-se um estudo para desenvolver um modelo de aferição de esforços de contato entre barcaças que formam comboios fluviais. As principais medidas necessárias ao desenvolvimento tecnológico do sistema de transporte fluvial brasileiro devem estar correlacionadas com a revisão das características do sistema de amarração, condições estruturais e com o padrão de resposta a um ambiente com elevada incidência de ondas e ventos.

Com isso, é possível verificar a capacidade de absorção de esforços do sistema de amarras que interligam as barcaças do comboio fluvial. Ao mesmo tempo, pode-se realizar um estudo hidrodinâmico para averiguar qual a melhor formação de comboio capaz de lidar com ondas com o padrão de frequência de incidência, altura e comprimentos de ondas da região da Baía do Marajó.

Em Consolazio, Walters e Harper (2012) é possível identificar que dois tipos de modelos de barcaças modeladas em elementos finitos podem ser desenvolvidos para se estudar o comportamento das relações internas das formações de comboios fluviais. Diferentes tipos de barcaças são diferenciados principalmente pelo seu papel na formação.

Em Nagado, Lukine e Mendonça (2012) encontramos um trabalho de análise de um sistema de balsas modulares de travessia composto por três módulos de carregamento e um módulo de propulsão. Esse sistema é utilizado para movimentação de veículos e cargas pesadas de regiões oceânicas para regiões costeiras. As conexões não lineares entre os módulos e os movimentos combinados do sistema são de interesse para a

segurança operacional. Dessa forma, uma simulação numérica utilizando o *ANSYS AQWA* é realizada para reproduzir os padrões de movimento e estimar os carregamentos sobre as conexões.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Diversos modelos numéricos baseados na teoria potencial acabaram se tornando ferramentas muito eficientes para prever o padrão de movimento de estruturas flutuantes. Na verdade, estas ferramentas, quando utilizadas, acabam gerando resultados satisfatórios, mesmo com problemas relacionados com a adequação da teoria dentro da área de pequenos movimentos, sem a presença de efeitos de viscosidade e pequenos intervalos de ondas.

Existem três maneiras de prever os movimentos de uma embarcação em um dado padrão de onda para um espectro definido. Estatisticamente, a partir do momento que os Operadores de Amplitude de Resposta são encontrados, o espectro de energia para vários movimentos pode ser encontrado e discutido.

2.1. Simulação no Domínio da Frequência

Um mar irregular pode ser representado por uma superposição de ondas sinusoidais regulares em fase randômicas, as respostas a esses componentes de onda podem ser encontradas e combinadas e determinar assim a resposta do navio. A resposta real em qualquer instante dependerá das relações de fase. Para dar uma representação razoável do comportamento do navio, a simulação deve continuar durante um longo período de tempo. Caso contrário, os resultados só podem ser aplicados a um período relativamente quiescente, ou a períodos separados.

2.2. Simulação no Domínio do Tempo

Na simulação de domínio do tempo, não usamos os RAOs. Em vez disso, um espectro específico de ondas é assumido e o navio é colocado no mar resultante. As forças e os momentos que

atuam no navio são calculados e as suas variações de atitude são deduzidas. A forma de casco imerso variará com o tempo, de modo que os efeitos de acoplamento cruzado devido a essas mudanças serão incorporados na análise.

Será apreciado que este método é útil no estudo de estanqueidade e da colisão de proa, pois estes dependem do histórico de tempo real da altura das ondas em relação à embarcação. A simulação deve ser realizada durante um longo período de tempo para obter bons resultados.

2.3. Dinâmica do Movimento e impacto entre Barcaças

De acordo com Nagado, Lukine e Mendonça (2012), o movimento de uma barcaça retangular em meio flutuante pode ser estudado dentro da teoria de escoamento potencial. Sabe-se que técnicas de simulação numérica podem ser baseadas no método de correlação de equações *Euler-Lagrange*. Isso acaba permitindo a simulação do escoamento e da descrição dos movimentos resultantes tanto a partir das condições de contorno lineares ou não lineares, atuantes sobre o casco e sobre a superfície livre.

Com base em Nagado, Lukine e Mendonça (2012), o movimento de *roll* (jogo), próximo ou não de sua região de ressonância, é uma exceção à regra para previsão de movimentos de navios e barcaças. Sabendo-se que existem formulações de radiação de difração conhecidas por predizer a resposta de movimento. Para barcaças, entretanto, a não linearidade das forças de excitação (devido à grande variação da superfície molhada do casco) deve ser levada em consideração.

Eda (1972) propõe um teste em escala reduzida de uma formação de barcaças simples utilizando um fator de redução de escala de 50, utilizando como referência para isso modelos de barcaças com um comprimento total de 191,56 pés (58,4 m), 35 pés (10,67 m) de largura e um pontal de 14,58 pés (4,44 m), calculando as características hidrodinâmicas para um calado de 10,42 pés (3,18 m). Neste trabalho se obtém dados das forças verticais e longitudinais, além dos momentos fletores laterais nas

conexões das barcaças a partir de um teste com modelos em escala reduzida. Foram consideradas para este experimento barcaças totalmente carregadas, bem como um número de *Froude* de 0,15 para o conjunto, correspondendo a um valor de 7 nós em escala real. A relação entre a altura de onda e o comprimento de onda foi da ordem de 1/100.

Com base em Eda (1972), os procedimentos computacionais foram realizados para prever as respostas das forças verticais e dos momentos fletores laterais atuantes em comboios de barcaças. Nessa análise, o sistema foi restringido no plano horizontal (efeito dos movimentos de *surge*, *sway* e *yaw* foram desconsiderados) e submetido a um movimento uniforme com velocidade constante.

Com base em Silva (2012), as condições de navegação entre dois navios separados por uma distância menor que 3 metros apresentam alguns aspectos complicadores, dentro do ponto de vista hidrodinâmico. Na verdade, importantes efeitos são envolvidos com base no comportamento do fluido que escoia entre os cascos.

2.4. Elementos de Defensas e de Cabos

Dentro da análise do programa ANSYS AQWA o modelo de defesa utilizado é definido com base elemento contendo um componente de rigidez não linear, uma componente de fricção e outra de amortecimento. Atua somente na compressão entre pontos de uma estrutura a outra. Denotando L_0 como o comprimento inicial da defesa não submetida a esforços de compressão, T a magnitude da força de compressão definida por uma função polinomial de quinta ordem representada pela EQ. 1. Esta função de quinta ordem foi estabelecida com base no ANSYS (2012), resultando em ferramenta de cálculo computacional.

$$T = \begin{cases} K_1 \Delta L + K_2 (\Delta L)^2 + K_3 (\Delta L)^3 + K_4 (\Delta L)^4 + K_5 (\Delta L)^5 & \text{se } \Delta L > 0 \\ 0 & \text{se } \Delta L \leq 0 \end{cases} \quad [\text{EQ. 1}]$$

Onde k_j ($j=1,5$) são os coeficientes da função polinomial e $\Delta L=L_0-L_d$, onde L_d é a distância entre dois pontos de contato entre defensas. A componente de fricção deste elemento é calculada com base na EQ. 2.

$$F_f = \mu T \quad [\text{EQ. 2}]$$

A força de amortecimento é apenas aplicada na direção da força de compressão, perpendicular ao plano de contato da defesa com a superfície do casco da barça. A modelagem é feita com base em um material com amortecimento linear na EQ. (3).

$$F_d = \beta K_f \frac{dL_d}{dt} \quad [\text{EQ. 3}]$$

Onde β é o coeficiente de amortecimento e k_f o termo de rigidez do elemento de defesa. A Figura 1 delimita o modelo de ilustração da aplicação do elemento fender no *software* ANSYS AQWA.

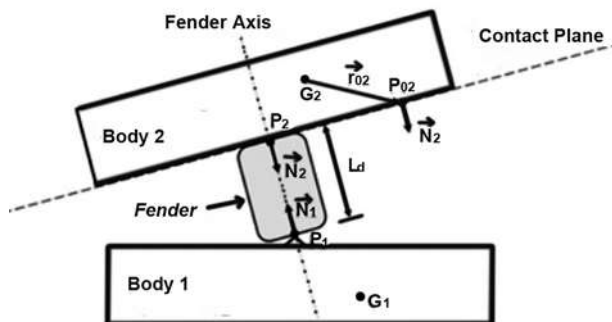


Figura 1: Representação de um elemento de defesa fixo ao corpo 1 e entrando em contato com o corpo 2, dentro da modelagem do ANSYS AQWA

Fonte: ANSYS, 2012.

Os elementos de conexão entre cascos são representados por elementos tubulares como descritos na Figura 2.

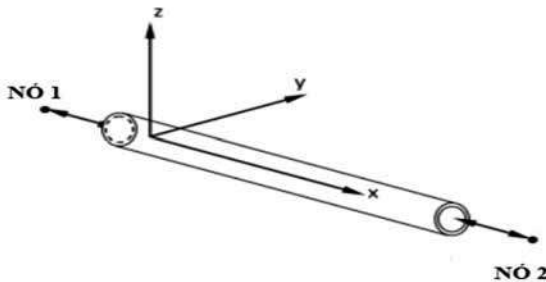


Figura 2 : Elemento com seção tubular representando os elementos utilizados pelo ANSYS AQWA, 2017

Fonte: ANSYS, 2012.

Um modelo simples numérico de conjunto de amarração é empregado, sendo definido com base na sua rigidez por unidade de comprimento, pelo comprimento do cabo não estendido e por dois pontos utilizados pelas linhas de amarração. Essa linha é considerada sem massa, e acaba sendo definida por uma linha reta. No que concerne a função matemática que rege o comportamento deste elemento, destacamos a seguinte relação dada pela EQ. 4.

$$T = \begin{cases} K(L - L_0) & \text{se } L > L_0 \\ 0 & \text{se } L \leq L_0 \end{cases} \quad [\text{EQ. 4}]$$

Onde:

K : Rigidez por unidade de comprimento do cabo de amarração;

L_0 : Comprimento inicial do cabo de amarração modelado;

L : Alongamento definido pela relação $|X_1(t) - X_2(t)|$;

t : Variável que representa o tempo;

$X_1(t)$ e $X_2(t)$: Coordenadas dos pontos de atracação para cada um dos corpos flutuantes interligados.

▪ Principais Equações para Análise no Domínio da Frequência

Conforme Menezes (2013), as forças externas são classificadas de acordo com a restauração hidrostática, a força de excitação de onda e a reação do meio fluido aos movimentos do corpo (forças de irradiação), conforme encontramos pela EQ. 5.

$$\left((M_{j,k} + A_{j,k}(\omega)) \ddot{x}_j + (B_{j,k}(\omega) + B_{ex\ j,k}) \dot{x}_j + (C_{j,k} + C_{ex\ j,k}) x_j \right) = F_j^{ext} \quad [\text{EQ. 5}]$$

Onde:

j e **k**: correspondem aos graus de liberdade variando de 1 à 6;

M: Matriz que agrupa os termos de massa do navio, tomando a forma de momento de inércia para movimentos rotacionais;

A: Corresponde a matriz massa-adicional de água deslocada oriundo do potencial de movimentação do navio;

B: É a matriz que constitui a soma das matrizes de amortecimento potencial obtida a partir do potencial de irradiação;

B_{ex}: Corresponde a matriz de amortecimento externo, que é independente da frequência, útil para incluir termos viscosos que não são cobertos pela teoria potencial;

C: Corresponde a matriz de restauração hidrostática, dependendo das formas do casco;

C_{ex}: Matriz de restauração externa. Pode ser utilizada para incluir efeitos de restauração que não se devem a geometria do casco em si (linhas de ancoragem, por exemplo);

F: Informa os valores das forças de excitação, sendo composta pela soma das forças devido aos potenciais de onda incidente e de difração.

Com base em Pinheiro (2015) e em Menezes (2013), ao supor que as forças de excitação são harmônicas no tempo conforme a EQ. (6).

$$F = f_j e^{-i\omega t + \delta} \quad [\text{EQ. 6}]$$

Nesse caso os deslocamentos também apresentarão comportamento harmônico conforme a EQ. (7).

$$X = x e^{-i\omega t + \varphi} \quad [\text{EQ. 7}]$$

As expressões que descrevem o comportamento das velocidades e das acelerações são obtidas através das derivadas de deslocamento conforme as EQ. 8 e 9.

$$\dot{X} = -ix\omega e^{-i\omega t + \varphi} \quad [\text{EQ. 8}]$$

$$\ddot{X} = -x\omega^2 e^{-i\omega t + \varphi} \quad [\text{EQ. 9}]$$

Substituindo-se os componentes harmônicas da EQ. (8) e EQ. 9 pela EQ. 5, obtemos a EQ. 10.

$$(-\omega^2 \cdot (M_{j,k} + A_{j,k}(\omega)) - i\omega(B_{j,k}(\omega) + B_{ex,j,k}) + (C_{j,k} + C_{ex,j,k}))x e^{-i\omega t + \varphi} = f_j e^{-i\omega t + \delta} \quad [\text{EQ. 10}]$$

3. DESENVOLVIMENTO

Após a revisão e organização das principais referências teóricas, a seleção do modelo da embarcação que será utilizada para o estudo de caso foi feita, levando-se em conta as suas características hidrostáticas, características estruturais e a complexidade da forma do casco, para os formatos de barcasas do tipo *Box* e *Raked*.

Com a modelagem tridimensional concluída em plataforma computacional o procedimento de análise de elementos finitos pode ser realizado com o intuito de determinar o nível dos esforços provenientes do choque entre os modelos das embarcações.

Para a modelagem computacional em três dimensões utilizamos o *software* Rhinoceros 4.0 para modelar os cascos das embarcações em formato tridimensional, devido a sua interface de trabalho de fácil manuseio e aprendizado intuitivo.

Com base na ANSYS (2012), existe a possibilidade da simulação do comportamento de determinada forma de corpo flutuante em um ambiente com ondas, ventos e correntezas apresentar inconsistências no que diz respeito a sua análise de validação. O modelo poderá ser acoplado a um mecanismo numérico de células de cargas, presente no próprio AQWA, para determinação dos esforços provenientes do contato entre as embarcações alocadas nas partes da proa e da popa dos corpos.

Com base nas informações providas do plano de arranjo geral de barcasas de minério de ferro, foi possível edificar o casco no Rhinoceros 4.0 e exportá-lo para o ANSYS AQWA 2012.

Deve-se atentar para o fato de que o centro de gravidade das barcaças de minério de ferro ter sido posicionado a 65% do pontal das embarcações, na condição totalmente carregada. Esta posição do centro de gravidade foi estabelecida pelos próprios autores do trabalho, haja vista que não existiam documentos especificando as posições vertical, transversal e longitudinal do centro de gravidade para o modelo de embarcação empregado.

Essa posição virtual do centro de gravidade pode levar a níveis mais acentuados de esforços. Desse modo, a Figura 3 mostra a vista em perspectiva de dois cascos atracados com a posição do centro de gravidade delimitada pelos pontos verdes.

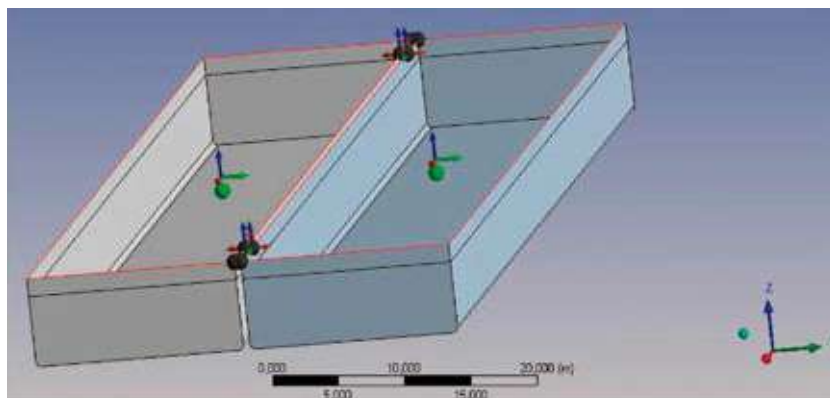


Figura 3 : Vista em Perspectiva do modelo tridimensional de duas barcaças de minério de ferro acopladas

Fonte: ANSYS, 2012.

Para o elemento da defesa foi aplicado um modelo de defesa Omnidirecional, com capacidade de responder a esforços nas três direções cartesianas, levando-se em consideração a componente de fricção e do amortecimento normal à superfície da defesa indicada pela Figura 4.

A quantidade de elementos de painéis planos utilizados para representar a superfície dos cascos das barcaças é da ordem de 8592 painéis. Utilizou-se um tamanho máximo de elementos de 1,3 m, obtendo-se assim uma frequência máxima de cálculo da ordem de 0,535 Hz – frequência de encontro das ondas com

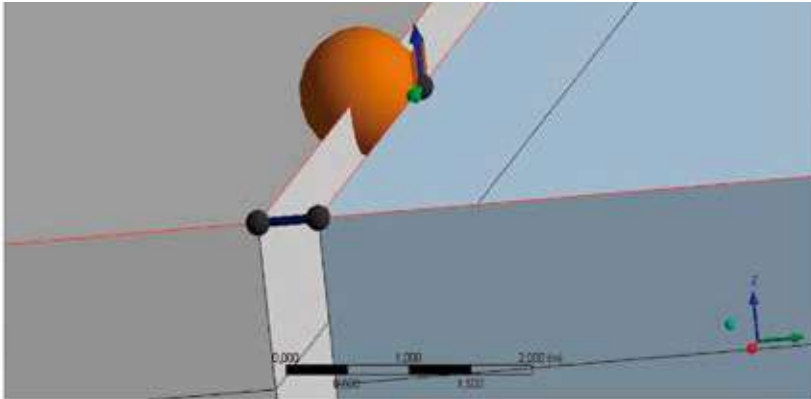


Figura 4: Vista do Elemento Representativo do Cabo de Amarração e do Elemento de Defesa

Fonte: ANSYS, 2012.

as embarcações acopladas calculada pelo ANSYS AQWA, sendo função das dimensões dos elementos que compõem a malha da embarcação. A Figura 5 indica os elementos de malha.

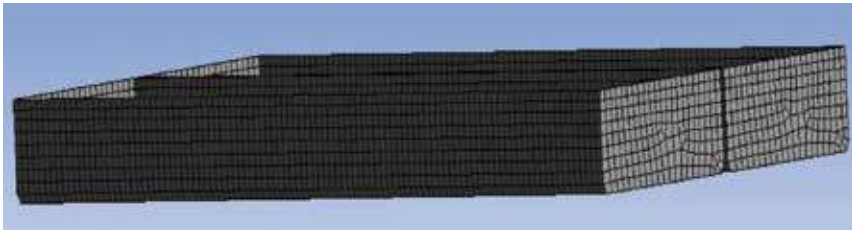


Figura 5 : Malha de Elementos Finitos Utilizada para Representar a Superfície do Casco das Barcaças de Minério de Ferro

Fonte: ANSYS, 2012.

Para esse modelo de análise, a velocidade do vento foi reduzida de 22 m/s para 16 m/s, devido ao fato dos efeitos de deriva acabarem deslocando os dois corpos flutuantes para uma posição maior que 75% em relação a posição original das barcaças, resultando assim em um erro de análise dentro do próprio *software* – as embarcações se distanciaram muito da posição inicial do comboio. O padrão de resposta para um trem de ondas de 0° pode ser vislumbrado na Figura 6.

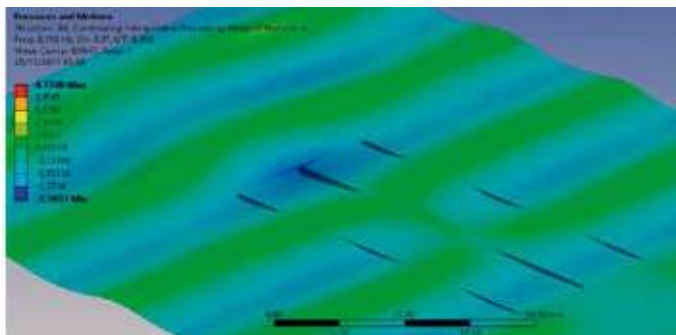


Figura 6 : Modelo de Resposta dos Campos de Pressão e Movimento para Direção de onda a 0°

Fonte: ANSYS, 2012.

As defensas utilizadas na análise preliminar das barcaças de minério de ferro apresentam um carregamento total de 31,06 Tf para um valor de 60% de deflexão. A Tabela 1 informa os dados indicados para o modelo de elemento de defesa omnidirecional empregada na análise.

Tabela 1: Dados das Defensas Utilizados para Formação do Polinômio de resposta de Esforços.

Dimensão Longitudinal	0,50 m
Coefficiente A (K_1)	1.000.000,00 N/m
Coefficiente B (K_2)	50.000,00 N/m ²
Coefficiente C (K_3)	3.000,00 N/m ³
Coefficiente D (K_4)	350,00 N/m ⁴
Coefficiente E (K_5)	500,00 N/m ⁵
Coefficiente de Amortecimento	150,00 s
Coefficiente de Fricção	0,3

Fonte: ANSYS, 2012.

O método utilizado para calcular a rigidez dos cabos de aço está relacionado com a Lei de Hooke, onde para um elemento linear e elástico a força suportada pelo cabo é proporcional ao seu alongamento. A rigidez linear do cabo é dada pela EQ. 11 que é igualada à Lei de Hooke (Tensão x Deformação).

$$k = \frac{F}{\Delta L} = \frac{EA}{L_0} \quad [\text{EQ. 11}]$$

Para esta análise, optou-se por utilizar um modelo de cabo de aço com bitola de 7/8", com rigidez linear calculada da ordem de $9,6 * 10^7$ N/m através da EQ. 10.

Utilizando o módulo de elasticidade - E - para o aço igual a 210.000 N/mm², a área de seção transversal circular do cabo de aço - A - é calculada em função do seu diâmetro, L₀ corresponde ao comprimento inicial do cabo, ou seja, não existe a presença de alongamento ΔL. Assim, a força F é relacionada com o alongamento calculado pelo ANSYS AQWA, sendo determinada a partir da rigidez do elemento.

O *Ansys Hydrodynamic Response* consegue trabalhar ainda com modelos de cabos de aço não lineares (*Non-Linear Steel Wire ropes*), que acaba utilizando um modelo de rigidez assintótica (*Asymptotic Stiffness*). Ademais, os outros coeficientes (k₂ - k₅) e o coeficiente de amortecimento foram estipulados pelos autores deste trabalho, sendo necessária validação experimental para consolidação dos resultados de impactos.

3.1. Análise da Metodologia do AQWA

O AQWA possibilita a utilização de um conjunto de ferramentas de engenharia para investigação de efeitos de ondas, ventos e correntezas em sistemas flutuantes como navios, plataformas de exploração petrolífera, sistemas renováveis de energia e outros tipos de estruturas marítimas.

De acordo com ANSYS (2012), o AQWA *hydrodynamic Diffraction* integra um ambiente para determinação dos parâmetros hidrodinâmicos primários para aferir movimentos complexos e realizar análises de resposta. Análises tridimensionais lineares de difração e radiação são feitas para sistemas de corpos múltiplos, levando-se em conta todos os efeitos de interação hidrodinâmica que ocorrem entre os corpos. Uma função quadrática de transferência é utilizada para computar efeitos de forças de ondas de segunda ordem.

Com base em ANSYS (2012), o *AQWA Hydrodynamic Response* garante a realização de análises dinâmicas dentro das condições de performance de estruturas flutuantes no domínio do tempo. Uma grande gama de conexões como cabos de amarração, articulações e defensas são adaptadas para a modelagem de condições de navegação de embarcações.

Deixando bem claro que as forças ambientais de excitação externas devem ser acopladas no domínio do tempo. A interação entre as defensas e os cabos de amarração deve estar muito bem representada. Faltinsen (1990) propõe que o contato entre as defensas seja determinado tridimensionalmente e os componentes de carga atuantes nas direções perpendicular e tangencial das defensas sejam definidas e modeladas sem não-linearidades.

Após a edificação do casco das barcaças, a forma do casco pode ser exportada do *software* rhinoceros 4.0 para o ANSYS AQWA, em formato IGES, compatível com a plataforma do programa de modelagem geométrica do ANSYS (*Design Modeler*). O modelo de formato do casco das barcaças tipo *Box* que representa o volume difratante e o volume não difratante é apresentado na Figura 7.

Deve-se atentar que foi realizada uma simulação com barcaças de minério de ferro, sendo calculados os valores das forças nos elementos de conexão rígida e nas defensas que simulam o contato entre os cascos das embarcações. Após, a comparação com os resultados encontrados pelo teste descrito por Nagado, Lukine e Mendonça (2012) pode-se utilizar o mesmo modelo computacional, com os mesmos parâmetros para um outro modelo de barcaça, no caso, para transporte de grãos de soja.

Na Tabela 2 são apresentadas as dimensões das barcaças para transporte de minério de ferro escolhidas para validação através da comparação com os resultados experimentais obtidos em Nagado, Lukine e Mendonça (2012), em um teste de navegação realizado na baía do Marajó.

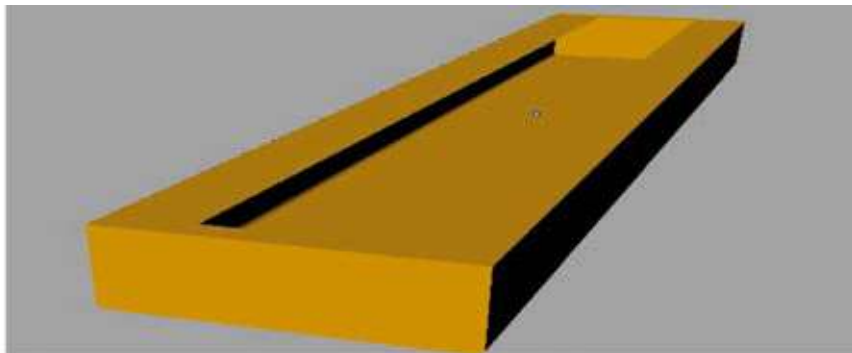


Figura 7 : Forma de Casco de Barça Box para transporte de Minério de ferro modelada no Programa Rhinoceros 4.0

Fonte: Autor, 2012.

Tabela 2: Dimensões Principais do Modelo de Barças de Minério de Ferro retiradas de MENEZES (2013)

Item	Z Direction
LOA (Length Overall)	80,0 m
Beam	16,0 m
Depth	6,5 m
Draft	5,2 m
Lightweight	770 ton
Deadweight	5880 ton

Fonte: ANSYS, 2012.

O modelo indicado na Figura 8 mostra que as forças nos elementos de defesa e nos cabos de amarração devem ser delimitadas com base no padrão de análise do *ANSYS Hydrodynamic Response*. Para isso o modelo necessita da inserção dos parâmetros do espectro de mar, das velocidades de correnteza e de vento.

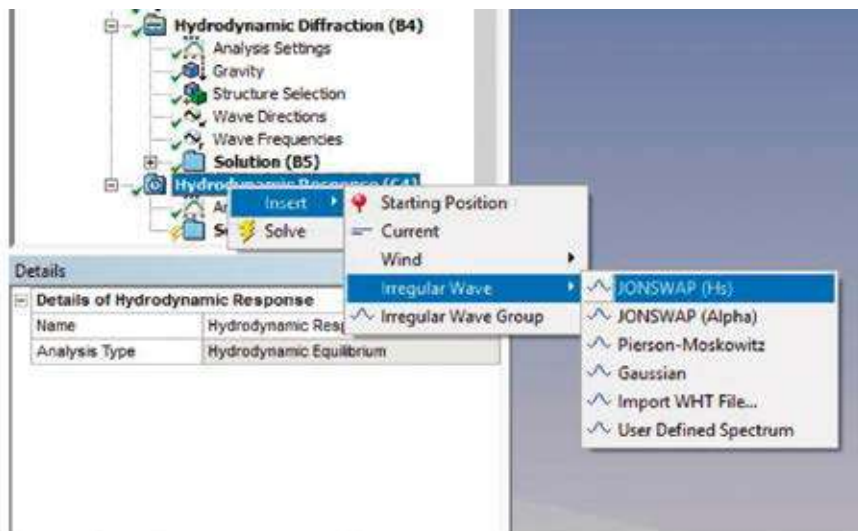


Figura 8: Indicação da matriz de inserção dos dados relativos a corrente (current), ao vento (wind) e ao espectro de onda irregular (Irregular Wave)
Fonte: ANSYS, 2012.

Os valores de corrente devem estar relacionando os dados de profundidade (m), de velocidade da corrente (m/s) e de direção (em), podendo ser inseridos como arquivo de tabela no próprio ANSYS AQWA. O espectro de onda necessita de uma frequência inicial e uma final, além da altura significativa de onda, o valor do coeficiente Gamma (γ) e da frequência de pico.

Esse procedimento para duas barcaças de soja foi realizado como metodologia preliminar de adaptação do *software*, facilitando assim a modelagem do modelo pelo operador, além de propiciar a identificação das características computacionais, das funcionalidades e do conjunto operacional do programa.

O espectro de onda utilizado neste trabalho é o modelo de JONSWAP (*Joint North Sea Wave Project*). Foram empregados valores para um estado de mar 4 com altura relativa de onda de 1,524 m, $\gamma = 3,3$ e uma frequência de 0,27207 Hz retirado de Faltinsen (1990).

As informações da posição do centro de gravidade das

embarcações podem ser identificadas na Tabela 3. Devemos atentar para o fato da posição vertical do centro de gravidade das barcaças ter sido estimada a 65% do pontal da embarcação, devido à ausência do plano de perfil estrutural desse modelo de embarcação. O eixo X corresponde ao eixo longitudinal da embarcação, o eixo Y à dimensão transversal e o eixo Z à sua dimensão vertical.

Tabela 3: Indicação da Posição do Centro de Gravidade das Barcaças de Minério de Ferro.

Barcaça de Minério de ferro	Deslocamento	X (Centro de gravidade)	Y (Centro de gravidade)	Z (Centro de gravidade)
Barcaça 1	6637,573 ton	0,00 m	0,00 m	-0,975 m
Barcaça 2	6637,573 ton	0,00 m	16,50 m	-0,975 m

Fonte: ANSYS, 2012.

Com a posição do centro de gravidade e o deslocamento delimitados foi possível calcular os raios de giração e os momentos de inércia indicados na Tabela 4, sendo estas informações, fundamentais para a determinação dos padrões de resposta de movimento das embarcações.

Tabela 4: Raios de Giração e Momentos de Inércia Calculados.

Iron Ore Barge	Raio de Giração Rxx (m)	Raio de Giração Ryy (m)	Raio de Giração Rzz (m)	Momento de Inércia Ixx (ton.m ²)	Momento de Inércia Iyy (ton.m ²)	Momento de Inércia Izz (ton.m ²)
Barge 1	4,98	23,17	23,55	164.746,71	3.563.373,76	3.681.214,58
Barge 2	4,98	23,17	23,55	164.746,71	3.563.373,76	3.681.214,58

Fonte: ANSYS, 2012.

3.2. Modelo Comparativo de resultados

Como estudo prático dentro dessa área de condição de operação de comboios fluviais elucidamos o trabalho de Nagado, Lukine e Mendonça (2012), onde estes autores analisaram uma maneira mais eficiente de se amarrar um conjunto de barcaças para transporte de minério de ferro na Baía do Marajó, no Estado do Pará. Nesse estudo, um comboio de nove barcaças navegou pela rota delimitada entre o porto da *Lubrific* em Belém-PA até o a região do Farol Simão Grande (Limite da Área 2 – Águas Interiores).

Foram considerados os esforços devido a correntes, esforços provindos de manobras, ventos, da variação da velocidade operacional do comboio e dos movimentos verticais relativos entre cada barcaça, delimitando o nível de tensões nos cabos e nas manilhas dos cabeços. As condições estudadas correspondem a:

- Comboio atracando e desatracando do cais;
- Navegando com leme em direção de zero graus (leme a meio);
- Condição de parada brusca;
- Teste de manobra de Zig-Zag (10º BB/10º BE).

Para esta análise prática apresentada por Nagado, Lukine e Mendonça (2012) foi utilizado um comboio para transporte de minério de ferro, que, totalmente carregado, apresenta um valor de Tonelada de Porte Bruto (TPB) da ordem de 50.617,50 toneladas. As dimensões das barcaças utilizadas correspondem a 80 m de comprimento, 16 m de boca e 6,50 m de pontal.

A Figura 9 mostra o comboio com calado totalmente carregado de 5,2 m para as barcaças *Box* e 5,14 m para as barcaças do tipo *Raked*.

As amarrações foram feitas com cabos de aço de 7/8" para atracar as barcaças. Na Figura 10 os cabeços e os cabos de amarração são ilustrados. Este modelo de amarração foi utilizado no teste de navegação na Baía de Marajó.



Figura 9: vista geral do comboio de 9 barcaças para transporte de minério vazias (esquerda) e totalmente carregadas (direita)
Fonte: Nagado, Lukine e Mendonça, 2012.



Figura 10: modelo de cabeços e de amarração utilizados para o estudo prático
Fonte: Nagado, Lukine e Mendonça, 2012.

Um acelerômetro foi utilizado como mecanismo de medição de movimento relativo entre as barcaças posicionado no convés das embarcações. Este dispositivo está ilustrado na Figura 11.



Figura 11: Modelo de acelerômetro posicionado no convés da barcaça de nº 6 para medição dos movimentos das barcaças durante o teste
Fonte: Nagado, Lukine e Mendonça, 2012.

Na Figura 12 é possível identificar os cabos de propileno utilizados em conjunto com cabos de aço para atracar o empurrador às barcaças. Este tipo de amarração foi proposto pelos autores do trabalho como medida auxiliar e mais flexível em comparação aos cabos de aço utilizados convencionalmente.



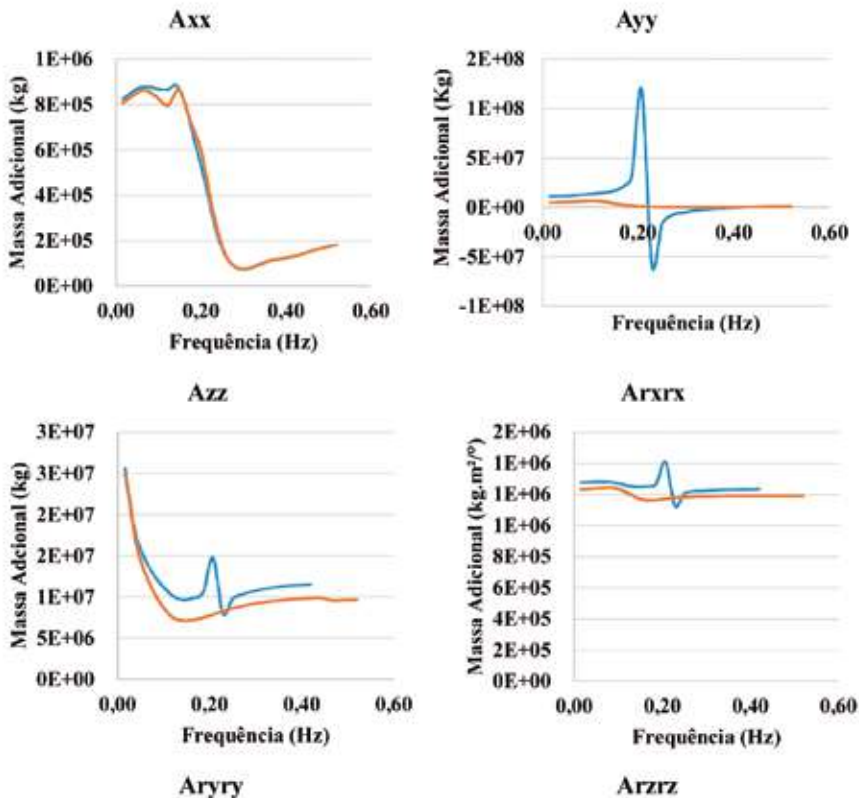
Figura 12. Amarração do comboio utilizando cabos de propileno (cor Amarela) de 4 polegadas
Fonte: Nagado, Lukine e Mendonça, 2012.

Os índices de carregamentos máximos medidos pelas células de carga nos cabos foram da ordem de 50 toneladas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Massa Adicional

A seguir, na Figura 13, podemos encontrar os gráficos com os coeficientes de massa adicional em função da frequência de incidência de ondas determinados pelo AQWA. Foi desenvolvido um modelo de comparação do comportamento da massa adicional para um casco de uma barça solitária e com um conjunto de duas barças atracadas entre si por elementos de amarração lineares.



continua...

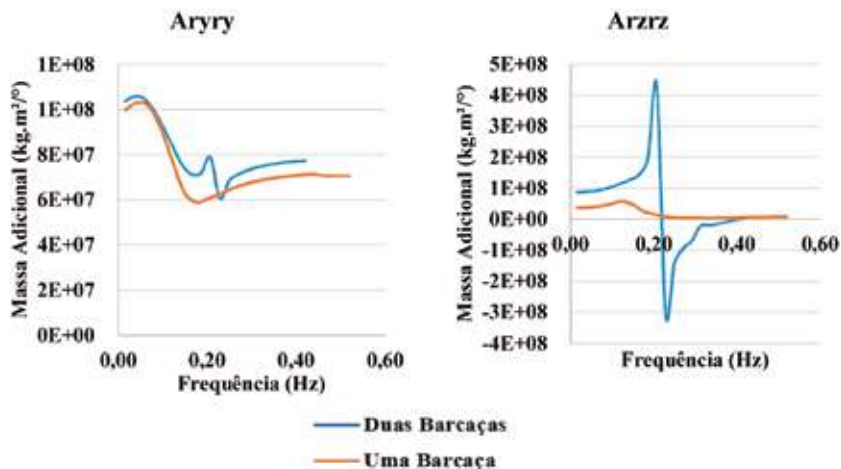


Figura 13: Gráficos referentes a massa adicional calculada para um sistema de duas barcaças e em comparação com uma barcaça solitária
Fonte: ANSYS, 2012.

Para os movimentos relativos aos movimentos de avanço ($X-X$), arfagem ($Z-Z$), jogo ($Rx-Rx$) e caturro ($Ry-Ry$), não houve significativa mudança na dinâmica de comportamento da função da massa adicional, entretanto para o movimento de deriva ($Y-Y$) e de guinada ($Rz-Rz$) os valores calculados apresentam significativa divergência.

4.2. Amortecimento Potencial

Os gráficos de amortecimento potencial em função do intervalo de frequências de ondas, limitado pelo *software*, também foram determinados. Esses dados foram encontrados logo na primeira análise do *Ansys Hydrodynamic Diffraction* e podem ser identificados de acordo com a Figura 14.

O amortecimento potencial está ligado aos efeitos de dissipação de energia através da movimentação do volume de fluido presente ao redor do casco.

Esses termos de amortecimento são acoplados como na EQ. 14 dentro da matriz de amortecimento, identificada por $B_{j,k}(\omega)$. Já

$B_{exj,k}$ não é computado, tendo em vista que leva em conta termos de componentes viscosas que necessitam de ensaios experimentais para serem determinados e inseridos.

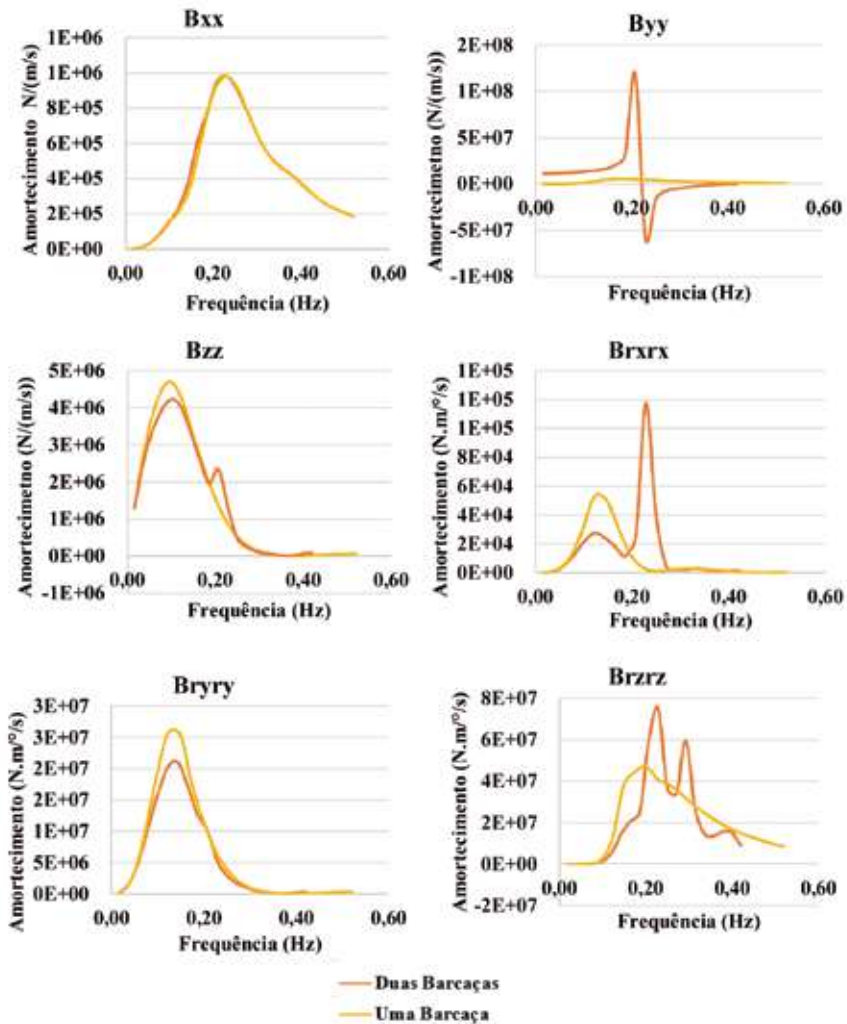


Figura 14: Gráficos referentes ao amortecimento potencial calculado para um sistema de duas barças e em comparação com uma barça solitária
Fonte: ANSYS, 2012.

4.3. Análise no domínio do tempo

4.3.1. Esforços nas defensas

Neste tópico são ilustrados os gráficos obtidos a partir da análise no domínio do tempo dentro do *Ansys Hydrodynamic Response*. Para o modelo com barcaças de minério de ferro a análise no domínio da frequência apresentou incongruências no que se refere à convergência de dados, não sendo informados os índices para os níveis de amortecimento, tanto para os esforços nos cabos de amarração quanto para os valores de deformação das próprias defensas.

Os níveis de forças presentes nas duas defensas que constituem o sistema de contato do modelo são indicados na Figura 15. Salientando que estes esforços atuam na direção longitudinal da defesa.

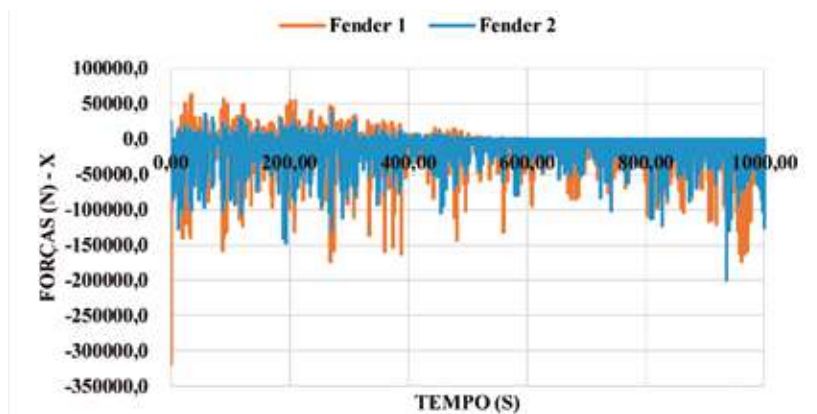


Figura 15: Padrão de Esforços na Direção Longitudinal da Defesa (Timestep = 0,1s; T = 1000 s) encontrado no *Ansys Hydrodynamic Response*

Fonte: ANSYS, 2012.

Com base na interpretação dos resultados acima, devemos identificar o padrão de resposta dos picos para níveis dos esforços atuantes nas defensas. Os esforços na direção transversal das defensas são indicados na Figura 16.

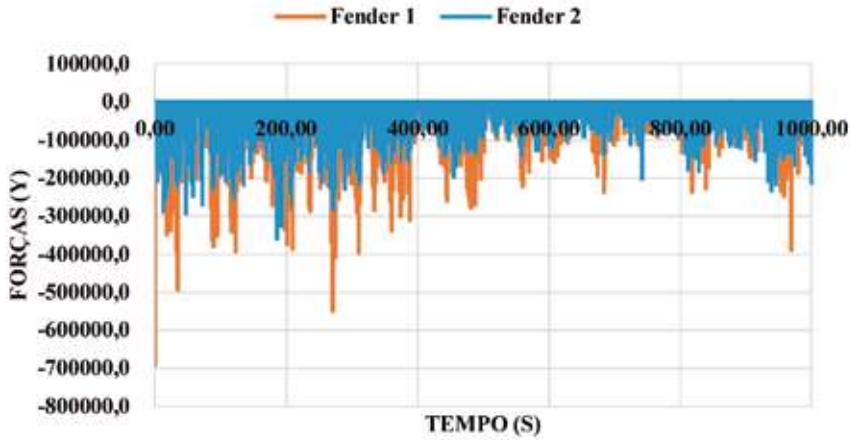


Figura 16. Padrão de Esforços na Direção Transversal da Defesa (Timestep = 0,1s; T = 1000 s) encontrado no Ansys *Hydrodynamic Response*

Fonte: ANSYS, 2012.

406

É importante salientar que a aplicação de coeficientes de amortecimento nas equações de movimento notavelmente aumenta a capacidade da ferramenta computacional de formular e descrever o problema.

Para barcaças, entretanto, a não linearidade das forças de excitação (devido à grande variação da superfície molhada do casco) deve ser levada em consideração. A importância desses dois fatores tem levado a análises controversas. Por fim, os esforços na direção vertical das defensas são indicados na Figura 17.

Nesse caso, os valores máximos de forças de compressão atuantes nas defensas para apenas uma barcaça, atracada costado a costado com outra, estão indicados na Tabela 5. Os valores negativos representam esforços de compressão.

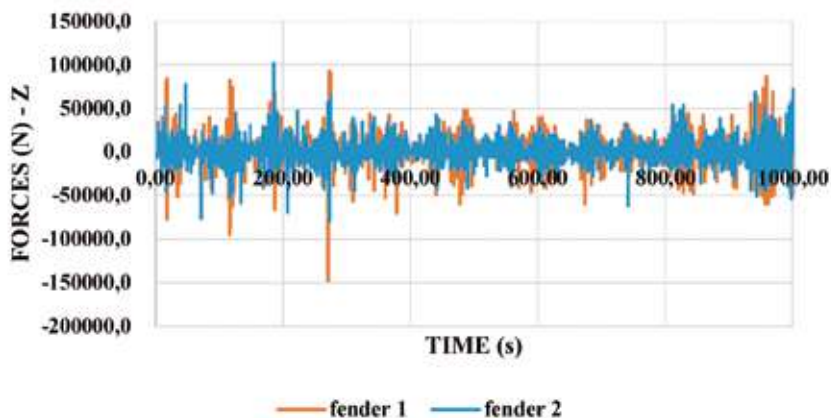


Figura 17: Padrão de Esforços na Direção Vertical da Defesa (*Timestep* = 0,1s; T = 1000 s) encontrado no *Ansys Hydrodynamic Response*
 Fonte: ANSYS (2012).

Tabela 5: Componentes de Esforços nas Três Direções para as Defensas Omnidirecionais de 0,5 m de Comprimento

Element	X Direction	Y Direction	Z Direction
Fender 1	-32,295 Tf	-70,11 Tf	-15,029 Tf
Fender 2	-20,341 Tf	-35,70 Tf	-8,096 Tf

Fonte: ANSYS, 2012.

O valor máximo de esforços está presente na direção transversal (Y) com relação às barcaças. Estando de acordo com o padrão de realidade, os esforços provindos da deriva apresentam os maiores índices de deflexão.

4.3.2. Esforços nos elementos de amarração

Os valores máximos dos dados relacionados com as forças atuantes no cabo de aço 1 na direção transversal Y foram da ordem de 57,48 tonelada-força, para um estado de mar com direção de propagação de ondas na direção de 0°, dentro de um intervalo de análise de 1000 s, com um passo de tempo de 0,1 s.

A Figura 18 informa o gráfico relativo ao padrão de resposta de trações atuantes no cabo 1 ao longo de 1000 s, sendo este tempo limitado pela memória computacional disponível no computador e pelos próprios índices de movimentação relativa dos corpos flutuantes com relação à sua posição inicial.

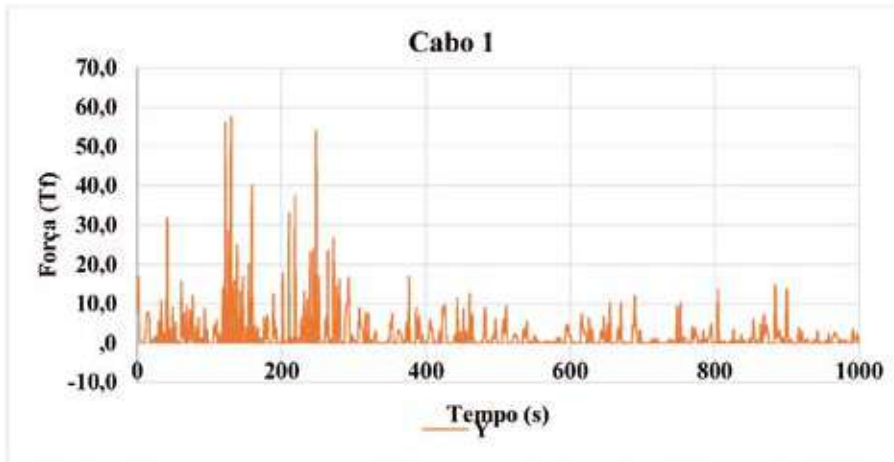


Figura 18: Padrão de Resposta de Esforços Atuantes no Cabo 1
Fonte: ANSYS, 2012.

Os valores máximos das forças atuantes no cabo de aço 2 na direção transversal Y foram da ordem de 19,3 tonelada-força, com ondas em direção de propagação a 0°, com o mesmo intervalo de análise e passo de tempo.

5. CONCLUSÕES

Esse artigo apresenta os efeitos de resposta dinâmica de um reduzido número de barcaças que compõem a formação de um comboio fluvial típico da região Amazônica. De maneira geral, uma visão global sobre a performance do comboio de barcaças em determinado estado de ondas utilizando um determinado espectro de ondas é utilizada. Esses resultados apresentam uma ideia da magnitude da resposta da estrutura e das variações

das tensões nos cabos de amarração. Neste caso, a metodologia empregada apresenta potencial para ser utilizada para prever os níveis de impactos.

É verificado que para um modelo com barcaças adjacentes o padrão de resposta e de influência da massa adicional e do amortecimento potencial se modifica. Com isso, podemos constatar que a massa adicional acoplada ao casco das barcaças, e o próprio amortecimento dos movimentos pelo fluido são alterados para essas situações atracadas. Com isso a resposta de movimento de uma barcaça solitária e um conjunto de barcaças atracadas é diferente.

Do ponto de vista do padrão de esforços lidos pelo modelo computacional, é coerente afirmar que as características ambientais e operacionais do sistema induzem a uma interpretação de valores máximos de esforços na direção transversal do comboio fluvial. Assim, esse modelo pode ser utilizado para fomentar os níveis de impactos de embarcações atracadas em estruturas fixas, desde que os pontos de contato sejam devidamente posicionados, bem como discriminar o modelo de material utilizado no elemento de defesa.

O modelo computacional apresentado neste artigo possui algumas considerações básicas no que diz respeito ao modelo de seleção de defensas e cabos de aço. Apresentando características de comportamento linear para os elementos de amarração e comportamento não-linear para os elementos que constituem as defensas.

REFERÊNCIAS

- ANSYS (2012). AQWA USER MANUAL. USA.14.5.
- CONSOLAZIO, G. R.; WALTERS, R. A. e HARPER, Z. S. (2012). Development of Finite Element Models for Studying Multi-Barge Flotilla Impacts. *Departamento de Engenharia Civil e Costeira*, Universidade da Florida. P.O. Box 116580. Gainesville, Florida 32611. Fevereiro, 55 f.
- EDA, H. (1972). *Course Stability, Turning Performance, and Connection Force of Barge Systems in Coastal Seaways*. SNAME, New York. 30 p.

- FALTINSEN, O. M. (1990). *Sea Load on Ships and Offshore Structures*. 1 ed. Cambridge, Cambridge University Press. 328 p.
- MENEZES, F. G. T. (2013). Acoplamento Hidrodinâmico e Estrutural de Sistemas Flutuantes Multicorpos para Produção e Escoamento de Petróleo e Gás. *Tese de Doutorado*. COPPE – Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- NAGADO, C. M.; LUKINE, S. e MENDONÇA, E. T. (2012). Estudo das Amarrações entre Barcaças de Comboio de Minério de Ferro na Baía do Marajó. Faculdade de Tecnologia de Jahu – CEETEPS. *24^o Congresso Nacional de Transporte Aquaviário, Construção Naval e Offshore*. Rio de Janeiro.
- PINHEIRO, L. V. (2015). Modelação Numérica da Propagação de Ondas e do Comportamento de Navios Amarrados no Interior de Portos. *Tese de Doutorado*. Universidade de Lisboa – Instituto Superior Técnico. 466 p.
- SILVA, C. E. S. (2012). Modeling And Analysis of Two Alternatives for Underway Ship-to-Ship Transfer of Oil in Open Sea. *Dissertação de Mestrado*. Universidade de São Paulo -USP. São Paulo. 149 p.

Endereço para correspondência:

- (1) Cruz, Fernando Costa. E-mail: fernando.cruz08@hotmail.com;
(2) Soeiro, Newton Sure. E-mail: nsoeiro@ufpa.br;
(3) Moraes, Hito Braga E-mail: hito@ufpa.br;
(1;2;3) Universidade Federal do Pará–UFPA, rua Augusto Corrêa, nº 1, Campus Guamá.

ANÁLISE DE RESISTÊNCIA AO AVANÇO COM A INDUÇÃO DE TURBULÊNCIA ATRAVÉS DE APÊNDICES NA REGIÃO DE POPA DE UMA EMBARCAÇÃO

ADVANCE RESISTANCE ANALYSIS WITH TURBULENCE INDUCTION THROUGH STERN APPENDAGES OF A VESSEL

GUEDES, Y. V. R.¹; MORAES, H. B.²
(1; 2) Universidade Federal do Pará;

RESUMO

O presente trabalho consiste na análise do escoamento ao redor de um casco parabólico denominado Wigley com a inserção de uma cava na região da popa do casco. O conceito proposto surge da analogia ao escoamento em torno de uma bola de golfe, onde o coeficiente de arrasto, para determinadas velocidades, chega a diminuir em 50% quando comparado o comportamento do escoamento de uma bola lisa e uma bola com cavas. Para a análise, utilizou-se a dinâmica de fluidos computacional através do *software* ANSYS *Fluent* onde solucionou-se as equações de governo do escoamento fluido para o casco sem a cava, para permitir a validação da malha através da comparação com os resultados experimentais existentes e posteriormente solucionou-se o escoamento com a cava para verificar as alterações no escoamento com números de Froude de 0,267 e 0,408. Pode-se observar a alteração na superfície livre na região de popa, com o surgimento de um cavado nas proximidades de onde foi inserido o apêndice. No que se refere a resistência ao avanço, observou-se o aumento do coeficiente de arrasto para o modelo de menor número de Froude e uma redução para o modelo de maior número de Froude, quando comparados ao modelo numérico validado, dando um indicativo do comportamento para baixas e altas velocidades.

Palavras-chave: Escoamento. Wigley. Resistência ao avanço. Coeficiente de arrasto. Superfície livre.

ABSTRACT

The present work consists of the analysis of the flow around a Wigley parabolic hull with the insertion of a dimple at hull stern. The proposed concept arises from the analogy to the flow around a golf ball, where the drag coefficient, for certain velocities, decreases by 50% when comparing the behavior of the flow around a smooth ball and a ball with dimples. For the analysis, the computational fluid dynamics was used through the ANSYS *Fluent software*, where the fluid flow governing equations for the hull without dimples were solved, allowing the validation of the mesh through the comparison with the existing experimental results. Then the flow around the hull with dimple was solved to verify the changes in flow with Froude number of 0.267 and 0.408. It is possible to observe a change in the free surface at the stern region, with the appearance of a dug near where the appendix was inserted. With respect to the drag resistance, the drag coefficient for the smaller Froude model increased and a reduction for the larger Froude model was observed when compared to the validated numerical model, giving an indication of the behavior for low and high speeds.

Keywords: Flow. Resistance. Drag coefficient. Free surface.

1. INTRODUÇÃO

Na navegação, os engenheiros trabalham em busca e desenvolver projetos de navios mais eficientes e econômicos, de forma a atingir o menor consumo de combustível e emissão de poluentes, conforme menciona Tancredi *et al.* (2014). Um dos ramos da engenharia naval que tem bastante importância no consumo alto de combustível é o cálculo de resistência ao avanço o qual define a “força” que o navio deve exercer para poder se deslocar (SMIDERLE, 2016). Dessa forma, busca-se continuamente modelos de cascos de embarcações com formas geométricas que possam reduzir a resistência ao avanço.

O escoamento ao redor de um casco é um problema complexo e que possui grande relevância no campo do projeto, uma vez que gera impacto desde o modelo construtivo até a operação durante

toda a vida útil da embarcação, visto que projetos bem elaborados promovem ganho financeiro a partir da redução de consumo para a mesma velocidade ou aumento de velocidade para a mesma potência propulsiva instalada.

Ao deslocar-se, o casco da embarcação desprende energia para o fluido, gerando campos de pressão e velocidade relativa entre o meio e o casco. Segundo Ahmed (2011) o navio experimenta uma força oposta a este movimento e um destes componentes é denominado como resistência de onda gerada, sendo esta uma das parcelas mais importantes da resistência ao avanço.

Considerando a importância do componente de resistência de onda, que é resultado do campo de pressão gerado no meio fluido a partir do deslocamento do casco, buscou-se neste trabalho a proposição de um apêndice que possa ser utilizado na região de popa da embarcação e que possa introduzir uma turbulência no escoamento, minimizando os efeitos de descolamento da camada limite e geração de esteira no fluido.

O princípio estudado neste trabalho pode ser observado no escoamento ao redor de bolas de golfe, onde, o autor Chowdhury *et al.* (2016) cita que a bola de golfe em velocidade suficiente pode reduzir o seu arrasto em até 50% com relação a uma esfera lisa de mesmo diâmetro, sendo esta redução devido a indução da transição do escoamento laminar para turbulento ocorrido com a presença das cavas na superfície da bola.

Segundo Aoki *et al.* (2010) o ponto de separação do escoamento em uma bola de golfe sem rotação desloca-se no sentido do escoamento se comparado a uma bola lisa. Assim, o coeficiente de arrasto da bola de golfe permanece menor que o de uma bola lisa.

Um outro exemplo de alterações na região de popa de cascos que visa a redução de resistência é a popa transom, onde a introdução de uma descontinuidade no casco gera uma região onde ocorre recirculações que, quando a embarcação navega em maiores velocidades, pode-se gerar uma separação do escoamento. De acordo com Saunders *apud* Maki (2006) existe vantagem na aplicação de popa transom para a redução da resistência em velocidades superiores, onde a popa fica emersa e que este fenômeno ocorre

quando o número de Froud da popa transom está entre a faixa de 4,0 e 5,0.

Mesmo havendo estudos no que concerne o escoamento ao redor de diversas geometrias e conhecido o comportamento do escoamento ao redor de fólios, alguns fenômenos ou singularidades, em placas planas transversais ao escoamento, ainda são de difícil modelagem ou simplesmente identificação. Outros fenômenos ainda nem chegaram a ser identificados pelos pesquisadores, estando imersos em outros acontecimentos sem serem de percepção intuitiva.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Equações de Governo

Para a definição das equações governantes, foi tomado como base o trabalho de Tannehill, Anderson e Pletcher (1997).

A modelagem considerou a solução numérica das equações de conservação da massa e equações de conservação da quantidade de movimento.

A equação da conservação de massa define que, para um volume de controle infinitesimal, pode-se apresentar equações de transporte diferenciais do movimento de uma partícula fluida de modo a satisfazer a hipótese do contínuo apoiado nas leis da conservação.

O primeiro termo da Equação 1 define a taxa de fluxo de massa do volume de controle por unidade de volume. O segundo termo representa a taxa de aumento da densidade (p) no volume de controle.

A equação de conservação da massa, relaciona a densidade característica com a quantidade a ser transportada pelo movimento sendo definida como:

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j) + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \quad [\text{Eq. 1}]$$

Onde nas equações p representa a densidade do fluido e ν a viscosidade dele.

Por se tratar de um escoamento multifásico, os parâmetros de densidade e viscosidade são compartilhados entre as fases e representam valores médios em volume relativo à fração volumétrica de cada fase por volume infinitesimal conforme definido nas Equações 2 e 3.

$$\rho = \sum \alpha_q \rho_q \quad [\text{Eq. 2}]$$

$$\mu = \sum \alpha_q \mu_q \quad [\text{Eq. 3}]$$

A fração volumétrica α_q é definida segundo a Equação 4 onde V_q é o volume da fase e V_{cell} é o volume total da célula.

$$\alpha_q = \frac{V_q}{V_{cell}} \quad [\text{Eq. 4}]$$

No que se refere a conservação da quantidade de movimento, a qual expressa a taxa de variação da quantidade de movimento dentro de um volume de controle sendo esta variação resultado das forças externas atuantes no volume.

A equação da quantidade de movimento para uma partícula fluida pode ser definida conforme a Equação – 5.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) + \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ p \delta_{ij} - \mu \left[\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right] \right\} - \rho g_i = 0 \quad [\text{Eq. 5}]$$

O primeiro termo representa a taxa de aumento da quantidade de movimento para cada unidade de volume do volume de controle. O segundo termo representa a taxa da quantidade de movimento perdida por convecção através das superfícies do volume de controle, também por unidade de volume, o terceiro termo define as forças de superfície e o quarto termo as forças de corpo. O valor de p presente no terceiro termo da equação, representa a pressão estática, δ_{ij} é o delta de Kronecker e g_i é a aceleração da gravidade.

2.2. Equações de Navier-Stokes

Um fluido newtoniano é considerado aquele que na qual existe proporcionalidade direta entre a taxa de deformação e taxa

de cisalhamento. A proporcionalidade é dada de acordo com a Equação 6:

$$\tau_{xy} = \mu \frac{du}{dx} \quad [\text{Eq. 6}]$$

Considerando as coordenadas no plano cartesiano, o termo τ_{xy} representa a tensão y na direção x e du/dy a relação entre a velocidade de deslizamento das camadas de fluido pela localização do ponto fluido no plano, sendo denominado de taxa de cisalhamento. O termo μ é a constante de proporcionalidade definida como: viscosidade absoluta ou viscosidade dinâmica.

Para fluidos newtonianos, incompressível e com viscosidade constante a equação de Navier-Stokes para o escoamento na sua forma diferencial é indicada na Equação 7, 8 e 9.

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + g_x \quad [\text{Eq. 7}]$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) + g_y \quad [\text{Eq. 8}]$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) + g_z \quad [\text{Eq. 9}]$$

Sendo que ρ é a densidade do fluido, g é a aceleração da gravidade e u, v, w são os componentes de velocidade.

As equações de Navier-Stokes (Equações 7, 8 e 9) e a equação da conservação da massa (continuidade – Equação 1) formam um conjunto de equações diferenciais parciais não lineares acopladas, onde as tensões t_{xx} , t_{xy} e t_{xz} são equivalentes às taxas de deformação indicadas nas Equações 10, 11 e 12.

$$\tau_{xx} = 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} \quad [\text{Eq. 10}]$$

$$\tau_{xy} = \mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \quad [\text{Eq. 11}]$$

$$\tau_{xz} = \mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \quad [\text{Eq. 12}]$$

Fenômenos diversos como escoamentos internos e externos de diversos tipos de fluido são modelados com a utilização destas equações.

2.3. Modelo de Turbulência

Em escoamentos que atingem velocidades relativamente altas, fato caracterizado pelo elevado número de Reynolds, as forças de inércia tendem a ser relevantes com relação às forças viscosas, tornando o escoamento não regular onde o deslocamento da partícula fluida ganha alguma aleatoriedade.

Apesar do grande esforço de pesquisadores em identificar um modelo matemático que descreva de forma exata o escoamento turbulento, o que se possui disponível são formulações empíricas que caracterizam o escoamento turbulento em condições específicas, tornando a solução satisfatória apenas para um grupo de problemas com condições de contorno bem delimitadas.

Alguns modelos de turbulências são: equações Médias de Reynolds (RANS), Modelo, Shear Stress Transport (SST).

O modelo utilizado no trabalho é o modificado para cálculo conjuntamente com o modelo SST onde o modelo não utiliza funções complexas não lineares de amortecimento, relacionando a viscosidade de turbulência com a energia cinética turbulenta e a taxa de dissipação da energia por unidade de volume e tempo. Este modelo possui grande sensibilidade ao escoamento de corrente livre, fora da camada limite, não respondendo de forma satisfatória. Assim, torna-se impossível sua utilização como modelo padrão para a solução de problemas de fluxo envolvendo turbulência.

Considerando esta desvantagem, modelos que consideram o transporte das tensões cisalhantes foram criadas, como o Shear Stress Transport (SST), onde os *softwares* de solução numérica aplicam uma função “mistura” de forma a conciliar as vantagens do modelo para a solução das regiões próximas à parede dos corpos analisados e o modelo SST para as regiões de escoamento livre.

2.4. Modelo analisado

Para a análise do escoamento utilizando o método de volumes finitos, utilizou-se o *Software ANSYS Fluent*, onde, buscou-se inicialmente a definição de uma geometria na qual existam dados experimentais que possam validar o modelo numérico desenvolvido de forma que possamos implementar a aplicação do indutor de turbulência na geometria do casco e observar as alterações geradas no escoamento.

Escolheu-se para este fim a um casco parabólico denominado Wigley na qual os pontos da superfície do casco são definidos, conforme Adjali *et al.* (2015), segundo a Equação 13.

$$Y = 0.5B \left(1 - 4 \frac{X^2}{L^2}\right) \left(1 - \frac{Z^2}{T^2}\right) \quad [\text{Eq. 13}]$$

Onde Y é a cota transversal com relação a linha de centro da embarcação, B é a boca máxima de embarcação, X representa a posição longitudinal onde o ponto está sendo calculado, L é o comprimento total da embarcação, Z é a cota vertical com relação a linha de base do casco, e T é o calado.

Os valores considerados para este estudo são de um casco com L, B e T respectivamente de 4m, 0,4m e 0,25m. Na Figura 1 indicada abaixo, observa-se o plano de linhas gerado para o modelo analisado.

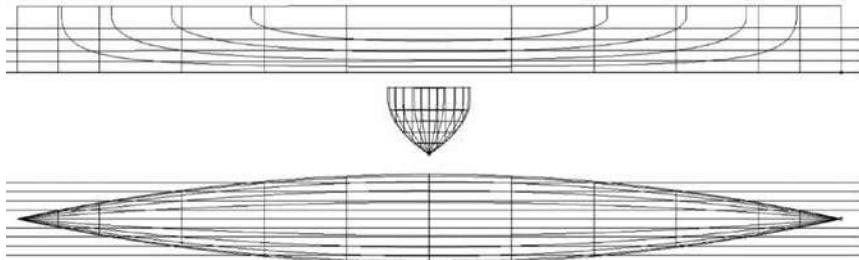


Figura 1: Plano de Linhas do casco Wigley

Fonte: Autor, 2019.

2.5. Domínio computacional

Os escoamentos externos, usualmente admitem que as fronteiras estão localizadas com distâncias que tendem ao infinito. Esta consideração permite que se anule as interferências das fronteiras.

Segundo Araújo (2014), a escolha das dimensões não deve ser realizada de forma arbitrária, pois as fronteiras de domínio computacional impostas no modelo influem em toda a solução do escoamento.

Para a definição do tamanho do domínio computacional utilizou-se a mesma metodologia de Pranzitelli, Nicola e Miranda (2011), para que se possa evitar problemas com a reflexão das ondas nas fronteiras do domínio, as dimensões utilizadas para a definição da região de análise são, considerando o comprimento do casco como sendo L , uma vez L a partir da linha d'água para o fundo e do bico de proa para a fronteira de entrada, duas vezes L da popa para a fronteira de saída e da linha de centro para a fronteira lateral. Para evitar problemas de blocagem e tornar possível a correta definição da elevação de ondas, utilizou-se uma vez L acima da linha d'água.

Para redução do esforço computacional na solução das equações de governo, modelou-se apenas metade do casco, uma vez que são simétricos, e definiu-se na parede que divide o casco de forma diametral uma condição de simetria. Na Figura 2 pode-se observar a geometria que define o domínio computacional de metade do escoamento.

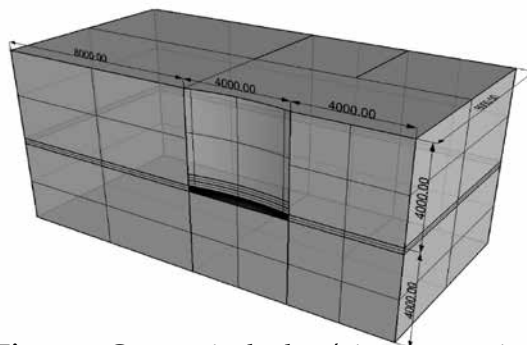


Figura 2: Geometria do domínio computacional

Fonte: Autor, 2019.

2.6. Discretização

O processo de discretização refere-se a fase da análise relacionada a subdivisão do domínio fluido em partes de modo que as equações de governo possam ser resolvidas para a definição das características do escoamento célula a célula. Para obtenção de resultados precisos e boa convergência, um dos fatores relevantes é a qualidade da malha computacional desenvolvida, conforme indicado por Perez, Tan e Wilson (N/D).

Segundo Pranzitelli, Nicola e Miranda (2011), malhas tetraédricas não são satisfatórias para a captura da superfície livre em escoamento ao redor de cascos uma vez que as células devem ser planas o suficiente para poder capturar as pequenas elevações de onda.

Para a discretização do domínio, foi utilizado o *software* ANSYS ICEM CFD para a geração de malha completamente hexaédrica e como referência para os critérios de qualidade, utilizado os valores mínimos de 0,4 de determinante $3 \times 3 \times 3$ e valores superiores para aspect ratio de até 500, conforme indicado por Perez, Tan e Wilson (N/D). Na Figura 3 indicada abaixo, observa-se a malha gerada para a solução do modelo numérico.

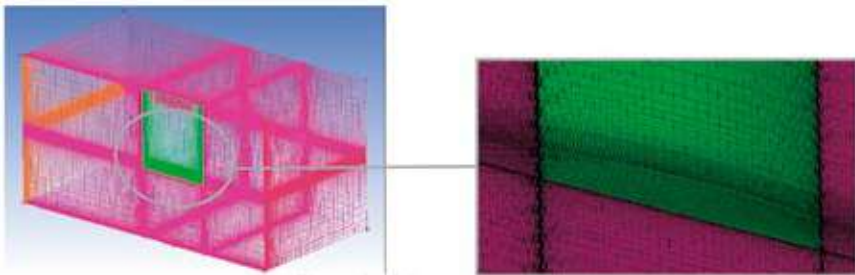


Figura 3: Malha computacional

Fonte: Autor, 2019.

A malha obteve um total de 2.426.044 elementos nas quais possuem a Aspect Ratio distribuído conforme histograma indicado no Gráfico 1.

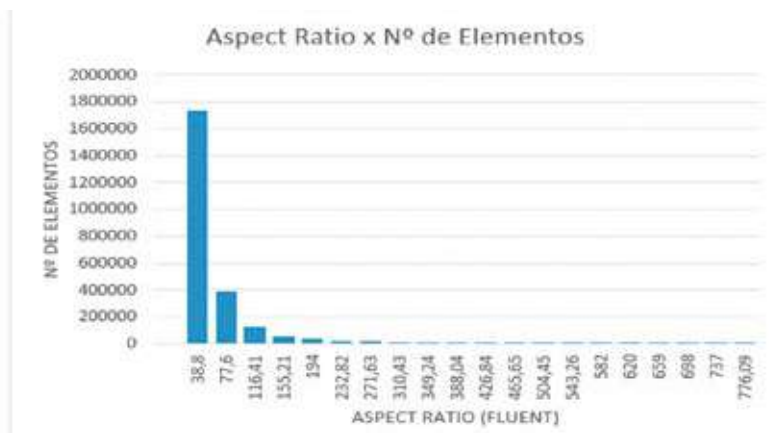


Gráfico 1: Histograma de Número de Elementos por Aspect Ratio

Fonte: Autor, 2019.

No que se refere ao determinante $3 \times 3 \times 3$ o valor mínimo foi 0,93002 e máximo de 0,9994.

Um terceiro critério de qualidade analisado foi a qualidade ortogonal, que representa o menor cosseno do ângulo entre o vetor que conecta o centro de células adjacentes e o vetor normal a face dividida com a célula analisada ou o vetor normal a face e o vetor que conecta o centro da face e o centroide da célula, onde valores próximos de zero representam elementos de baixa qualidade e próximos de 1 elementos de alta qualidade. No Gráfico 2 está indicada a distribuição de elementos pela Qualidade Ortogonal.

Para a determinação do tamanho da primeira célula, de modo que se tenha uma malha capaz de representar melhor o comportamento dentro da camada limite, consequentemente ter bons resultados dos coeficientes de arrasto, buscou-se definir o tamanho da primeira camada de células da parede do casco de modo que o valor da distância adimensional, y^+ , atinja um valor máximo de 70, conforme indicado por Pranzitelli, Nicola e Miranda (2011).

Pode-se definir o valor do tamanho da altura máxima da célula a partir dos valores de estimativa do coeficiente de fricção, e do cisalhamento na parede, conforme indicado nas Equações 14, 15, 17, 17 e 18.



Gráfico 2: Histograma de número de elementos por Qualidade Ortogonal.

Fonte: Autor, 2019.

$$Re_x = \frac{\rho U_\infty L}{\mu} \quad [\text{Eq. 14}]$$

$$C_f = \frac{0,026}{Re_x^{1/7}} \quad [\text{Eq. 15}]$$

$$\tau_w = \frac{C_f \rho U_\infty^2}{2} \quad [\text{Eq. 16}]$$

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}} \quad [\text{Eq. 17}]$$

$$\Delta s = \frac{y^+ \mu}{u_* \rho} \quad [\text{Eq. 18}]$$

Sendo o valor do número de Reynolds na direção normal al fluxo, a velocidade de corrente livre e é a velocidade de fricção próximo a parede.

Sendo o escoamento em água a temperatura ambiente, 25°C, a velocidade de corrente livre de 1,6725 e o comprimento total do casco de 4m, define-se a distância da primeira camada com valor de 0,00113m. Assim, para a primeira camada, na região do casco, foi definida uma altura de elemento de 0,001m.

2.7. Condição de contorno

Para a solução do modelo numérico, é necessária a aplicação de condições de contorno nas fronteiras do domínio, desta forma a introduzir valores iniciais para a solução do modelo numérico.

Na fronteira de entrada, inlet, definiu-se como sendo uma entrada de pressão de modo que indicamos a posição da linha d'água em 0,25m acima da linha de base do casco e o fundo como a parte mais inferior do domínio fluido, 4 metros abaixo da linha d'água. Como fase primária deve-se definir o fluido o de menor densidade, ar, e a fase secundária como sendo a água, conforme indicado em Jones e Clarke (2010). Indica-se também para a fronteira de entrada a velocidade de entrada do fluido, igual a 1,6725 m/s e 2,55 m/s de modo a atingir velocidade de avanço com número de Froude de 0,267 e 0,408 e número de Reynolds de $6,66 \times 10^6$ e $10,17 \times 10^6$, respectivamente.

A escolha dos números de froude para análise deve-se a existência de bibliografias como Perez, Tan e Wilson (N/D) e Pranzitelli, Nicola e Miranda (2011) na qual disponibilizam os resultados experimentais do casco wigley para estes números de froude.

No casco, definiu-se a condição de parede sem escorregamento, de modo a simular a condição real onde as partículas junto a parede possuem velocidade relativa à parede igual a zero. Na parede acima do casco, foi aplicada uma condição de parede, porém caracterizada como sendo sem atrito, uma vez que a resistência do ar, para a velocidade de análise, é baixa e a resistência devido a esta parede pode ser desconsiderada.

A fronteira superior do domínio foi definida como condição de operação de pressão atmosférica. Na Figura 4, são indicadas as fronteiras do domínio.

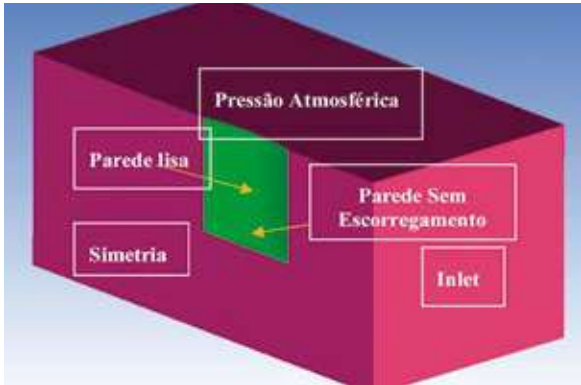


Figura 4: Condições de contorno das fronteiras do domínio entrada

Fonte: Autor, 2019.

A fronteira de saída, outlet, é modelada como uma saída de pressão com o mesmo posicionamento da linha d'água e fundo da fronteira de entrada.

Ao final, as fronteiras referentes a lateral e fundo do domínio são caracterizadas como sendo paredes sem escorregamento. A Figura 5 indica a caracterização das fronteiras de saída, lateral e fundo.

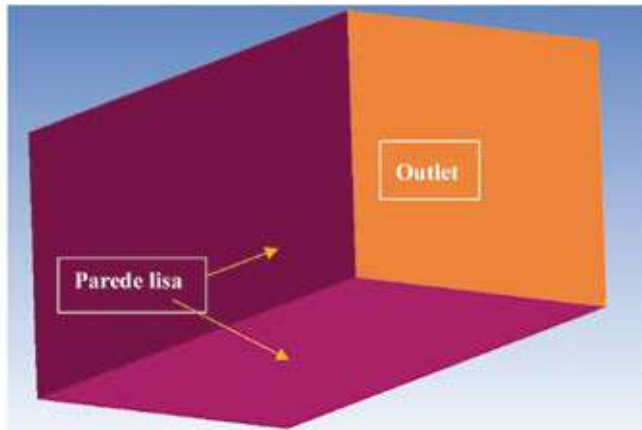


Figura 5: Condições de contorno das fronteiras do domínio saída

Fonte: Autor, 2019.

2.8. Configuração de solução

Para a solução do modelo de casco Wigley no *Software ANSYS Fluent* indicado acima, foram utilizadas as seguintes configurações de *software*:

- Condições de operação
 - Aceleração da Gravidade: $g_z = [0 \ 0 \ -9,81] \text{m/s}^2$
 - Densidade de operação: $p_{op} = 1,225 \text{ Kg/m}^3$
 - Pressão de operação: $p_{op} = 101325 \text{ Pa}$
 - Posição de referência da Pressão: $z_{ref} = [0 \ 0 \ L]$, sendo L o comprimento do casco
 - Regime permanente
- Modelo multifásico
 - VOF implícito
 - Escoamento em canal aberto
- Modelo de turbulência
 - SST $k-\omega$
- Acoplamento pressão-velocidade
 - Acoplado com *Volume Fraction*
- Discretização espacial
 - Gradiente: *Least Squares Cell Based*
 - Pressão: PRESTO
 - Momento: QUICK
 - *Volume Fraction*: *Compressível*
 - Energia Cinética Turbulenta: QUICK
 - Taxa de Dissipação Específica: QUICK
- Formulação Permanente
 - Falso Transiente
- Inicialização da Solução
 - Método de inicialização do canal aberto: Flat

2.9. Validação

Para a validação dos resultados gerados pelo deslocamento do casco Wigley, utilizou-se a comparação do perfil de elevação de onda gerada na superfície livre, de modo a verificarmos se a inserção do casco no escoamento gera a mesma perturbação observada no teste experimental.

Conforme a metodologia utilizada por Pranzitelli, Nicola e Miranda (2011), a altura de onda será adimensionalizada através da razão das cotas verticais de elevação da superfície livre e de cotas longitudinais do eixo do casco pelo próprio comprimento do casco. No Gráfico 3 abaixo observa-se a altura de onda experimental e a altura de onda gerada pelo modelo numérico.

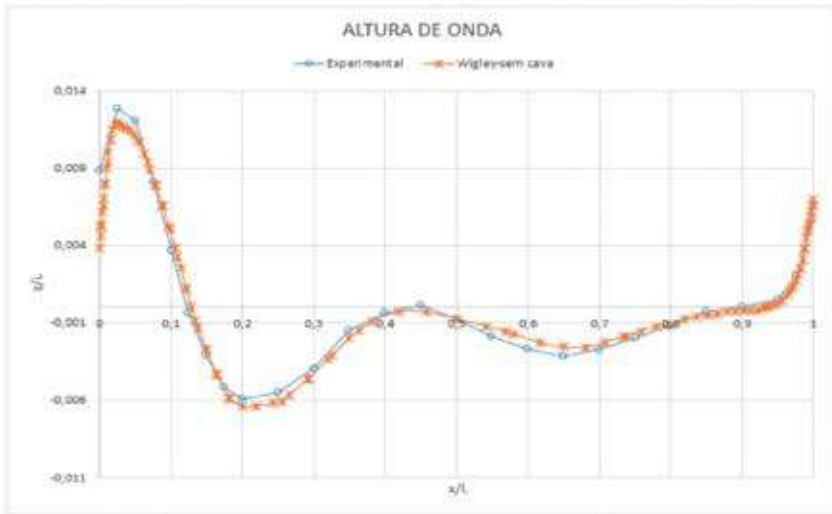


Gráfico 3: Curva de Elevação de onda Adimensional para Froude de 0,267
Fonte: Autor, 2019.

Outro critério analisado foi o coeficiente de arrasto, que após 5454 interações, atingiu os critérios de convergência estabelecido de valor de residual em escala de três casas decimais, sendo que os valores residuais referentes a velocidade nos três eixos e fração de volume das células atingiram seis casas decimais.

O valor do coeficiente de arrasto total, C_d , atingido foi $4,83 \times 10^{-3}$, o que representa erro de 7,09% comparado com o resultado experimental de $4,51 \times 10^{-3}$, sendo o valor experimental conforme indicado em Ju (1983).

Para possibilitar a análise do comportamento do escoamento em regimes distintos, efetuou-se a solução do modelo numérico para o número de Froude de 0,408, equivalente a uma velocidade de 2,55 m/s para o casco de 4 metros de comprimento.

Na Gráfico 4 pode-se observar a elevação de onda para a análise do escoamento com número de Froude de 0,408. Valores para a geração da curva experimental estão conforme Perez, Tan e Wilson (N/D).

Nota-se uma diferença de 23,92% entre a elevação da superfície livre da crista da primeira onda com relação ao experimental, ocorrido no ponto longitudinal do casco de 0,075, contudo, após a posição longitudinal de 0,12 o escoamento do modelo atinge forma coerente com o escoamento experimental, indicando a capacidade do modelo de projetar os fenômenos ocorridos na região da popa do casco, conforme observado no Gráfico 4.

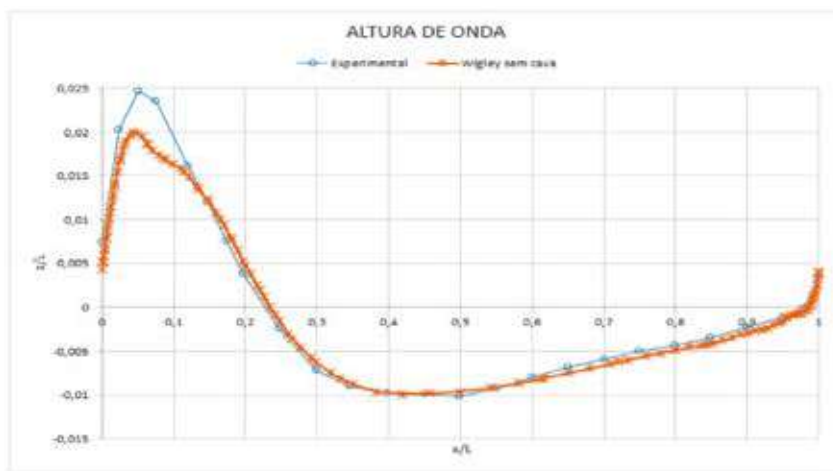


Gráfico 4: Curva de Elevação de onda Adimensional para Froude de 0,408
Fonte: Autor, 2019.

De forma semelhante ao modelo utilizado nesta análise, para o mesmo Froude, segundo Perez, Tan e Wilson (N/D), a elevação de onda se comportou conforme a Figura 6, coerente a solução do modelo numérico desenvolvido.

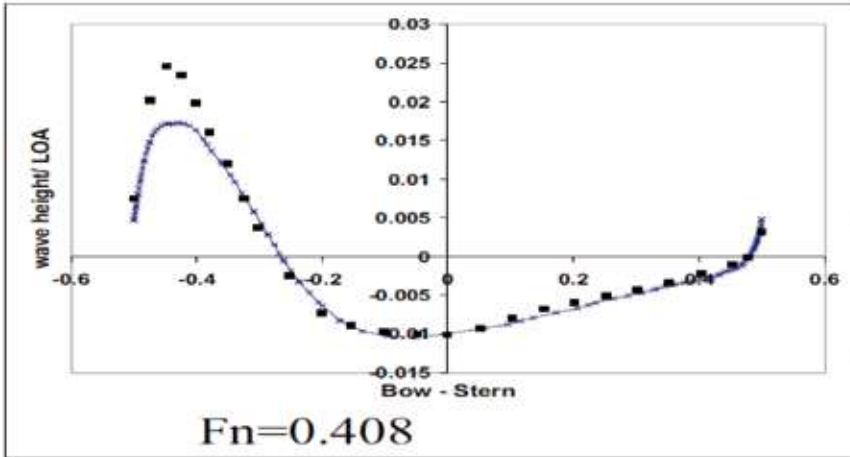


Figura 6: Curva de Elevação de onda Wigley Adimensional para Froude de 0,408

Fonte: Perez, Tan e Wilson (N/D), 2019.

2.10. Modificação aplicada

Para a definição das cavidades, na qual tem intuito principal de induzir turbulência, realizou-se uma regressão a partir do número de Reynolds, uma vez que este está intrinsecamente relacionado aos fenômenos de turbulência.

Para a incidência do fenômeno análogo ao estudado neste relatório em uma bola de golfe, observa-se a redução da resistência para escoamentos que possuam número de Reynolds acima de 50.000. Desta forma, a partir da velocidade de corrente livre igual à 1,6725 m/s (metros por segundo) para o casco Wigley, calculou-se a dimensão de referência, D, que atingisse o número de Reynolds equivalente ao que ocorre a mudança de regime na bola de golfe.

A partir da regressão, chegou-se a um valor de dimensão

característica mínima de 0,059m. Na Figura 7 podemos observar um plano de corte de linha d'água do casco, na metade da altura da cava, onde se observar a geometria implementada.

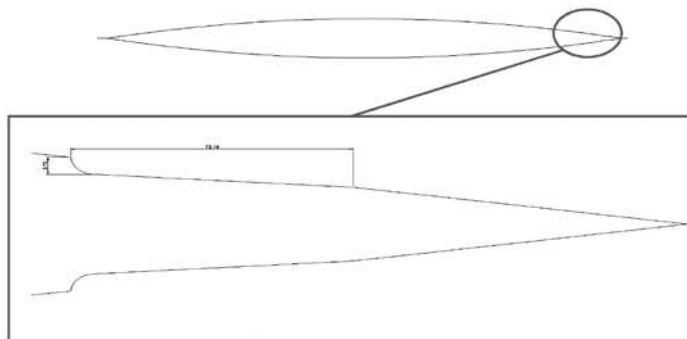


Figura 7: Geometria da cava implementada no casco
Fonte: Autor, 2019.

Fez-se uma geometria com profundidade de 0,00575m em formato de um quarto de circunferência e comprimento de 0,072m, de forma a garantir um valor do número de Reynolds superior ao crítico calculado medido para a bola de golfe.

A altura da cava foi definida em 0,115m e posicionada a 0,070m acima da linha de base e 0,065m abaixo da superfície livre.

Longitudinalmente, a cava foi posicionada a 3,8m a ré do extremo de proa.

O posicionamento longitudinal da cava foi definido buscando o ponto mais a ré de modo que a profundidade na parte inferior da cava não cruzasse a linha de centro.

Na Figura 3 pode-se observar a geometria da cava em 3 dimensões.

2.11. Discretização do Modelo Modificado

Previamente ao início da solução, foi realizada a análise dos mesmos critérios de qualidade utilizados na malha gerada para a solução do casco sem a cava, modelo de validação. Na Figura 9 pode-se observar a malha gerada para o casco com a cava.

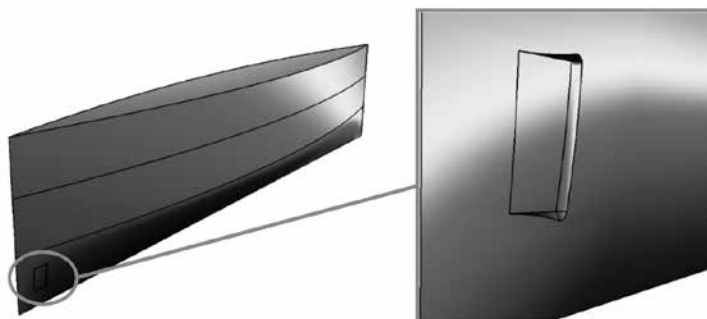


Figura 8: Geometria da cava 3D

Fonte: Autor, 2019.

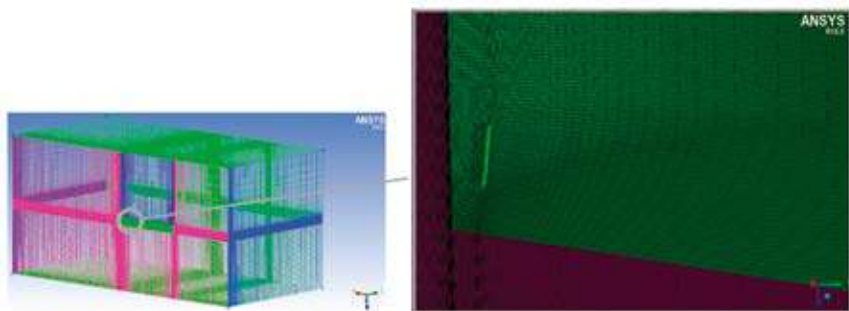


Figura 9: Malha computacional do casco com inclusão da cava

Fonte: Autor, 2019.

Na região da cava, pode-se observar pequena distorção nos elementos, uma vez que, para representar de forma adequada a curva, os volumes finitos terão uma de suas faces distorcidas para acompanhar a superfície do casco.

Mesmo considerando as distorções aplicadas na malha, os valores dos critérios de qualidade ficaram dentro do recomendado por Perez, Tan e Wilson (N/D), onde o valor do determinante $3 \times 3 \times 3$ da malha possui valor mínimo de 0,4538 e máximo de 0,9991.

Nos Gráficos 5 e 6 se pode observar o histograma do determinante Aspect Ratio e da Qualidade Ortogonal, respectivamente, para a malha do casco modificado com a inclusão da cava.

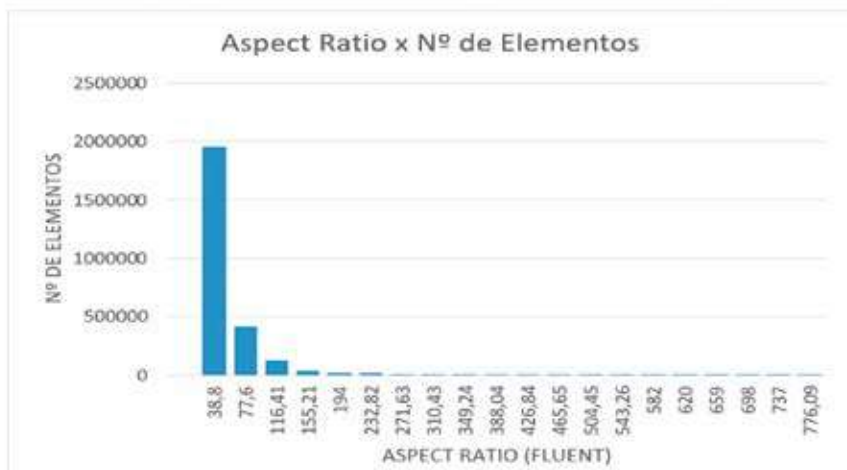


Gráfico 5: Número de Elementos por Aspect Ratio da malha do casco com cava

Fonte: Autor, 2019.



Gráfico 6: Número de Elementos por Qualidade ortogonal da Malha do caso com cava

Fonte: Autor, 2019.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para permitir a comparação entre os resultados observados no casco com a cava, foram utilizadas as mesmas configurações de domínio, malha e configuração de solução aplicadas para o casco sem cava utilizado para a validação do modelo numérico. Buscou-se, aplicar a quantidade de interações solucionadas pelo *software* para o modelo de validação, respeitando os critérios de convergência de valores residuais com no mínimo 3 casas decimais.

Considerando os critérios para manter a similaridade do modelo numérico com o casco alterado com a inclusão da cava, buscou-se na análise do comportamento do escoamento ao redor de uma embarcação observar os principais fatores de caracterização do comportamento do escoamento ao redor de um casco.

Observou-se as alterações na onda gerada pelo casco uma vez que esta representa a perturbação que o corpo está exercendo sobre o meio, deste modo, usou-se os valores de comparação da altura de onda adimensionalizada pelo comprimento do casco para observar o impacto da inclusão da cava no casco.

Analisou-se ainda o coeficiente de arrasto do casco com a inserção da cava para as 2 velocidades de análise, comparando o resultado com os resultados experimentais disponíveis na bibliografia.

3.1. Altura de onda

Pode-se observar a distorção da curva a partir do ponto 0,2, o que representar 0,8m a ré do bico de proa da embarcação, onde a amplitude da onda gerada é maior que a onda do casco original, representando um acréscimo de -0,0004 na altura de onda adimensional, ou -0,0016m.

O Gráfico 7 apresenta a curva de elevação de onda do casco com cava comparado com a curva do casco sem a cava.

Entre 0,29 e 0,54 os valores entre a curva do casco com cava e sem cava apresentam comportamento equivalente, sendo que entre 0,54 e 0,96 o comportamento da onda do casco com cava é mais

horizontal e com valores negativos, o que representa estar abaixo da superfície livre não perturbada pelo deslocamento do casco, indicando a permanência de uma região de velocidades mais altas nas camadas do fluido abaixo da superfície livre na parte de ré da meia nau, o que indica menor pressão dinâmica na superfície do casco na região de popa.



Gráfico 7: Curva de Elevação de onda Adimensional
Casco Com e Sem cava para Froude de 0,267

Fonte: Autor, 2019.

Após a posição de 0,96 do eixo das abcissas do Gráfico 7, pode-se observar a reaproximação do comportamento da superfície livre do casco com a cava com a do casco sem a cava, indicando uma crista de onda na popa, que resultará no trim de ondas transversal, semelhante à do casco sem a cava.

Para o casco avaliado em regime de escoamento com número de Froude de 0,408, pode-se observar concordância entre as posições longitudinais adimensional do casco de 0 a 0,85, conforme pode ser visto no Gráfico 8.

A partir da posição longitudinal de 0,85, observa-se uma distorção com a presença de um cavado na superfície livre. A presença do cavado deve-se a variação do cisalhamento na superfície do casco, gerado pela alteração nos campos de velocidade devido à presença da cava, que induz perturbação no escoamento.

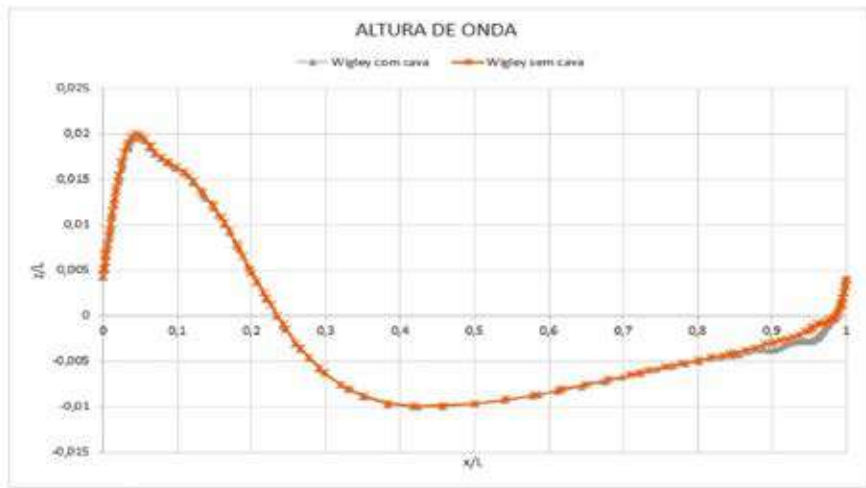


Gráfico 8: Curva de Elevação de onda Adimensional Casco Com e Sem cava para Froude de 0,408

Fonte: Autor, 2019.

434

3.2. Coeficiente de arrasto

O coeficiente de arrasto é um número adimensional utilizado para mensurar a resistência de um corpo em meio fluido. Composto por dois efeitos principais de arrasto, o arrasto viscoso e o arrasto de pressão de modo que, coeficiente menor representa que o objeto terá menor resistência aerodinâmica ou hidrodinâmica. O coeficiente de arrasto está sempre associado a velocidade de deslocamento do objeto, a características do meio e a área da superfície do corpo, conforme indicado na Equação 2.

Ao final das 5454 interações, o coeficiente de arrasto para os modelos com cava e sem cava podem ser observados conforme indicado na Tabela 1.

Observar-se que para o escoamento com menor velocidade, Froude de 0,267, houve um acréscimo de 0,00211 no valor do coeficiente de arrasto, representando um acréscimo de 43,68% com relação ao valor do coeficiente de arrasto para o casco sem a cava.

No que se refere a análise do coeficiente de arrasto para

Tabela 1: Coeficiente de arrasto por Froude e modelo

Fr	Casco Sem Cava	Casco Com Cava
0,267	0,00483	0,00694
0,408	0,01785	0,013698

Fonte: Autor, 2019.

o modelo analisado com número de Froude de 0,408 podemos observar um decréscimo de 23,66%. O Decréscimo relativo ao modelo sem cava provavelmente deve-se ao fato do aumento da relevância dos fenômenos relacionados a pressão com relação aos fenômenos viscosos para o escoamento com número de Froude mais elevado, de modo que o aumento da pressão na região da popa, gerado pela redução da velocidade do escoamento devido à presença da cava passa a exercer pressão adversa no casco de forma mais significativa que o aumento da resistência viscosa devido ao aumento da área do casco gerada pela cava, favorecendo o deslocamento com a redução da resistência total.

4. CONCLUSÕES

Pode-se observar alteração na superfície livre, quando comparados os resultados do modelo numérico sem a cava com a cava, sempre realizando a comparação entre as mesmas velocidades de escoamento, com o surgimento de uma distorção na região de popa, oriunda da modificação dos campos de pressão dinâmica e cisalhamento ao redor do casco.

No que se refere ao coeficiente de arrasto, o modelo de escoamento com o número de Froude de 0,267 apresentou aumento deste para o casco com cava se comparado ao casco sem a cava na mesma velocidade, atingindo diferença de 43,68% de aumento. Para o escoamento com velocidade de 2,55m/s o coeficiente de arrasto do casco com cava foi 23,66% menor.

A diferença de comportamento deve-se principalmente ao fato de que escoamentos com maior velocidade ao redor de cascos sofrem aumento de relevância dos fenômenos associados a pressão, indicando assim que melhorias de forma tendem a repercutir mais conforme as velocidades são elevadas, assim, o decréscimo observado no coeficiente de arrasto da análise realizada para o modelo com número de Froude de 0,408 gera o indicativo de que para velocidades maiores pode-se obter resultados de redução ainda maior.

O trabalho demonstra que existem possibilidades de projeto com concepção contra intuitivas que, para situações específicas, podem gerar ganho de performance.

REFERÊNCIAS

- ADJALI, S.; IMINE, O.; AOUNALLAH, M. e BELKADI, M. (2015). Numerical Simulation of Free Surface Water Wave for the Flow around NACA 0012 Hydrofoil and Wigley Hull Using VOF Method. World Academy of Science, Engineering and Technology, *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering* Vol. 9, No:5.
- AHMED, A. M. (2011). Numerical simulation for the free surface flow around a complex ship hull form at different Froude numbers. *Alexandria Engineering Journal*.
- AOKI, K.; MUTOB, K. e OKANAGAA, H. (2010). Aerodynamic Characteristics and Flow Pattern of a Golf Ball with Rotation. In: *8th Conference of the International Sports Engineering Association (ISEA)*.
- ARAÚJO, M. F. B. P. (2014). *Estimativa do fator de forma e da resistência ao avanço de embarcações através da dinâmica dos fluidos computacional*. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- CHOWDHURY, H.; LOGANATHAN, B.; WANG, Y.; MUSTARY, I. e ALAM, F. (2016). A study of dimple characteristics on golf ball drag. In: *11th conference of the International Sports Engineering Association, ISEA*.
- JU, S. (1983). *Study of total and viscous resistance for the Wigley parabolic ship form*. Iowa Institute of Hydraulic Research, The University of Iowa, Estados Unidos da América.
- MAKI, K. J. (2006). *Transom Stern Hydrodynamics*. The University of Michigan.

PEREZ, G. C. A.; TAN, M. e WILSON, P. A. (N/D). *Validation and verification of hull resistance components using a commercial cfd code*. Disponível em: <<https://eprints.soton.ac.uk/63772/1/nutts2008paper.pdf>>. Acesso em 28/07/2017.

PRANZITELLI, A.; NICOLA, C. e MIRANDA, S. (2011). Steady-state calculations of free surface flow around ship hulls and resistance predictions. In: *9th Symposium on High Speed Marine Vehicles - HSMV*. Naples, Italy.

SMIDERLE, F. (2016). *Influência da popa transom na resistência ao avanço de uma embarcação do tipo PSV*. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Joinville, Curso de Engenharia Naval.

TANCREDI, T. P.; WEISS, J. M. G.; MORISHITA, H. M. e MONTEIRO, T. G. (2014). Projeto de platform supply boats baseado em otimização multi objetivo. In: *Congresso Nacional de Transporte Aquaviário, Construção Naval e Offshore*, Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://biblioteca.portalbolsasdeestudo.com.br/link/?id=2342145>>. Acesso em 23/03/2017.

TANNEHILL, J. C.; ANDERSON, D. A. e PLETCHER, R. H. (1997). *Computational fluid dynamics and heat transfer*. Taylor & Francis.

Endereço para correspondência:

(1) Guedes, Yuri Victor Remígio – yguedes@ufpa.br;

(2) Moraes, Hito Braga – hito@ufpa.br;

(1;2) Universidade Federal do Pará – UFPA/PPGNAV, rua Augusto Corrêa nº 1, Belém-PA.

OPORTUNIDADE DE MERCADO DE TRANSPORTE HIDROVIÁRIO NO MARAJÓ SEGUNDO A PERCEPÇÃO DOS USUÁRIOS

*WATERWAY TRANSPORT MARKET OPPORTUNITY IN
MARAJÓ ACCORDING USERS' PERCEPTION*

**BAHIA, P.Q.¹; PENA, H. W.A.²; SOUZA NETO, L. L.³; SILVA,
NEYDSON MACCARRTY SILVA⁴**

(1) Instituto Federal do Pará; (2) Universidade Estadual
do Pará; (3) Faculdade Ideal; (4) Federação da Agricultura e
Pecuária do Estado do Pará

RESUMO

Os estudos sobre a dinâmica logística hidroviária têm concentrado suas análises pelo lado da oferta, ou seja, empresas que prestam os serviços em determinada rota, e assim avaliado o segmento e as necessidades na ótica da regulação. Este estudo ao contrário, apresentou um duplo objetivo. De um lado analisar a dinâmica hidroviária a partir da ótica da demanda na utilização de serviços mistos na travessia de Icoaraci a Camará. De outro, identificar as peculiaridades da modalidade de transporte ofertada na rota para a Região do Marajó e a qualidade de serviços prestados. Para avaliação do deslocamento insular foram realizadas entrevistas dentro do cálculo amostral com público diferenciado, com a base de informações primárias foi empregado a técnica de análise multivariada para modelar um ambiente complexo e com forte interdependência entre os agentes econômicos e as atividades produtivas. Atestou-se que a estrutura de mercado em monopólio no traslado apresenta fragilidades na qualidade de serviços, e a caracterização dos principais motivos para a viagem apontam para um novo operador logístico na rota.

Palavras-chave: Logística hidroviária. Percepção. Marajó. Rota. Fluxo de passageiros. Dinâmica hidroviária. Análise multivariada.

ABSTRACT

Studies on waterway logistics dynamics have focused their supply side analyzes, that is, companies providing services on a given route, and thus evaluated the segment and the needs in the optics of regulation. This study on the contrary, presented a double objective. On the one hand, to analyze the waterway dynamics from the perspective of the demand in the use of mixed services in Icoracia through Cameté. On the other hand, identify the peculiarities of the mode of transport offered on the route to the Marajó Region and the quality of services provided. For assessment of insular displacement interviews were conducted within the sample calculation with different public, with the primary information base, the multivariate analysis technique was employed to model a complex environment with strong interdependence between economic agents and productive activities. It was confirmed that the monopoly market structure in the transfer has fragility in the quality of services, and the characterization of the main reasons for the trip point to a new logistics operator on the route.

Keywords: Waterway logistics. Perception. Marajo. Route. Passenger flow. Waterway dynamics. Multivariate analysis.

1. INTRODUÇÃO

Conhecer as principais características do transporte hidroviário de passageiros é um fator determinante para que o estado do Pará estabeleça metas mais ousadas de exploração do modal, de maneira a promover o equilíbrio da matriz do transporte e, em consequência, aumentar a eficiência logística do Estado condizente com a dinâmica econômica regional.

Essas cidades apresentam sérios problemas de trânsito, por outro lado possui grande potencial para exploração do modal hidroviário entre algumas áreas. Diante desse contexto, este estudo utilizou o Método da Preferência Declarada para verificar se houve migração das pessoas que usam o automóvel particular para uma embarcação no trecho entre o Distrito de Icoaraci e o Centro da cidade de Belém.

A grande maioria de estudos para avaliar a viabilidade de rotas ou diagnosticar o seu funcionamento não considera a opinião mais importante, a dos seus usuários. Por isso, a escolha do emprego nessa perspectiva visa captar quais são as variáveis mais importantes na escolha do operador de transporte, ou na ausência de concorrentes, como se daria a interpretação sobre um conjunto de variáveis para atender melhor os passageiros.

A demanda reprimida ou insuficiência na oferta de bens e serviços se caracteriza de inúmeras maneiras, elementos como a formação de filas, insatisfação dos clientes, infraestrutura deficiente e fornecimento irregular do serviço são motivações suficientes para pressionar o mercado e revelar contradições na relação insumo-produto. As rotas fluviais também obedecem às mesmas características de funcionamento, e, quando falhas de mercado do lado do produto são identificadas existe a possibilidade do aparecimento de novos entrantes.

O mercado analisado de travessia por balsa no trecho (Porto de Icoaraci até o Porto de Camará) é realizado numa estrutura de mercado em monopólio, caracterizado por apenas um único ofertante do serviço de cargas/passageiros, o operador fluvial é a empresa Henvil Transporte Ltda, e esta pesquisa tem por objetivo analisar, a partir da percepção dos usuários, a possibilidade técnica de implantação de um novo operador fluvial que objetive a travessia combinando uma nova rota fluvial com redução do tempo de travessia e prestação de serviços de qualidade.

Portanto, a avaliação da percepção dos usuários para uma nova rota e sua viabilidade procura responder os seguintes aspectos: Quais são as variáveis identificadas pelo usuário na escolha e na avaliação do operador fluvial? Como avaliar os casos da amostra pesquisada diante de todas as variáveis a eles associadas? Como explicar a estrutura produtiva da região do Marajó e a necessidade de ampliação dos operadores logísticos? Como entender melhor o relacionamento das variáveis identificadas nesta pesquisa e como este relacionamento pode interferir na tomada de decisão empresarial?

Nesse sentido, a identificação da percepção dos usuários quanto aos serviços prestados na rota (Porto de Icoaraci até Porto

de Camará) associada as dinâmicas econômicas da região do Marajó oportuniza uma leitura para novas configurações diferenciadas das redes de transportes atuais e a discussão da necessidade de ampliação dos operadores logísticos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO DESENVOLVIMENTO

2.1. Logística e os modais de transportes

O sistema logístico no Brasil se desenvolveu ativamente somente a partir da década de 80 quando ainda era conhecido como Distribuição Física, o que significava a forma com que as mercadorias/pessoas eram transportadas de um ponto a outro sem nenhuma associação com as áreas de Suprimentos e Administração de Materiais. Portanto, colocar o produto certo, na hora certa, no tempo certo e com o menor custo possível (BALLOU, 2006) passou a ser a referência básica para os procedimentos logísticos em todos os setores.

As decisões em logística envolvem a escolha de diferentes modais de transporte, que levam em conta a relação necessária de tempo, distância, custos, capacidade de carga, como salientam Jacobs e Chase (2012) e Chopra e Meindl (2011). Logística é a forma de entrega de produtos adquiridos pelos clientes após comprarem qualquer produto de qualquer lugar do mundo.

A gestão de operações e logística é forçada então a adaptar-se ao ambiente competitivo estratégico atual. A medida em que, o sistema logístico formado por todos os membros da cadeia global de suprimentos, enfrenta pressões para integrar suas atividades. Essa integração assume diferentes configurações, dependendo de como os fatores ambientais afetam as empresas envolvidas. Diante disto, as redes de transporte, compostas por elementos naturais (os canais navegáveis, por exemplo) e de elementos artificiais (as ferrovias, por exemplo), vem se constituir como estrutura de circulação de bens e pessoas no exercício de suas atividades, proporcionando conectividade entre os aglomerados urbanos e rurais.

2.2. Papel dos transportes no desenvolvimento econômico e social das regiões

As infraestruturas de transportes como estradas, pontes, túneis, vias férreas, aeroportos, portos marítimos e fluviais têm contribuído para reduzir as distâncias, permitindo ultrapassar barreiras físicas como rios e montanhas, condicionando a acessibilidade das regiões e, por isso, o seu desenvolvimento econômico e social.

A maior velocidade dos transportes permitiu diminuir a distância-tempo (corresponde ao tempo utilizado para percorrer uma determinada distância). A maior capacidade de carga dos transportes e a diminuição dos custos permitiram reduzir a distância-custo (corresponde ao custo associado a uma determinada distância). A acessibilidade (maior ou menor facilidade com que se atinge um local; depende do tipo de transporte, das condições da via, da intensidade do tráfego e dos custos associados) dos lugares pode ser medida utilizando os indicadores distância-tempo e distância-custo.

2.3. O modal hidroviário no Estado do Pará e a dinâmica econômica regional

Na Região Amazônica, e em especial no estado do Pará, os rios são como estradas naturais e seus veículos são os barcos, que tecnicamente podem ser considerados mais econômicos e menos poluentes que os demais modais de transporte, porém, apesar das vantagens do modal hidroviário e da potencialidade natural da região, este modal não vem sendo bem aproveitado.

Caso a potencialidade fosse explorada seria possível promover a integração das ilhas com o continente, gerando a inclusão social de uma parcela significativa da população que fica separada ironicamente pelo rio que muitas vezes é sua fonte de renda. O uso deste modal poderia ainda contribuir para a redução dos congestionamentos na Região Metropolitana, bem como nas estradas do estado, contribuindo assim para uma redução nos

níveis: de estresse, poluição sonora e atmosférica e principalmente acidentes que ocorrem no sistema de transporte vigente, desta forma melhorando a qualidade de vida da população. (CARDOSO, 2013).

Tobias e Waisman (2001), analisando a organização espacial humana ressaltaram contribuições importantes no entendimento da questão. Iniciaram por Lamotte (1985) dizendo que o espaço humano se constrói sobre duas bases: o centro e a distância. O que, simplificada, demonstra a importância da rede de transporte no processo de construção de um espaço. Ressaltando, a priori, determinar as características da organização espacial das redes de transporte, como forma de entender os tipos de ligações que elas proporcionam no espaço regional. E, de forma complementar, como elas se desenvolvem acompanhando o processo histórico e econômico da região, ou seja, as funções que desempenham nesse processo.

As redes logísticas são projetadas para juntar vários conjuntos de pontos no espaço. Elas produzem sistemas geográficos regionais de transporte de pessoas, mercadorias e informações, que, quando estão bem estruturados, geram um fluxo desses - de uma origem até um destino - com menor tempo e com custo mais baixo, tornando-se um fator importante no que tange à competitividade econômica do local, contribuindo indiretamente para o desenvolvimento logístico do setor.

3. METODOLOGIA

A escolha da abordagem metodológica deve obedecer à natureza e as características da pesquisa a serem realizadas, as especificidades do ambiente pesquisado, o público alvo, a natureza da amostra e a complexidade associada ao objetivo devem estabelecer relação direta com o emprego metodológico. Nesse sentido, o deslocamento da população insular para o continente tem no transporte fluvial o principal modal das suas conduções, isto implica necessariamente em observar quais as características/variáveis mais importantes na percepção dos seus usuários. Conforme, mostra a Figura 1.



Figura 1: fluxo de passageiros e cargas porto camará e ferry boat
Fonte: Autores, 2019.

3.1. Fonte dos dados

A pesquisa de campo empregou o instrumento de entrevista informal com perguntas abertas para permitir maior detalhamento das informações prestadas pelo usuário, adicionalmente já com o objetivo de situar o problema de pesquisa a ser respondido, inicialmente para estabelecer alguma interação social e aplicação subsequente da técnica de documentação direta extensiva, ou seja, formulário com roteiro de questões diretas e de múltipla escolha estruturado e organizado de forma sistemático enunciado pelos pesquisadores e também por eles explicados quando assim couber (LAKATOS, 2012).

3.2. Quanto a base amostral

O cálculo amostral foi realizado com objetivo de validar considerações para o universo observado sem perder de vista as

exigências estatísticas de minimizar o erro e atender a significância exigida para levantamentos de natureza social (LEVIN, 1987; LEVINE, 2000).

Com base nas informações acima e considerando como universo as populações infinitas, dado que existem uma elevada demanda muito reprimida, diferentes usuários e toda uma população como potencial demandante do serviço, ou seja, potenciais clientes a amostra foi determinada pela expressão abaixo:

$$n = \frac{N \partial^2 Z^2}{\partial^2 Z^2 + (N-1) \epsilon^2} \quad [\text{Eq. 1}]$$

Em que:

n= Número de indivíduos na Amostra;

N= Universo da população que utiliza o serviço ou com potencial a utiliza-lo;

∂^2 = Variância da Amostra;

Z= Valor crítico que corresponde ao grau de confiança exigida, neste caso, variável normalmente padronizada associada ao nível de confiança.

Para uma amostra aleatória simples de universo infinito, onde foi admitindo um erro amostral máximo de ($\epsilon=5\%$), e um nível de confiança de ($Z=95\%$), e variância padrão da amostra e o tamanho mínimo estimado observando os valores críticos associados ao grau de confiança estabelecido foi de ($n= 112$).

3.3. Processo de Integração da Pesquisa

O formulário de pesquisa aplicado apresenta as etapas de elaboração e finaliza com as conclusões e extrapolações da amostra levantada. A Base de dados secundários utilizou dados do Instituto nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, para composição das Cartas e Mapas temáticos associados à rota fluvial (Icoaraci e Camará). Assim como foi adicionado a este os dados levantados via equipamentos de precisão como o GPS, modelo Garmin (Figura 1) Rotas rodoviárias alternativas até o porto de Icoaraci, na travessia

Icoaraci-Camará), pode-se dizer que a vetorização dos pontos com inclusão de todas as rotas foi um componente adicional na análise e subsidiará a tomada de decisão associada aos elementos modais, e estes correspondem ainda às fontes primárias (Figura 1).

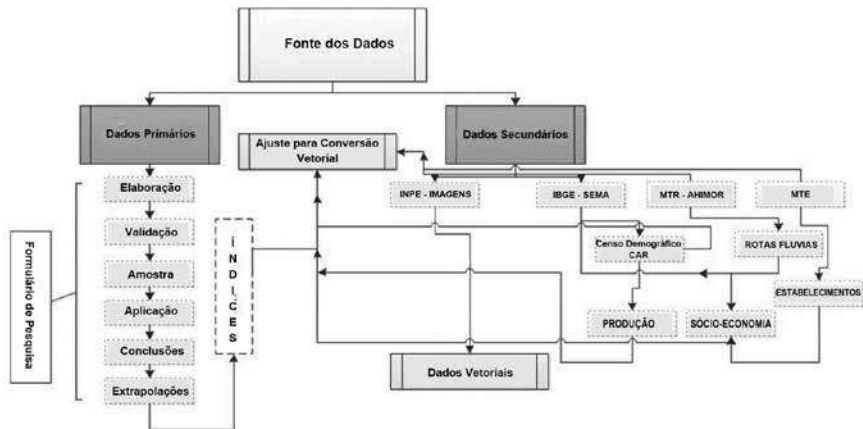


Figura 1: Integração das Fontes de Pesquisa e delineamento Metodológico

Fonte: Autores, 2019.

Os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE correspondem ao levantamento secundário, no entanto muito importante para a definição da amostra e principalmente para explicar os adensamentos de destino, no município de Cachoeira do Arari, Salvaterra, e distritos rurais que utilizam e se beneficiam do serviço prestado na rota Icoaraci e Camará (Figuras 2 e 3).

3.4. A análise multivariada como método estatístico

A caracterização dos determinantes da escolha do serviço de navegação fluvial na rota insular mencionada acima como problema central exigiu um esforço teórico que considerasse a explicação de variáveis subjacentes e o comportamento explicativo simultâneo



Figura 2: Mapa de Rotas rodoviárias alternativas até o porto de Icoaraci, na travessia Icoaraci-Camará

Fonte: Autores, 2019.

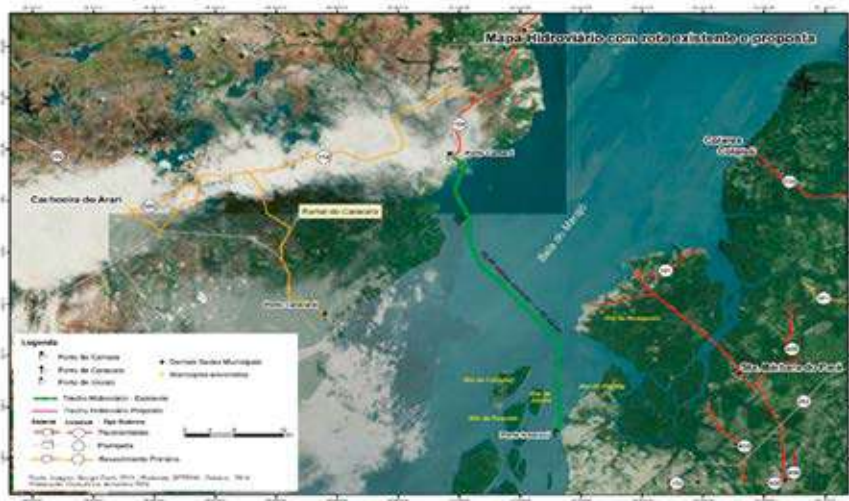


Figura 3: Mapa de fluxo (Rodo-Hidroviário) travessia Icoaraci-Camará

Fonte: Autores, 2019.

do seu conjunto, neste contexto, o estudo do objeto obrigou um ajuste estatístico que envolvesse uma multiplicidade conceitual de variáveis e técnicas estatísticas para modelar um ambiente complexo e com forte interdependência entre os seus agentes econômicos e as atividades produtivas.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1. A nomeação dos fatores

As variáveis empregadas na pesquisa, os 27 questionamentos em torno da rota fluvial Icoaraci – Camará serão explicadas por variáveis subjacentes e relações de associações que permitiram novos arranjos de entendimento do serviço prestado, das condições de mercado, do operador fluvial e da avaliação de novos entrantes nesta estrutura de mercado monopolizado (Tabela 1).

O primeiro fator F1, denominado de Avaliação do Serviço apresentou o maior poder de explicação da variância total dos dados correspondendo a 16,22% das motivações associadas ao uso da travessia pelos usuários, e as variáveis integrantes deste vetor são: a.1) - Disponibilidade de Horário para realização da travessia; b.1) - O Tempo de Travessia entre o embarque e desembarque; c.1) - Qualidade do Serviço prestado até o destino, incluindo serviços de orientação e durante a travessia; d.1) - O Conforto durante a prestação dos serviços; e.1) - O Sistema de Embarque e Desembarque; f.1) - A Infraestrutura Portuária; g.1) - As Acomodações; h.1) - Avaliação sobre as Condições de Venda.

Todas as variáveis apresentaram sinal positivo, indicando que no período pesquisado ocorreram variações no mesmo sentido com o fator, a variável denominada de embarque e desembarque apresentou a maior carga fatorial dentro da dimensão analisada, o que significa que a percepção de avaliação negativa do serviço está diretamente relacionada com esta variável, ou seja, quanto mais desorganizada e quanto mais tarda o embarque, mais os usuários negativam a prestação de serviços, isto estaria associado simultaneamente a fatores como a infraestrutura portuária,

Tabela 1: Nomeação dos principais fatores ortogonais segundo a percepção dos entrevistados na caracterização da rota fluvial Icoaraci-Camará

1. Variáveis	2. Componentes Principais							
	AVALIAÇÃO DO SERVIÇO	NOVAS ROTAS	NOVOS ENTRANTES	MUDANÇA DE OPERADOR	RELAÇÃO BENEFÍCIO/CUSTO	SERVIÇOS ADICIONAIS	DISPOSIÇÃO A PAGAR	TEMPO DE TRANSLAO
1.1 MOTIVO	-0,035	0,301	-0,128	-0,327	0,114	-0,178	0,631	0,040
1.2 FREQUENCIA MÊS	-0,059	0,125	-0,047	-0,133	0,813	0,032	-0,188	-0,164
1.3 NÚMERO OPERADORES	0,347	-0,188	0,658	-0,054	-0,206	0,036	-0,106	0,022
1.4 HORARIO	0,474	0,159	0,422	0,423	-0,148	-0,179	0,188	-0,134
1.5 TARIFA	0,351	0,183	0,754	0,021	-0,005	-0,060	0,004	-0,086
1.6 TEMPO TRAVESSIA	0,563	-0,254	0,322	0,254	-0,273	-0,078	0,072	0,285
1.7 NOVOS OPERADORES	0,082	-0,119	-0,438	0,175		0,028	0,336	0,129
1.8 REDUÇÃO CUSTO	-0,014	-0,075	0,095	0,184	465 691 452	-0,060	0,274	0,432
1.9 TRANSTORNOS	-0,405	0,302	-0,134	0,106		0,347	0,040	0,289
1.10 MUDANÇA OPERADOR	-0,068	0,039	-0,044	0,861	0,101	-0,018	-0,111	-0,135
1.11 VALOR A MAIS	-0,240	0,244	0,096	0,173	-0,073	0,136	0,739	-0,060
1.12 CUSTO TOTAL DESTINO	0,174	-0,036	0,822	0,073	0,007	0,081	0,088	0,018
1.13 TEMPO TOTAL	0,323	-0,682	0,440	0,091	0,088	-0,052	-0,105	0,092
1.14 QUALIDADE SERVIÇO	0,630	-0,370	0,200	-0,041	-0,058	0,051	-0,401	0,297
1.15 VELOCIDADE_BALSA	0,345	-0,290	0,294	486 888	-0,155	0,312	-0,023	0,300
1.16 VELOCIDADE_ESCOLHA	-0,174	-0,019	-0,020		-0,013	-0,038	0,110	-0,069
1.17 CONFORTO	0,724	0,305	0,297	0,091	-0,032	-0,165	-0,259	-0,107
1.18 SISTEMA_EMBAQUE	0,796	-0,315	0,161	-0,114	-0,006	-0,068	-0,058	0,047
1.19 INFRAESTRUTURA_PORTÁRIO	0,695	-0,423	0,281	-0,104	-0,007	0,117	-0,180	0,036
1.20 ACESSO AO TERMINAL	0,296	-0,332	0,438	-0,162	0,176	0,113	-0,231	-0,100
1.21 ACOMODAÇÕES	0,724	0,300	0,297	0,060	-0,032	-0,074	-0,235	-0,126
1.22 DIVERSIFICAÇÃO_HORÁRIOS	-0,032	0,094	-0,116	-0,230	0,060	-0,034	-0,044	0,585
1.23 NOVAS_ROTAS	0,087	0,033	0,033	-0,003	0,092	-0,221	0,162	0,038
1.24 ENOR_CUSTO_TARIFAS	-0,025	891 883	0,129	-0,015	0,073	-0,158	0,157	0,033
1.25 CARGAS_FRACIONADAS	-0,062	0,404	0,046	-0,018	-0,024		0,077	0,212
1.26 AVALLIA CARGAS_FRACIONADAS	-0,033	-0,077	0,079	-0,053	0,027	-718 892	0,050	0,064
1.27 CONDIÇÕES_VENDA	0,637	0,051	0,091	-0,223	0,036	0,147	0,148	-0,079
3. autovale	6,960	3,617	2,532	1,990	1,995	1,430	1,083	1,016
4. Variância Total Explicada	16,2251214	12,7768	11,2872936	9,025304985	6,793215105	6,67663441	6,486081841	5,70426584

Legenda:

1. 27 variáveis empregadas na pesquisa fluvial trecho Icoaraci-Camará
2. Número de Componentes Principais Extraídos pela Técnica Estatística
3. Nível de Correlação das Variáveis
4. Explicação da Variância Total pelo conjunto das variáveis

Fonte: Resultados da Pesquisa, 2014.

que não oferece condições adequadas, até mesmo para prestar informações. Os funcionários não possuem qualificação adequada e não receberam instruções para tratar com o público e os problemas associadas a demora do embarque não são mediados corretamente, tumultuando o embarque e desembarque (Tabela 1).

O segundo fator F-2 foi nomeado de Novas Rotas e tendência para uma necessidade de outro trecho para efetivação da travessia, no entanto a demanda reprimida associada a esta escolha como decisão estaria associada a um tempo total despreendido na viagem que fosse menor considerando a existência de outra rota, o que justifica o sinal contrário da variável Tempo Total, pois considera-se para efeito de entrevista todo o tempo despreendido, inclusive o de espera de embarque dos carros e outras cargas até o desembarque final.

O segundo maior poder de explicação dos dados da pesquisa são representados por este fator, ou seja, 12,77% da variância total são resultados das interações conjuntas das seguintes variáveis: a.2) - O Tempo Total até o destino, incluído a perda associada a formação de filas, a desorganização do embarque e desembarque, a infraestrutura portuária para atendimento em geral, incluindo orientações para quem viaja a primeira vez e com finalidade turística; b.2) - Novas Rotas como uma alternativa ao deslocamento pretendido, como por exemplo saída de outro porto; c.2) - Menor Custo de Tarifas seria uma condição importante e fundamental para uma maior utilização do serviço, principalmente para quem tem na travessia um motivo profissional associado.

O fator F3, responde por 11,28% da variância total e foi nomeado como Novos Entrantes, porque reúne as variáveis: a.3) - Número de Operadores Fluviais; b.3) - Tarifa; c.3) - Custo Total até o Destino e d.3) - Acesso ao Terminal.

O sinal das variáveis foram todos positivos indicando influência de mesmo sentido no fator. Na análise de interdependência o fator Custo Total até o Destino apresentou a maior carga fatorial (0,822), seguido da variável Tarifa (0,754), Número de Operadores (0,658) e Acesso ao terminal (0,438), dentro da dimensão analisada. As condições de monopólio que atua a empresa operadora da rota estão associadas na opinião dos usuários a um encarecimento (elevação do custo total), com tarifas muito elevadas quando comparadas a outras travessias inclusive fora do estado, o que reflete numa necessidade de atuação de outros operadores no trecho (Tabela 1).

O fator F4 foi denominado de Mudança de Operador, explica 9,02% da variância total e apresenta nas dimensões as variáveis: Mudança de Operador; Velocidade da Balsa e Velocidade/Escolha,

e as cargas fatorais são respectivamente (0,861); (0,486) e (0,888). Este fator dimensiona que a possibilidade de mudança do operador da rota para outra empresa de mesmo destino, estaria associada a uma quebra no monopólio, a influência técnica de velocidade de navegação da Balsa e a relação direta com o tempo necessário em função disso, a redução da travessia em horas representaria na opinião dos usuários uma migração para aquela empresa que oferecesse menor tempo de viagem.

O fator F5, denominado de Relação Benefício/Custo explica o equivalente a 6,79% da variância total caracterizando a avaliação/percepção do usuário de qual o seu retorno associado ao valor pago na tarifa, e os serviços indiretos oferecidos pela empresa, e contempla na sua dimensão as variáveis: a.5) - Frequência/Mês identifica o quantitativo de viagens que o usuário realize durante o mês; b.5) - Novos Operadores, identifica a necessidade de novas empresas operando a rota; c.5) - Redução de Custo, e sua relação com o aumento/utilização do serviço prestado pela empresa; d.5) - Transtornos, identifica em intensidade os transtorno causado pela demora associado a todo o serviço prestado.

O fator F6, foi nomeado de Serviços Adicionais, e responde por 6,67% da variância total dos dados da pesquisa e da interdependência do modelo apresenta como componentes as variáveis: Cargas Fracionadas e Avaliação das Cargas Fracionadas, com as respectivas cargas fatoriais -0,718 e 0,892. Os sinais contrários revelam que a grande maioria não faz uso deste tipo de serviço e quem utiliza avalia de forma positiva.

O fator F7, denominado de Disposição a Pagar associa o elemento tempo como determinante do aumento da tarifa para um operador que realizasse a travessia em menor tempo, tendo em vista os transtornos associados conjuntamente por essa demora (serviços prestados, embarque/desembarque, entre outros), a variável denominada de Valor a Mais ficou isolada na modelagem, o que indica ser uma questão decidida de forma isolada para a decisão de aceitar pagar a mais. O último fator F8, foi denominado de Tempo de Translado e explica 5,70% da variância total e é formado apenas pela variável diversificação de horários com carga fatorial de (0,885),

o valor positiva indica que se deve apresentar maior disponibilidade para as travessias.

4.2. Análise qualitativa e detalhamento das variáveis

Até o momento foram analisados apenas os aspectos quantitativos da pesquisa, e nesta seção de forma específica foi dada importância diferenciada à resposta atribuída pelos usuários na caracterização do serviço oferecido. O levantamento primário em geral por falta de critérios metodológicos não era empregado para avaliar a viabilidade da implantação de novos serviços, novos entrantes e novos produtos, e o diferencial metodológico abordado nesta pesquisa de rota fluvial foi não dispensar a principal base de dados (primários) da tarefa de orientadora para a tomada de decisões empresariais.

✓ Quanto ao aspecto “motivos da viagem”

Quando perguntado aos entrevistados os motivos da realização das viagens, mais de 45% realizam o trecho do Porto de Icoaraci ao Porto de Camará com objetivos diretos ligados a fins de trabalho formal ou informal, a destinação final dos usuários são localidades (comunidades), que se localizam nos municípios de Salvaterra, Cachoeira do Arari, Santa Cruz do Arari e Soure, ou seja, a importância deste primeiro trecho de travessia apenas inicia a viagem porque novos trechos de navegação e estrada ainda serão necessários para o destino final (Figura 2).

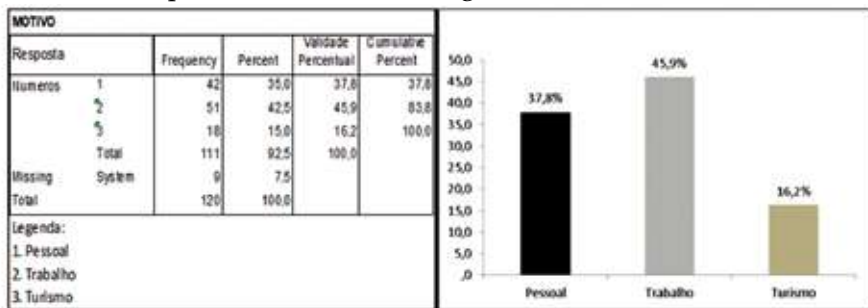


Figura 2: Análise de Frequência e participação relativa da percepção quanto ao motivo da viagem

Fonte: Resultados da Pesquisa, 2014.

Os motivos pessoas respondem por 37,8% da destinação aos referidos municípios, mais quando conversado a respeito de qual o entendimento do usuário do que era pessoal, conclui-se que são motivos indiretos ligados ao trabalho ou a pequenos negócios como aluguel de casas, arrendamentos de terra, e comercio em geral que promovem tais deslocamentos. O motivo Turismo responde por 16,2%, o que pode ser considerado bastante elevado tendo em vista que a aplicação do questionário ocorreu nos meses de novembro e dezembro, especificamente no período de 27 de novembro a 04 de dezembro, o que corresponde a um período muito comercial, um pouco distante das férias escolares e do período das festas de fim de ano, onde a demanda para este motivo aumenta consideravelmente (Figura 2).

✓ Quanto ao aspecto “frequência das viagens”

A quantidade de viagens realizadas por mês foi uma variável consultada na pesquisa, pois a regularidade na demanda do serviço fluvial é muito importante para a tomada de decisões empresárias. A constância na viagem estabelece maior aproximação com o usuário e exige maior atenção quanto ao serviço prestado pela empresa, além de constituir um indicativo forte de demanda para a empresa (Figura 3).

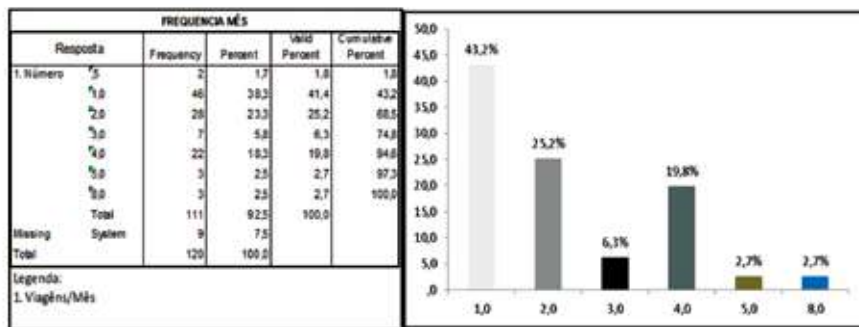


Figura 3: Análise de Frequência e participação relativa da percepção quanto ao número de viagens realizada/mês

Fonte: Resultado da Pesquisa. 2014.

Mais de 40% dos entrevistados disseram que realizam esta travessia pelo menos uma vez ao mês, o que demonstra regularidade moderada pelo uso do serviço, no entanto se considerarmos que pelo

menos duas semanas são utilizadas para este tipo de viagem no trecho, teremos mais de 51% dos usuários demandando este serviço fluvial, o que representa uma regularidade boa para a viabilidade econômica de expansão ou novos entrantes nesta estrutura produtiva (Figura 3).

Quando perguntado quem realiza o percurso acima de 4 vezes ao mês, pode-se considerar que apenas 5,4% apenas dos usuários utilizam ou demandam com essa frequência. Deve-se considerar também que o mapa de embarque da empresa fecha a travessia com bastante antecedência, pela natureza empresarial do demandante, e muitos caminhões são embarcados e representam apenas uma empresa. O número de travessias no trecho caracteriza uma diretamente as condições de negócios associadas ao trecho e a dinâmica de atividades serão abordados em tópico posterior, porque quanto maior a frequência, mais fluxos são mantidos, maior também é o dinamismo de negócios associado ao trecho pesquisado (Figura 3).

✓ Quanto ao aspecto “Número de Operadores”

Quando abordado com relação ao quantitativo de operadores da rota, foi constatado muita crítica com relação a um único operador, em termos percentuais mais de 90% dos usuários não apresentou nenhum elogio a esta condição, o que estaria associado ao funcionamento operacional de uma estrutura de monopólio que os demandantes têm consciência que esta imperfeição desagrada o mercado consumidor, por outros motivos que serão detalhados em outras variáveis (Figura 4).

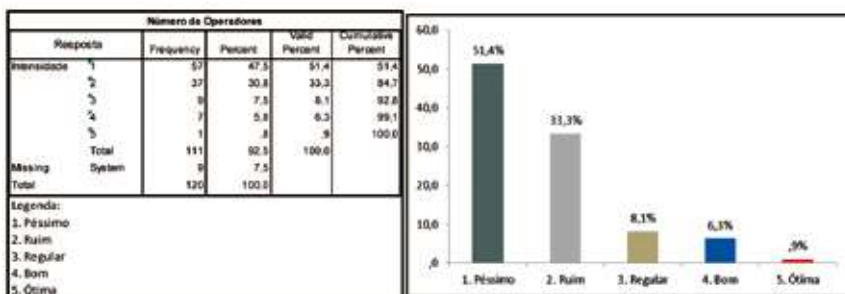


Figura 4: Análise de Frequência e participação relativa da percepção quanto ao número de operadores

Fonte: Resultado da Pesquisa, 2014.

Com a estratificação foi possível identificar que mais de 100 respondentes aos questionários avaliaram esta condição como péssima, ruim ou regular, reforçando a condição de insatisfação desse modo de concessão e funcionamento que segundo as percepções dos usuários estaria associado (origens) da causa de outros problemas identificados na avaliação dos serviços prestados pela empresa (Figura 4).

A condição de avaliação no estrato de bom ou ótimo, em torno de 15%, coincide para um usuário que não demanda com frequência o serviço, ou não apresenta problemas no embarque e desembarque porque existe certa programação (antecipação) por parte da empresa que estaria vinculado para que o atendimento fosse priorizado, ou seja, estes usuários tem um caráter empresarial e constam regularmente no mapa produtivo da empresa para efetivação das viagens (Figura 4).

✓ Quanto ao aspecto “Horário Disponibilizado”

Quanto à disponibilização dos horários para a realização da travessia no sentido Porto de Icoaraci até o Porto de Caracará e vice-versa, foram avaliados como péssimo ou ruim por mais de 62% dos usuários, e isto pode estar relacionado pelo descumprimento dos horários previstos e principalmente pela irregularidade no cumprimento da programação anunciada, estes foram os principais motivos explicados pela classificação neste nível (Figura 5).

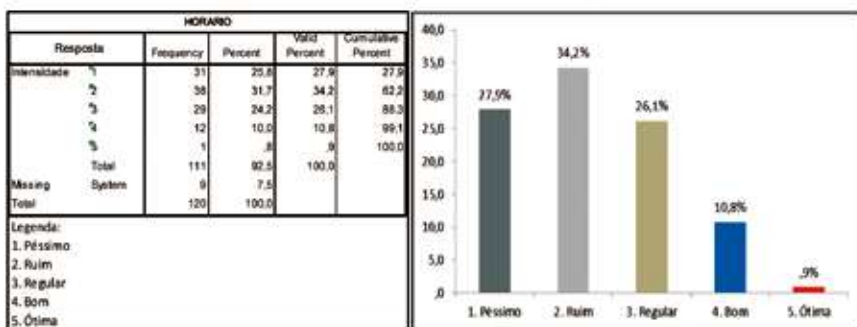


Figura 5: Análise de Frequência e participação relativa da percepção quanto ao horário disponível

Fonte: Resultado da Pesquisa, 2014.

Quanto a este critério menos de 1% avaliou como ótimo esta situação, e 10,8%, ou seja, 12 usuários classificaram como bom o horário disponibilizado pela empresa. O entendimento destas percepções e o ajuste de horário para atender melhor os usuários pode ser um critério importante para novos entrantes neste segmento, tendo em vista que existe inconformismo no horário oferecido pela empresa, que somado a outros fatores de ordem administrativa apresentam um ponto importante para as empresas que tem interesse em operar com esta rota. Um pouco mais de 26% dos usuários que classificaram o horário como regular, mais o perfil destes entrevistados, a viagem pelo trecho é apenas 1 por mês, e eles se ajustam de maneira satisfatória ao horário oferecido (Figura 5).

✓ Quanto ao aspecto “Tarifa Praticada”

Com relação à tarifa praticada os usuários e demais valores cobrados na travessia, os entrevistados reprovaram em mais 66% dos casos, estes dados correspondem aqueles demandantes que uso com frequência o serviço e por isso são mais fidedignos na sua avaliação, e que provavelmente na presença de outra empresa para prestar o mesmo serviço migrariam, exatamente pelo elevado inconformismo. Quando investigado os motivos associados, a maior insatisfação é com relação a qualidade do serviço prestado, que ao praticar uma tarifa elevada comparada a outros operadores no estado e fora dele não oferece uma relação benefício/custo positiva (Figura 6).

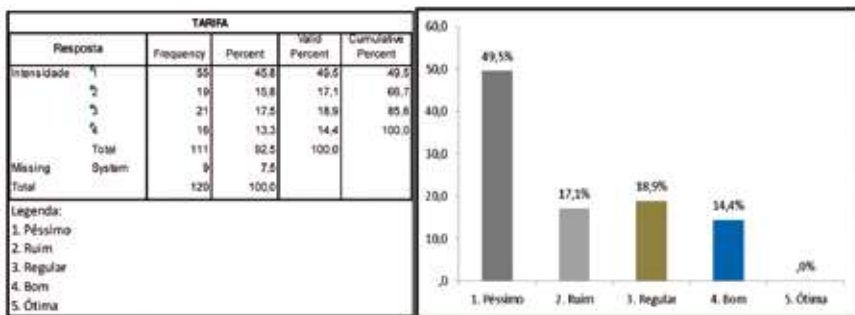


Figura 6: Análise de Frequência e participação relativa da percepção quanto à tarifa praticada

Fonte: Resultado da Pesquisa, 2014.

Outras inconsistências residem na cobrança dos passageiros que estão ocupando o mesmo carro, segundo os entrevistados em outras travessias não existe esta cobrança, e alguns alegam ser irregular, e sem justificativas da empresa, fica prevalecendo a opinião popular. Apenas 14,4% avaliaram a tarifa como bom e não souberam informar de outros terminais que estiveram para comparar valores, e também não viajam com frequência àquela rota e outras respostas estavam associadas a confiança na empresa prestadora do serviço (Figura 6).

Na condição de ótima tarifa não houve avaliação para este critério e 18,9% disseram ser uma tarifa regular e dos 21 entrevistados que avaliaram nesta condição, apenas 7 disseram fazer consulta de preços e comparar valores antes de demandar serviços, o restante não faz pesquisa de preço e justificam que não adianta comparar pela condição de primazia da empresa operadora na rota (Figura 6).

✓ Quanto ao aspecto “Tempo de Travessia”

No aspecto tempo de travessia 54 usuários avaliaram como péssimo ou ruim esse tempo que a embarcação leva para realizar a translado, ou seja, da amostra isso corresponde a 48,6% dos entrevistados, e como justificativas citaram, que a demora impossibilita resolver muitos problemas no destino final, ou seja, o que coincide com o público mais comercial da viagem e que utiliza a rota para fins produtivos, e o fator tempo é imprescindível na vida econômica, são usuários que possuem uma maior rotina na travessia e criticam fortemente a demora (Figura 7).

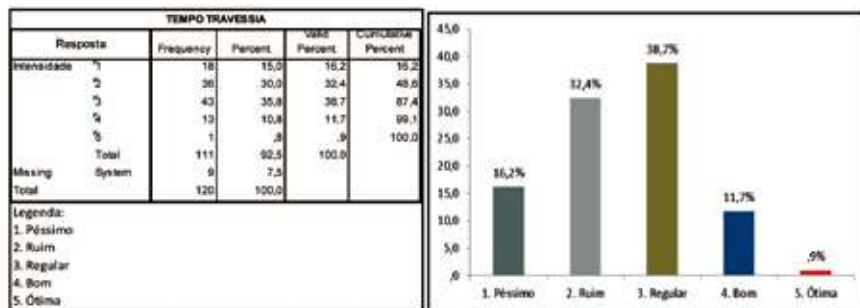


Figura 7: Análise de Frequência e participação relativa da percepção quanto ao tempo de travessia

Fonte: Resultado da Pesquisa, 2014.

Dos 38% que responderam como regular, associam a demora a influência da maré que a embarcação sofre rumo ao seu destino e outros justificam estar dentro da média, mais não citam outros trechos que viajam. Quanto ao público que avaliou como bom ou ótimo o tempo de travessia, o perfil está associado a turistas que estavam a passeio e por isso não tinham pressa na execução da viagem e outros relataram um bom motivo para apreciar a natureza.

Esta avaliação representa um excelente indicativo que outras embarcações com maior potencial de motor (maior cavalo) e autonomia podem realizar o trecho e captar a demanda reprimida dos usuários que nesta pesquisa representam 48,6% que avaliam o tempo como sinônimo de dinheiro, e por ser um público mais de comércio e serviço (negócios), estaria disposto a pagar mais para uma navegação mais rápida considerando principalmente a importância atribuída ao fator tempo de traslado.

✓ Quanto ao aspecto “Novos Operadores”

Quando perguntado da necessidade de acrescentar pelo menos um novo operador na rota, a resposta foi unânime em concordar da necessidade de novas empresas operando no trecho, como justificativa a defesa de novos entrantes, 97,3% avaliou com elevado, indicando os índices de 4 ou 5 a necessidade de novos entrantes. A estrutura de mercado em primazia revelou falhas no atendimento dos serviços em diferentes níveis e as percepções dos usuários é de que uma empresa não atende aos objetivos dos consumidores e sim da própria empresa, não existindo motivação para mudanças e nem exigências por órgãos de fiscalização, estas foram algumas das justificativas dadas pelos usuários (Figura 8).

Existem questões técnicas que reforçam a condição da estrutura em monopólios existentes na rota, entre as quais: o levado investimento de novas empresas entrantes; a concessão para operar na rota; o investimento em infraestrutura portuária e tecnologia, entre outros. No entanto quando consideramos a demanda pelo serviço e a avaliação das condições de funcionamento do operador atual existe claramente uma necessidade (demanda reprimida), para

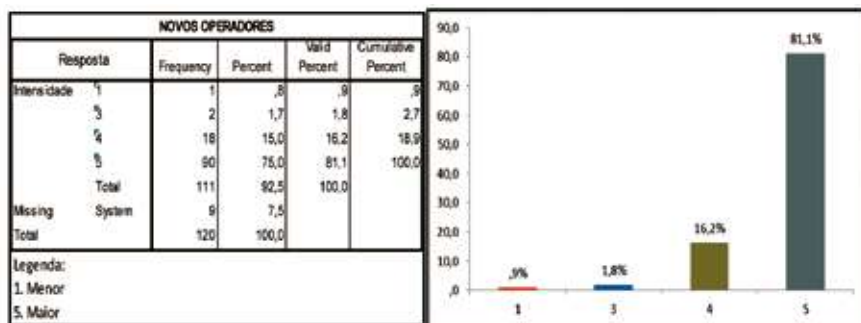


Figura 8: Análise de Frequência e participação relativa da exceção quanto a novos operadores

Fonte: Resultado da Pesquisa, 2014.

a entrada de novas empresas. São demandantes que mantem um fluxo regular de travessia, e que estão insatisfeitos de uma maneira geral na prestação do serviço.

✓ Quanto ao aspecto “Redução de Custos”

Quando perguntado se a redução de custos implicaria em maior utilização dos serviços da rota de navegação, os entrevistados responderam em intensidade de 1 a 5, e de acordo com a legenda da figura. Dos usuários que fazem a rota com maior frequência a redução de custos associados a travessia, 100% respondeu com a maior intensidade, e o percentual se elevou porque quando se trata de valores (custos), os benefícios todos querem compartilhar, mais o público comercial tem maior elasticidade (sensibilidade) para aumentar a demanda pelo serviço, quando ocorre redução de custos (Figura 9).

Outra parte dos usuários respondeu com elevado índice de avaliação, ou seja, 14,4% indicou importância nível 4 no aumento da demanda pelo serviço em relação a queda na tarifa, isto ocorre porque os usuários que mantem pequenos negócios nos municípios reduzem seus custos totais, que soma-se a passagem, traslado, deslocamento com novas travessias, e isto é significativo para o aumento do número de viagens. Este indicativo da pesquisa reflete um ponto importante para novos entrantes, que existe uma relação

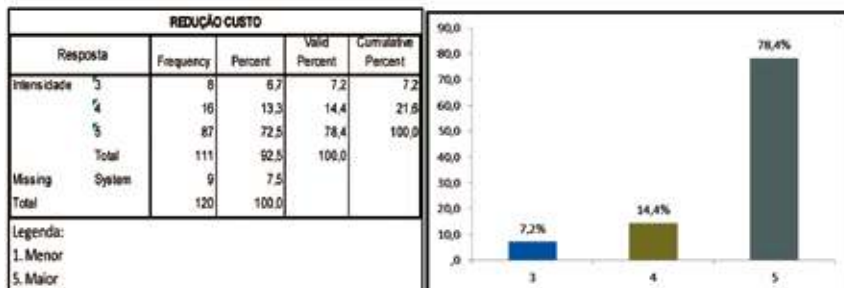


Figura 9: Análise de Frequência e participação relativa da percepção quanto a redução de custos

Fonte: Resultado da Pesquisa, 2014.

inversa entre preço da passagem (custos da travessia) e demanda de serviços de travessia.

A relação inversa não somente reflete a lei da demanda do ponto de vista teórico, mais sinaliza para uma demanda elástica, ou seja, pequenas alterações no preço da tarifa provocam alterações mais do que proporcionais na quantidade demandada do serviço, orientado o mercado para novos entrantes que a redução da tarifa pode ser um bom indicativo de ganho de cliente, além de que para operadores novos que precisam firmar mercado a redução da tarifa não implica em redução de faturamento.

✓ Quanto ao aspecto “Mudança de Operador”

A demora na travessia traz inúmeros incômodos aos usuários, e mais de 87% relatou transtornos associados com a demorada da travessia, principalmente porque não existe regularidade no tempo de viagem, que pode sofrer ajustes em função da desorganização do embarque e desembarque, o que contribuiu diretamente para o tempo total da viagem. Nesse sentido, quando perguntado se a redução da travessia era um critério para mudança de operador (empresa), 93,7% dos entrevistados disseram que sim, por inúmeros motivos (Figura 10).

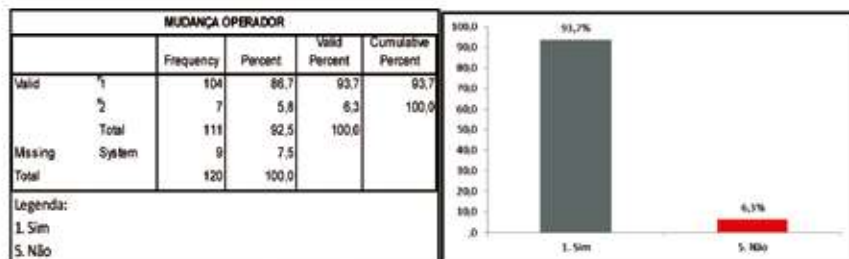


Figura 10: Análise de Frequência e participação relativa da percepção quanto à mudança de operador fluvial
Fonte: Resultado da Pesquisa, 2014.

Neste caso a redução da travessia em 2 horas seria um atrativo real para estes demandantes dos serviços fluviais, esta variável foi a que apresentou um dos maiores níveis de concordância, e os resultados estatísticos apresentaram elevada significância reforçando que a percepção dos usuários ocorre de forma integrada e combinada com as outras variáveis. Portanto, uma decisão de implantação de novos entrantes com redução no tempo da travessia deslocaria a demanda para o novo operador que funcionasse nessas condições, ou seja, a pesquisa sinaliza oportunidades de negócios que atendam esta característica de mercado.

✓ Quanto ao aspecto “Valor a Mais”

A combinação de menor tempo na travessia satisfaz plenamente os usuários e contempla também de forma abrangente os diferentes perfis dos demandantes, e neste caso a pesquisa objetivou captar qual a disposição a pagar a mais pela redução no tempo de traslado. Neste sentido, foi perguntado aos usuários em termo de valores monetários qual a disposição a pagar para ter um transporte mais rápido, e assim obter uma redução no tempo de travessia (Figura 11).

Quanto aos valores observados a pesquisa constatou que 29,7% dos entrevistados gostaria de fazer o percurso em menor tempo, mais acham que o preço pago atualmente seria suficiente para cobrir e compatível com um serviço deste nível. No entanto, quando consideramos valores acrescidos até R\$15,00 a resposta dos

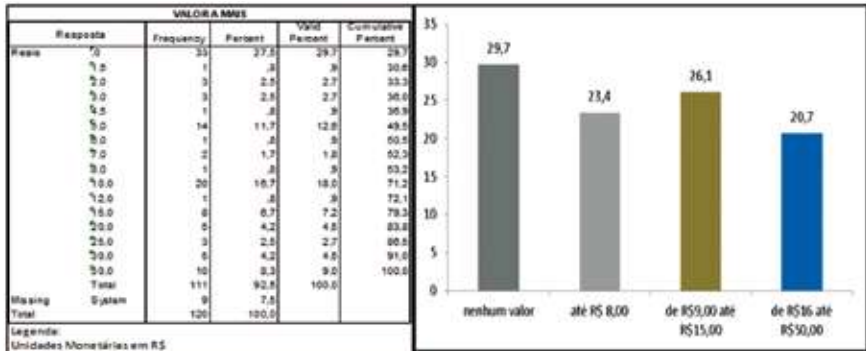


Figura 11: Análise de Frequência e participação relativa da percepção quanto à disposição a pagar

Fonte: Resultado da Pesquisa, 2014.

usuários foi de 49,5% dos entrevistados mostrarem-se favoráveis a uma tarifa que aumentasse nesse valor e mais de 20% concordam em pagar no máximo R\$50,00 a mais no preço da tarifa atual, pelo motivo redução do tempo (Figura 11).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estes dados sinalizam dois pontos importantes para a decisão empresarial: a primeira que existe uma demanda reprimida para embarcações que façam o traslado em menor tempo; a segunda que este público/usuário está disposto a pagar a mais por este serviço, o que significa que se ocorrer investimento pela empresa atual que opera a rota, isto pode ser coberto pelo aumento da tarifa, tornando viável o investimento realizado. De outro modo, existe uma grande oportunidade de mercado associado a novos entrantes, desde que sinalizem para o atendimento dos gargalos levantados por esta pesquisa.

Sabe-se também, que o desenvolvimento do comércio está condicionado à eficiência do sistema de transporte, tanto no que diz respeito à estrutura deste sistema, como ao seu funcionamento. A frequência, rapidez e regularidade dos modos de transporte influenciam diretamente na distribuição e nos preços

das mercadorias exportadas, bem como nos métodos de comércio. Portanto, a gestão de operações e logística é forçada a adaptar-se ao ambiente competitivo estratégico atual. Pois as decisões em logística envolvem a escolha de diferentes modais de transporte, que levam em conta a relação necessária de tempo, distância, custos e capacidade de carga.

Assim, conhecer as principais características do transporte hidroviário de passageiros é um fator determinante para que o Estado do Pará estabeleça metas mais ousadas de exploração do modal, de maneira a promover o equilíbrio da matriz do transporte e, em consequência, aumentar a eficiência logística do Estado. Para isso, é necessário estimular a construção de obras de infraestrutura logística, como acessos aos terminais portuários, revitalização dos equipamentos e da infraestrutura dos terminais, aumento das áreas portuárias e construção de novos terminais, possibilitando a inserção de novas rotas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2002a). *NBR 6023: Informação e documentação: Referências: Elaboração*. Rio de Janeiro.

_____. (2002b). *NBR10520: Informação e documentação: Citações em documentos: Apresentação*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA EM TRANSPORTES PÚBLICOS (1995a). A opinião dos usuários como indicador de qualidade. *Revista dos Transportes Públicos*, ano 17, 2º trimestre, n.67.

ANTAQ – AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS (2008). A Importância do Transporte Aquaviário no Contexto Intermodal. In: *Transpo Quip Latin América*, São Paulo. Disponível em <<http://www.antaq.gov.br/portal/pdf/palestras/Set08TranspoQuip.pdf>> Acesso em 5 de outubro 2012.

ANTAQ – AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTE AQUAVIÁRIOS. (2009). A Marinha Mercante Brasileira - Desafios e a participação do Estado no seu desenvolvimento. *Anais*. In: I Seminário sobre o Desenvolvimento da Navegação de Cabotagem Brasileira. Brasília, DF, ANTAQ.

- ANTT - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTE E TRÁFEGO. (2012). *Registro Nacional de Transportadores Rodoviários de Cargas – RNTRC*. Disponível em: < <http://antf.org.br/index.php/artigos/2054-ferrovias-registram-resultados-positivos-em-2012> > Acesso em 5 de outubro 2012.
- ARNOLD, J. R. T. (1999). *Administração de materiais*. São Paulo: Atlas.
- BAHIA, P. Q. (2006). Análise Logística de Cenários de Desenvolvimento de Redes de Transporte de Grãos de Soja para Exportação do Estado do Mato Grosso. Belém. 276f. *Dissertação de Mestrado*, Universidade da Amazônia.
- BAHIA, P. Q. e PENA, H. W. A. (2014). *Demanda Potencial E Implantação De Infraestrutura Logística De Transporte Rodo-Fluvial “Belém – Ponta de Pedras e Cameté”* Belém-PA, 41f. (Relatório Técnico). Consultoria, BANAV.
- BAHIA, P. Q. e PENA, H. W. A. (2014). *Intermodalidade Rodo-Fluvial - Demanda Potencial e Implantação De Infraestrutura Logística De Transporte Rodo-Fluvial “Belém – Barcarena”*. Belém-PA, 25f. (Relatório Técnico Complementar). Consultoria, BANAV.
- BAHIA, P. Q.; BATISTA, F. N. e TOBIAS, M. S. G. (2007). Soybean Transportation Network Analysis For Exportation From The State Of The Mato-Grosso Through Santos And Paranaguá Ports. In: *Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais (SIMPOI)*. Rio de Janeiro. SIMPOI - Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais.
- BALLOU, R. H. (2006). *Gerenciamento da cadeia de suprimentos/logística empresarial*. São Paulo: Atlas.
- BEZERRA, F. A. (2009). Análise Fatorial. In: CORRAR, L. J; PAULO, E; FILHO, J. M. D (Orgs). *Análise Multivariada: para os cursos de Administração, Ciências Contábeis e Economia*. São Paulo: Atlas. pp 73-130.
- BOWERSOX, D.; CLOSS, D. C. e COOPER, M. B. (2006). *Gestão logística de cadeias de suprimentos*. Porto Alegre: Bookman.
- _____. (2010). *Logística empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimentos*. São Paulo: Atlas.
- BRASIL (2007). *Plano Nacional de Logística e Transportes (PNLT)*. Relatório Executivo. Brasília, DF. Ministério dos Transportes e da Defesa. Disponível em: <<http://www.transportes.gov.br>>. Acesso em 06/ 10/2012.
- CAIXETA FILHO, J.V.; SILVA, N. D. V. e GAMEIRO, A. H. *et al.* (1999). Competitividade no agribusiness: a questão do transporte em um contexto em um contexto logístico (compact disc.). In: *Competitividade no Agribusiness Brasileiro*, São Paulo, 1999. Trabalhos. São Paulo: PENZA/FIA/FEA/USP, v.5: v.3.
- CLARCK, L. J; PAULO, E. e FILHO, J. M. D (Orgs) (2009). *Análise Multivariada: para os cursos de Administração, Ciências Contábeis e Economia*. São Paulo: Atlas, 541p.

- CNT - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (2008). *Plano CNT de Logística Brasil*. Brasília. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br/Paginas/Plano-CNT-de-Log%C3%ADstica.aspx>> Acesso em 5 de outubro 2012.
- DIAS, Marco Aurélio P. (2010). *Administração de Materiais: uma abordagem logística*, São Paulo: Atlas.
- DOWNING, D; CLARK, J. (2005). *Business statistics*. Trad. Alfredo Alves de Farias; 2ª ed. São Paulo: Saraiva.
- ESCOBAR, G. e REARDON, T. (2000). *Poverty and Environment in Latin America: Concepts, Evidence and Policy Implications*. World Development, vol. 31, pp 1865-1872.
- OLIVEIRA JUNIOR, J.N.; DINIZ, M.B.; FERREIRA, R.T. e CASTELAR, I.; DINIZ, M.J.T. (2010). *Análise da área desmatada municipal na Amazônia brasileira no período 2000-2004: Uma abordagem com modelos não lineares*. Economia Aplicada, v. 14, n. 3, 2010, pp. 395-411.
- PENA, H. W. A.; COSTA, R. Q. e BAHIA, P. Q. (2008). A Dinâmica de Exportação do Setor Paraense Entre 2004-2005. *FACientífica*, v. 2, p. 126-142.
- PENA, H. W. A. (2005). O Papel do Estado nas orientações de mercado: uma discussão sobre estratégias de desenvolvimento econômico. *Revista Adcontar*. n.6, p.67-80.
- _____. (2008). Políticas de Desenvolvimento e Sustentabilidade no Estado do Pará: Uma Discussão sobre a lógica da Inversão. *Revista de Estudos Paraenses*. n.1, p.69-78, jan/jun.
- _____. (2009). *Revisão Teórica sobre Desenvolvimento*. Disponível em: <<http://www.artigonal.com/authors/150413>> Acesso em 18 jun.2011.
- PENA, H.; PINHEIRO, A; AMARAL, M. e MEDEIROS, M. (2010). Formação e transformações recentes da rede urbana da Amazônia: O caso do Estado do Pará. in: IPEA. *Eixos de Desenvolvimento: infraestruturas e logística de base*.
- _____. (2011). Dinâmica urbana no Estado do Pará (2000-2008). IN: IPEA. *Dinâmica urbana dos Estados: rede urbana do Brasil e da América Latina*.
- _____. (2011). *Produto Interno Bruto do Pará: estudos e pesquisas socioeconômicas, 10 anos de PIB Municipal, Série 1999-2008*. Disponível em:< <http://www.idesp.pa.gov.br/pdf/PublicacaoPIBMun10ANOS.pdf>> Acesso em 18 jun.2011.
- RODRIGUES, A. e PAULO, E. (2009). Introdução a Análise Multivariada. In: CORRAR, L. J; PAULO, E; FILHO, J. M. D (Orgs). *Análise Multivariada: para os cursos de Administração, Ciências Contábeis e Economia*. São Paulo: Atlas, pp 1-72.
- SARAIVA, P. L. O. e MAEHLER, A. E. (2013). *Transporte hidroviário: estudo de vantagens e desvantagens em relação a outros modais de transporte no sul do Brasil*. São Paulo. SIMPOI.

SARTOIRS, A. (2003). *Estatística e introdução a econometria*. São Paulo: Saraiva, STERHAN, S.M.

TOBIAS, M. S. G. (1999). Modelo de planejamento integrado da organização espacial, do desenvolvimento regional e dos transportes para uma região em expansão de fronteiras: o caso da região oeste do Pará. São Paulo. 264f. *Tese de Doutorado* - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

Endereço para correspondência:

(1) BAHIA, P.Q. E-mail: pablobahia@gmail.com

(2) PENA, H.W.A. E-mail: professorheriberto@gmail.com

(3) SOUZA NETO, L.L. E-mail: llsn2005@gmail.com

(4) SILVA, Neydson Maccarty Silva. E-mail: nmaccarty@gmail.com

(1) Instituto Federal do Pará - IFPA, av. dos Bragantinos, s/n, Vila Sinhá, Bragança-Pa, 68600-000.

(2) Universidade Estadual do Pará - UEPA, trav. Enéias Pinheiro, 2626 - Marco, 66095-15 - Belém-Pa.

(3) Faculdade Ideal - FACI/WYDEN, trav. Tupinambás, 461 - Batista Campos, Belém-Pa, 66025-610.

(4) Federação da Agricultura e Pecuária do Estado do Pará - FAEPA, trav. Dr. Moraes, 21, 8º andar, Nazaré, Belém-Pa, 66035-080.

ANÁLISE DE SISTEMAS INTEGRADOS DE TRANSPORTE RODO-FLUVIAL-MARÍTIMO SOB A INFLUÊNCIA DE REGIMES SAZONAIS

ANALYSIS OF INTEGRATED SYSTEMS: ROADWAY, WATERWAY AND SEAWAY TRANSPORTATION UNDER THE INFLUENCE OF SEASONAL PERIODS

NOVAES MATHIAS, T.¹; BOTTER, R. C.²

(1) Kyushu University; (2) Escola Politécnica da
(2) Universidade de São Paulo

RESUMO

Este trabalho aborda problemas de transporte intermodal sob efeito de restrições que, usualmente, não são consideradas na fase de planejamento e dimensionamento da frota. E, ponderando a sobreposição de dois fatores sazonais restritivos ao longo da cadeia de transportes - a variação na produção de grãos ao longo do ano e a sazonalidade das cotas de nível d'água nas hidrovias, um modelo de simulação de eventos discretos foi desenvolvido para o sistema de transporte intermodal. Sendo assim, é possível avaliar o impacto no dimensionamento das frotas em conjunto com a avaliação da capacidade portuária para exportação de grãos, bem como a necessidade de se estabelecer estoques intermediários ao longo da cadeia. Este é um sistema de transporte composto pelos modais rodoviário, hidroviário e marítimo, onde o modelo de simulação abrange desde a produção dos grãos nas fazendas, passando pelo transporte de caminhão até os armazéns intermediários, nos quais são carregados em barcaças fluviais com destino ao porto para exportação. O presente estudo traz uma série de comparações entre cenários para avaliação dos gargalos existentes no sistema de transporte intermodal, especialmente avaliando cenários com e sem as restrições sazonais e um estudo histórico das cotas de nível dos principais rios utilizados para o transporte das barcaças.

Palavras-chave: Modelo de Simulação, Transporte multimodal, Commodities, Sazonalidade.

ABSTRACT

This work focuses on the evaluation of the intermodal transport problems under the influence of seasonal constraints that are not usually considered on the phase of planning and sizing the fleet. Considering the superposition of two different seasonal factors along the transportation chain – first one the variation on grain production and the second one the level of water in the waterways throughout the year –, a discrete event simulation model was built to show the real effects of those constraints in the grain supply chain. So, it is possible to evaluate the impact of those constraints not only on the usage level of storages in this system, but also the number of vehicles required to transport this commodities from the Midwest of Brazil to the port. In a complex multimodal transportation system, the simulation model in this work includes roadways, waterways and seaways to transport all the cargo from farms to the final costumer. This study is composed by several scenarios to evaluate the bottlenecks in this intermodal transportation system, specially analyzing scenarios with and without seasonal constraints, as well as analysis of sensitivity of performance of equipment of loading and unloading, in which the fleet and the required stocks are substantially different if seasonality is not considered. In other words, it is possible to evaluate the risks involved when managers are making decisions if they do not take in consideration any of those seasonal constraints.

Keywords: Simulation model, Multimodal Transportation, Commodities, Seasonality.

1. INTRODUÇÃO

O agronegócio de uma nação é uma área de extrema importância para o crescimento econômico do país. Nas últimas décadas a cultura de soja teve um crescimento

expressivo: cerca de 49% das áreas plantadas em grãos do país. Este aumento na produtividade está diretamente associado aos avanços tecnológicos e ao manejo eficiente dos produtores e transportadores de grãos.

No caso brasileiro a cultura de soja ocorre principalmente nas regiões Centro-Oeste e Sul do Brasil e se tornou um dos produtos mais destacados no mercado de commodities do país. Porém, ainda enfrenta alguns problemas de infraestrutura para o transporte dos grãos das regiões produtoras até o porto de exportação. Segundo Hoff e O'Kray(2014), o Brasil é o segundo maior exportador de soja, com cerca de 85 milhões de toneladas produzidas em 2013/14, perdendo apenas para os Estados Unidos, com aproximadamente 90 milhões de toneladas no mesmo período.

O sistema de transporte brasileiro apresenta alto custo se comparado aos grandes exportadores de grãos, chegando a ser duas vezes mais caro do que os Estados Unidos da América. O escoamento da soja do Centro-Oeste, pelo estado precário de conservação das rodovias, teve significativas perdas de competitividade. Sendo assim, o custo logístico do país aumenta expressivamente, superando, em média, em 83% o dos Estados Unidos e em 94% o da Argentina, principais concorrentes brasileiros no setor, conforme apontam Jank *et al.* (2004/05).

O problema de escoamento da produção de grãos na região Centro-Oeste brasileira para os portos é de grande importância, uma vez que a há perspectiva de crescimento da produção de grãos, principalmente devido ao potencial de terras produtivas disponíveis para o plantio e os fortes investimentos em tecnologia.

O modal rodoviário é indicado para o transporte de cargas em distâncias curtas, trajetos com raio de até 300 quilômetros. Atuaria assim, na origem da produção (fazendas) até os armazéns ou terminais ferroviários ou hidroviários, os quais seriam responsáveis ao transporte de maiores distâncias, dada a superior capacidade de carga e possibilidade de redução de custos e perdas (HIJJAR, 2004).

A tomada de decisão e o gerenciamento de recursos são fatores importantes devido sua escassez, e, portanto, muitas vezes deve-se abrir mão de algo, criando um conflito de objetivos. Sendo

assim, toda decisão deve ser tomada considerando os custos e benefícios das alternativas (MANKIW, 2006).

Para Barnhart e Laporte (2007) o transporte intermodal de pessoas e carga é definido pela transferência desde o ponto de origem até o ponto de destino, com uma sequência de pelo menos dois modais diferentes. Assim, podemos considerar que neste trabalho é utilizado o conceito de transporte intermodal de grãos.

É importante para o mercado de commodities brasileiro que os custos associados ao transporte sejam reduzidos. Primeiro, é necessário avaliar os sistemas de transporte utilizado, sendo assim a simulação é uma ferramenta eficaz para avaliar a situação de cada meio de transporte e seus respectivos terminais de transbordo. Para Chwif e Medina (2006), a simulação não é capaz de prever soluções e tampouco pode ser confundida como otimização. Os autores ressaltam, também, que os métodos de simulação não são capazes de substituir o pensamento humano.

A simulação de eventos discretos é uma das vertentes da simulação computacional e caracteriza-se pela existência de eventos, que são acontecimentos que se dão em instantes de tempo da simulação e alteram o estado do sistema (KELTON *et al.*, 1998).

Este trabalho tem como principal objetivo avaliar as capacidades de cada modal de transporte necessário para escoar a carga de grãos do centro-oeste brasileiro até um porto marítimo. E, como resultado, obtemos além de um modelo de avaliação de transporte, um estudo de capacidade de navegação das principais hidrovias utilizadas. Foi utilizada a técnica de simulação de eventos discretos para a modelagem, pois foi observada sua eficácia no auxílio à tomada de decisão no estudo de um sistema logístico complexo, como transporte intermodal de grãos.

É importante salientar que, devido à saturação da capacidade portuária do Sudeste brasileiro, a opção de utilizar o Nordeste e Norte do Brasil é uma oportunidade para o desenvolvimento dessas regiões. Neste contexto, é importante para o mercado de commodities brasileiro e para as empresas envolvidas com este segmento que os custos associados ao transporte sejam reduzidos.

2. METODOLOGIA DE SIMULAÇÃO

Os Sistemas de Apoio à Decisão, segundo Junior *et al.* (2006), são modelos computacionais que visam sistematizar e apoiar os processos decisórios empresariais. Sendo assim, fornecem ferramentas de modelagem e análise com o objetivo de capacitar os usuários a solucionar problemas de forma integral, fornecendo informações adquiridas de diversas fontes de dados da empresa. As principais características dos sistemas de apoio à decisão segundo Buosi (2004) são:

- Foco nas decisões;
- Ênfase na flexibilidade, adaptabilidade e capacidade de fornecer respostas rápidas;
- Iniciado e controlado pelo usuário;
- Suporte para estilos pessoais de tomada de decisão.

Para Pegden *et al.* (1990) simulação é um modo de se representar um sistema real através de um modelo computacional que permita o entendimento de todas as ações que ocorrem em um sistema na sequência exata em que acontecem e a avaliação de alternativas que possam trazer melhorias à operação.

Harrington *et al.* (1992) salientam os impactos financeiros nas áreas de logística e marketing pelas decisões racionais utilizando técnicas de simulação num cenário caracterizado pelo aumento de competição externa, incertezas econômicas e flutuações do mercado financeiro.

A simulação implica em modelar processos ou sistemas, que sejam capazes de reproduzir respostas que seriam dadas pelo sistema real em uma sucessão de eventos durante determinado período de tempo (SCHRIBER, 1974). No entanto, Harrel *et al.* (2004) define simulação como um processo de experimentação através de um modelo de um sistema real, no qual o objetivo é determinar o comportamento deste sistema quando sujeito a alterações na sua estrutura ou no ambiente que o rodeia. Sendo assim, o autor afirma que a simulação é composta por dois processos. Primeiro a

construção de um modelo que representa o sistema, e em seguida observar e entender o sistema em estudo.

Para Chwif e Medina (2006) a simulação é uma metodologia indispensável para solução de problemas de engenharia, de projetos e de administração. Com um modelo de simulação é possível capturar a natureza dinâmica e aleatória de um modelo real com mais precisão e reproduzir em um modelo computacional. Para o desenvolvimento de um modelo de simulação, os autores sugerem três etapas, como mostrado na Figura 1.

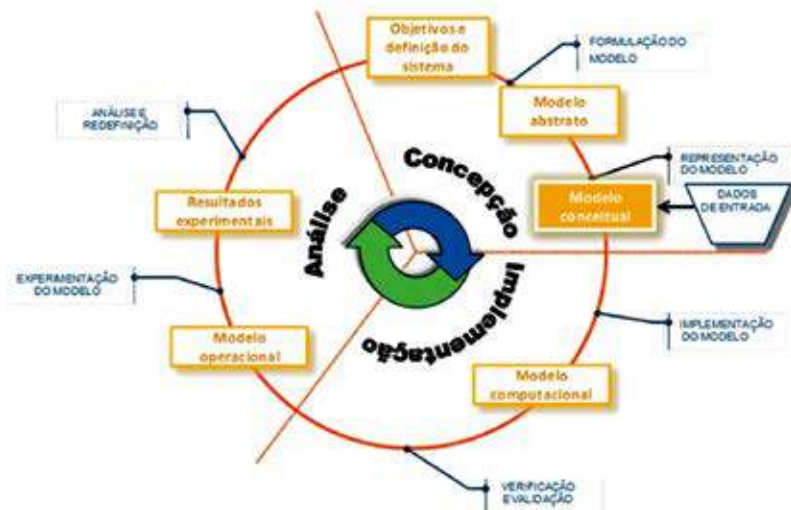


Figura 1: Etapas de um modelo de simulação

Fonte: Chwif e Medina, 2015.

Sendo assim, todo projeto começa na fase de concepção, onde são traçados os objetivos e ocorrem as descobertas. Essa etapa deve ser discutida exaustivamente e todo o time envolvido deve ter suas expectativas bem alinhadas. Após toda a discussão, com o projeto esclarecido, os objetivos estabelecidos e o modelo conceitual criado, este deverá ser validado pelos especialistas do processo para então os dados de entrada serem coletados e ajustados a uma distribuição de probabilidade que os representem. Os autores enfatizam que é importante utilizar o tempo necessário para a construção do modelo

conceitual, já que este vai nortear a sequência do projeto.

Com o modelo conceitual validado, documentado e com dados de entrada prontos para alimentar o modelo computacional, inicia-se a fase de implementação. Nesta parte, o modelo conceitual será implementado em um modelo computacional por meio de uma linguagem de simulação. Este novo modelo deve ser comparado ao modelo conceitual com o propósito de averiguar se sua operação atende ao que foi instituído na etapa de concepção.

Em seguida, o modelo passa por duas etapas importantes: validação e verificação, onde a validação consiste em aceitar ou não o modelo como uma representação aceitável da realidade, enquanto a verificação é para comprovar que o modelo conceitual foi implementado corretamente.

Na fase da análise dos resultados, os resultados dos cenários propostos são estudados e novos cenários podem ser propostos. Nesta fase é possível verificar os gargalos que o sistema pode gerar com relação a cada novo cenário proposto. Para Netto (2012) é importante se dar o tratamento necessário à análise de dados disponíveis, já que desempenham uma função de extrema influência nos resultados de saída do modelo.

Chowdhury (1989) propõe a simulação como ferramenta ideal para estudar e avaliar sistemas grandes e complexos, onde ocorrem interações entre atividades. Sendo assim, o autor mostra que utilizar valores médios para análises de sistemas de transporte pode induzir a conclusões errôneas, uma vez que há flutuações e variações randômicas no sistema real, e argumenta a importância de testar a influência de diversos fenômenos de caráter aleatório.

Botterat al. (1988) ressalta a importância de utilizar técnicas de simulação de eventos discretos para o dimensionamento de sistemas integrados de transporte para a hidrovía Tietê-Paraná no transporte de álcool e óleo diesel.

Cochran e Lin (1989) ilustram a empregabilidade da técnica de simulação probabilística para auxiliar no desenvolvimento de um plano mestre de transporte de cargas no estado de Arizona (EUA). Devido ao caráter dinâmico e complexo do problema, os autores utilizaram a simulação.

Hameri e Paatela (1995) utilizam a simulação para avaliar um sistema de cadeia de suprimentos que engloba diversas características como a demanda dos clientes finais, medidas de desempenho econômico, restrições físicas no fluxo de material, entre outras. Sendo assim, os autores utilizaram o modelo de simulação implementado para avaliar cenários alternativos de operação do sistema.

Crainic e Laporte (1997) mostraram uma compilação de modelos matemáticos para o planejamento em nível tático, operacional ou estratégico onde a simulação é uma ferramenta chave de avaliação e dimensionamento de um serviço de transporte. Sendo assim, a importância da simulação é ressaltada pela possibilidade de realização de análises do tipo “what-if” para as questões levantadas durante o planejamento estratégico, como também por ser a ferramenta que dará subsídios para elaboração de um plano mestre de transporte, ou seja, indicará as políticas que irão nortear a operação do dia a dia.

Um aspecto importante da logística de navegação marítima, segundo Staford (2008), é como se pode otimizar a matriz de transporte logístico. Sendo assim, foram propostas quatro variáveis no modelo de logística marítima, distância a ser percorrida, tipo de embarcação, tamanho e velocidade.

A distância é um aspecto crucial, visto que afeta diretamente o custo e o tempo de viagem. O tamanho do navio é importante já que se pode obter economia de escala, uma vez que quanto maior a embarcação, mais é possível ser transportado e menor será o custo por unidade. No entanto, podem existir restrições de tamanho em alguns portos devido à profundidade média do calado de cada porto. A velocidade determina o custo da viagem, ou seja, o gasto de combustível e custos associados à movimentação do navio. E, o tipo da embarcação vai determinar sua eficiência e qual carga deverá ser transportada nela.

Sendo assim, para Stanford (2008) o transporte marítimo de cargas é um negócio de baixo custo e altos volumes, apresentando preocupações de infraestrutura nos portos para receber navios maiores, onde, por sua vez, é necessária maior profundidade do calado e consequentemente do berço onde o navio será atracado para carga e/ou descarga.

3. MODELO CONCEITUAL E FORMULAÇÃO

Neste trabalho é apresentada a modelagem de um sistema de transporte intermodal de cargas, envolvendo diferentes modais de transporte, rodoviário, hidroviário e marítimo e seus respectivos terminais de transbordo, mostrado na Figura 2

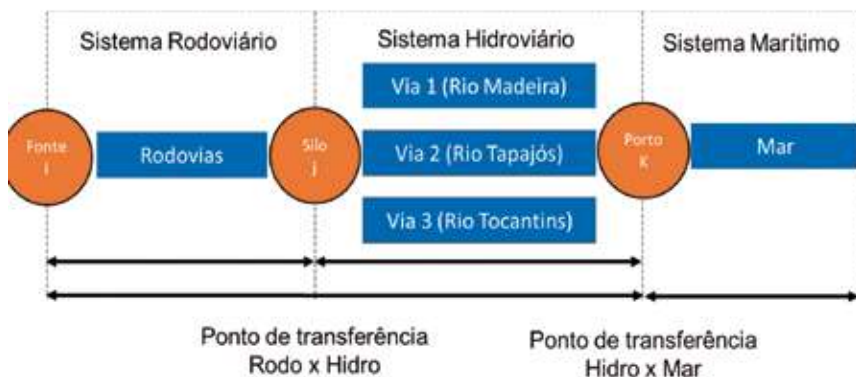


Figura 2: Modelo Conceitual

Observar-se que o transporte de grãos tem origem na fonte *i*, onde é originada a demanda de carga que deverá percorrer todo o sistema, e desloca-se através de caminhões até os silos de armazenagem *j*. Sendo assim, o transporte rodoviário é dado entre as fontes *i* e armazéns *j*, onde toda a oferta do sistema deverá ser retirada delas.

Desta forma, todo material que chega aos armazéns *j* deverão ser estocados até completar o lote de carga suficiente para completar um veículo, via transporte hidroviário. Assim como nas fontes, toda a carga que chega aos pontos de armazenagem deverá ser retirada, obedecendo as restrições de capacidade dos armazéns e o balanço de massa, respectivamente.

Analogamente ao armazém *j*, o porto *k* deverá receber toda carga transportada pelo sistema hidroviário e respeitar as restrições de atendimento da demanda e balanço de massa. Assim, é possível verificar se os *nós* de armazenagem conseguem comportar a quantidade de carga ofertada no sistema e quantos ativos serão

necessários para a movimentação de carga nos arcos, considerando a capacidade de navegação de carga hidroviária. No entanto, para avaliar esse sistema como um todo, foi modelado cada subsistema (rodoviário, hidroviário e marítimo) separadamente.

Toda a demanda é gerada na origem, subsistema rodoviário. Ou seja, a demanda mensal tem origem na fonte i , onde serão transportadas pela rodovia até os armazéns j . Assim que o caminhão for carregado, é decidido qual o destino da carga que pode ser para um ponto de armazenagem j ou diretamente para o porto k . Em seguida o caminhão segue seu percurso até o destino onde aguarda em fila para o descarregamento. Após a descarregar, o caminhão retorna para o ponto de origem para começar um novo ciclo. Ver figuras 3, 4 e 5.

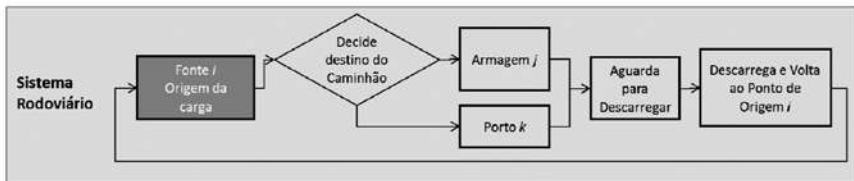


Figura 3: Subsistema rodoviário

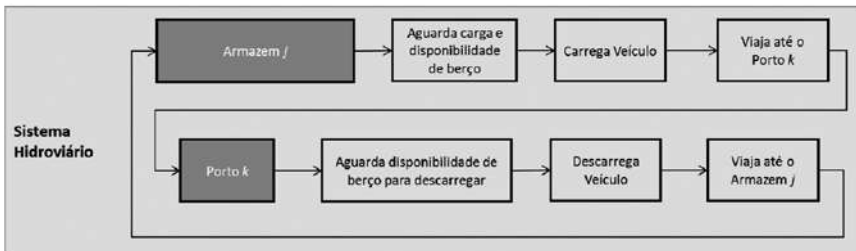


Figura 4: Subsistema hidroviário

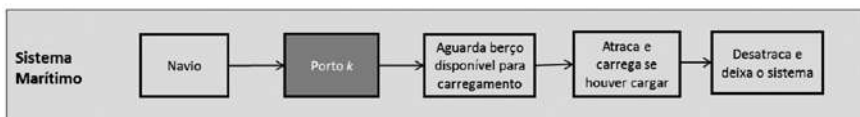


Figura 5: Subsistema marítimo

A carga é originada seguindo uma distribuição sazonal durante os 12 meses do ano, onde são transportadas por caminhões das fazendas até o silo de destino. Fez-se por centro de gravidade o ponto de carga dos caminhões, que é utilizado para determinar a localização de um ponto, baseada nas quantidades de unidades de peso, expressas em toneladas movimentadas, no transporte para cada ponto da rede a ser analisada e nas localizações geográficas. Em seguida é decidido se o caminhão terá seu destino em algum dos silos hidroviários ou vai diretamente ao silo de exportação (neste projeto chamado de tiro direto). Após a decisão, o caminhão faz sua viagem até o silo de destino onde aguarda, em fila, para descarregar. Após a descarga o veículo retorna ao ponto de origem para iniciar um novo ciclo, mostrado na Figura 3.

Com a carga armazenada em *j*, dá-se início ao subsistema hidroviário. Os veículos aguardam a disponibilidade do berço para atracação, e, uma vez atracados, eles são carregados para fazer a viagem até o porto *k*, onde, novamente, aguarda por disponibilidade de berço e de espaço para descarga, conforme apresenta a Figura 4.

Assim como no subsistema hidroviário, que se liga ao rodoviário pela carga presente nos armazéns, o mesmo princípio é seguido neste subsistema marítimo. O navio chega ao porto *k*, onde aguarda por disponibilidade de berço, e quando atraca é carregado, caso haja carga no porto. Em seguida, desatraca e deixa o sistema, dando espaço para um novo navio, conforme a Figura 5.

Portanto, sistema de abastecimento intermodal de transporte de soja é composto pela junção dos três subsistemas apresentados. Com esse modelo, é possível avaliar a capacidade de um sistema intermodal de transporte de grãos para um terminal portuário localizado na região norte do litoral brasileiro, no estado do Pará. Para tanto, serão consideradas três hidrovias distintas, Rio Madeira, Rio Tapajós e Rio Tocantins, ligadas ao porto de Vila do Conde (VDC).

As fazendas de soja utilizam caminhões para entregar até os portos fluviais de Porto Velho, Miritituba e Marabá, onde depositam a soja em silos de armazenamento. Esse material será levado de barça até o porto marítimo de Vila do Conde, onde

em seguida será exportado. Portanto, os comboios fluviais, que são compostos por um conjunto de chatas e um empurrador têm diferentes capacidades de carga e, conseqüentemente, de velocidade dependendo da época do ano devido ao nível de cotas d'água em cada época do ano.

Para o subsistema marítimo, foram consideradas três classes distintas de navios, Handymax com a capacidade de mais ou menos 35.000 t; Panamax, com média de 65.000 t e Capesize, com sua carga em torno de 105.000 t.

Em cada elemento que constitui o sistema tem suas taxas de carregamento, descarregamento e tempos de ciclo estratificados para avaliação de medidas de rendimento do sistema. No entanto, algumas saídas, como tempo médio em fila e quantidade de elementos em fila, são conseqüências de operação.

4. SAZONALIDADE

Segundo o dicionário Aurélio (2010), o verbete sazonalidade diz respeito às estações do ano, época do ano durante a qual comumente é executada determinada atividade agrícola.

Para analisar a sazonalidade, é adotado um modelo de séries temporais que, segundo Santana (2003), entende-se por um conjunto de dados numéricos que são obtidos por um período de tempo, no qual os fatos geradores desses dados incorporam influências do comportamento da economia, de fatores climáticos e de fatores aleatórios, nos quais o principal elemento é a sazonalidade ou estacionalidade dos dados. Ou seja, o comportamento sistemático que essa série de dados assume em um determinado período de tempo.

Buchberger e Wells (1996) estudaram o caráter sazonal da distribuição de água potável. Foi utilizado um sistema de simulação em rede para identificar a frequência, duração, volume e a média da intensidade da demanda de água. Harrod (2006), mostrou algoritmos para chegadas sazonais, que podem ser aplicadas em transporte, finança e política social. Neste estudo, o autor comparou a acuracidade, velocidade e variabilidade entre algoritmos de chegada sazonal para diferentes arquiteturas de

microprocessadores. O estudo mostrou que, sem conhecimento em arquitetura de computadores, não é possível escolher um algoritmo ótimo entre os testados.

Neste trabalho, serão utilizados como fatores de sazonalidade a produção de grãos de soja pelas fazendas e, como segundo fator, as cotas de nível de água das hidrovias, que serão utilizadas para o transporte de carga do porto fluvial até o porto de exportação.

Segundo a Agência Nacional de Águas – ANA (2014), os eventos naturais são inevitáveis, no entanto, é possível se preparar para enfrentá-los e, assim, minimizar as perdas. Com o propósito de contribuir para o planejamento de ações destinadas a prevenir ou minimizar os efeitos de secas e inundações, a ANA definiu um conjunto de estratégias para acompanhamento de eventos hidrológicos críticos. As estações de monitoramento de cota d'água formam uma rede que possibilita o acompanhamento da evolução dos níveis d'água dos principais rios da região em tempo real.

Com esse âmbito, foi feita a análise das cotas dos níveis d'água das três hidrovias que fazem parte da cadeia de abastecimento proposta, e, portanto, as respectivas capacidades de transporte de cada hidrovia. Sendo assim, foram extraídas as cotas das séries históricas dos pontos encontrados para esses rios. Na Figura 6, tem-se a localização das hidrovias e de cada ponto de coleta de dados pela Agência Nacional de Águas, ANA, 2014.

A Figura 7 exemplifica um ponto de coleta de dados do Rio Madeira, onde se pode observar o comportamento do nível d'água ao longo do ano por aproximadamente 50 anos, assim como a frequência em que ocorreram. Note também que a linha em destaque (em vermelho) é a média dos 50 anos analisados. Analisando os regimes de seca e cheia das hidrovias, é possível estabelecer as capacidades de carga que pode ser transportada ao longo do tempo em cada comboio fluvial das hidrovias. Muitos analistas utilizam as médias para tomada de decisão, no entanto podemos ver que na média seria possível navegar durante o ano todo, com as chatas relativamente cheias por todo o período, no



Figura 6: Hidrovias e Pontos de medida

Fonte: ANA, 2014.

Legenda:

- Rio Madeira: Abunã; Balsa do Rio Abunã; Palmeiral; Salto Teotônio; Porto Velho; Porto Velho Jusante; Prosperidade; Calama; Manicoré; Novo Arupuranã; Fazenda Vista Alegre; Borba; Nova Olinda do Norte.
- Rio Tapajós: Barra do São Manuel; Fortaleza; Jatoba; Acará do Tapajós; Barreiras; Itaituba; Fordlândia; Santarém.
- Rio Tocantins: Baião; Cidade de Cametá; Fazenda Ipitinga; Fazenda São Tomé; Ipixuna; Itupiranga; Jatobal; Marabá; Nazaré dos Patos; Tucuruí.

entanto avaliando as frequências de cada cota, há períodos que não é possível a navegação. Analogamente ao ponto de Porto Velho, localizado no Rio Madeira, tem-se o ponto de Itaituba, Rio Tapajós (Figura 8). E, seguindo o mesmo raciocínio, tem-se, no Rio Tocantins, o ponto de Marabá (Figura 9). Vale salientar que, esses são exemplos de um ponto de cada hidrovia, há variação das cotas de nível dependendo do lugar, logo, devemos verificar todos os pontos para saber a capacidade máximo possível em cada período do ano.

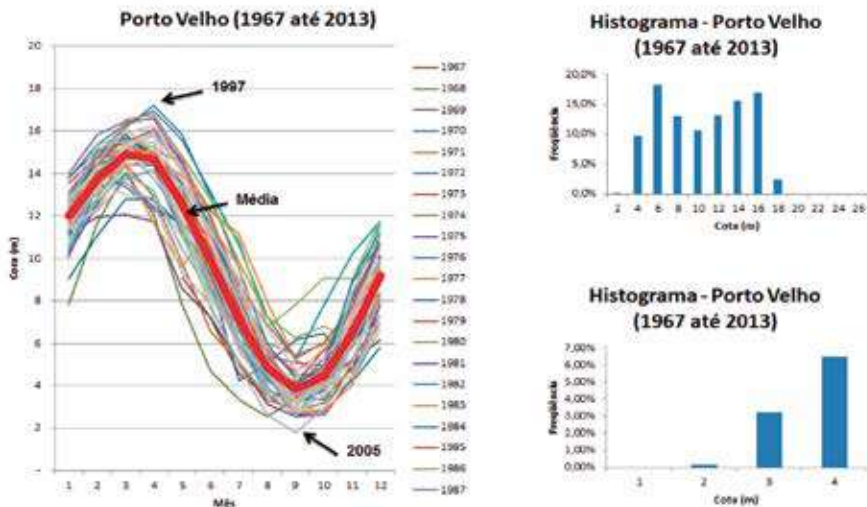


Figura 7: Cota de nível d'água em Porto Velho
 Fonte: dados ANA, 2014.

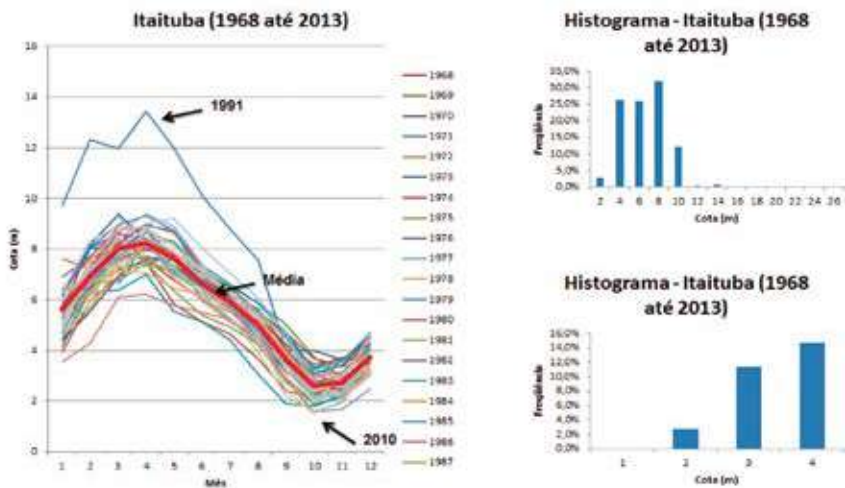


Figura 8: Cota de nível d'água em Itaituba
 Fonte: dados ANA, 2014.

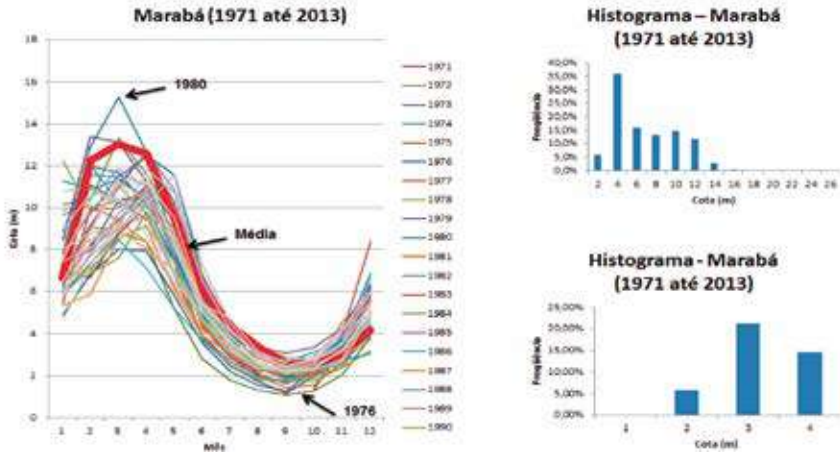


Figura 9: Cota de nível d'água em Marabá

Fonte: dados ANA, 2014.

5. CENÁRIOS E PRINCIPAIS RESULTADOS

484

Foram definidos 4 cenários para verificação da influência das restrições da hidrovía e oferta de carga sobre o sistema de transporte. Esses cenários são:

- Cenário A “Sem Restrições” - Capacidade 6MTPA sem restrição de variação de capacidade de transporte dos comboios nas hidrovias, sem sazonalidade na demanda: neste cenário, a demanda para o transporte hidroviário foi distribuída igualmente ao longo dos meses.
- Cenário B - Capacidade 6 MTPA com restrição de variação de capacidade de transporte dos comboios nas hidrovias, sem sazonalidade na demanda: neste cenário, a demanda para o transporte hidroviário foi distribuída igualmente ao longo dos meses.
- Cenário C - Capacidade 6 MTPA com restrição de variação de capacidade de transporte dos comboios nas hidrovias e com sazonalidade na demanda: neste cenário, foi adotada a premissa de sazonalidade na demanda.
- Cenário D – Sistema real de transporte considerando as restrições das hidrovias e a sazonalidade na oferta de produtos.

- Todos os cenários foram testados com três perfis de frota distintos, ou seja, para cada conjunto de cenários a frota de navio é definida como 100% dos navios do tipo Handymax, 100% Panamax e um perfil onde 20% são do tipo Capesize e 80% Panamax.

Para a melhor avaliação dos resultados obtidos entre os cenários analisados, é necessário fazer uma avaliação das influências de cada restrição no sistema.

As restrições da curva hidrológica dos rios não deverão ser minimizadas no curto prazo, pois tratam-se de rios de corrente livre (Cenário B). A Influência da sazonalidade na oferta de produtos pode ser melhorada em função da melhor forma de destinação dos produtos para as hidrovias, buscando maximizar a utilização dos comboios tanto nos períodos de cheia quanto de seca (Cenário C). É importante salientar que no período de seca os comboios tendem a ficar mais ociosos caso não seja ofertada carga para o transporte. Por outro lado, isso implica diretamente na quantidade de veículos terrestres necessária para transportar os volumes tanto para os terminais de transbordo quanto para Vila do Conde (VDC).

Os principais resultados obtidos simulando os cenários propostos está listado na Tabela 1. Pode-se verificar que a impedância da restrição das hidrovias é maior que a de sazonalidade de grãos nas fazendas. No entanto, o sistema real se faz com as duas restrições, tanto da hidrovia quanto a de sazonalidade de produção. No entanto, é possível mitigar a sazonalidade da produção investindo em silagem e balanceando o transporte fluvial.

Este sistema apresenta um trade-off entre a capacidade de silagem (terminais de transbordo) com o número de caminhões necessário para atender a demanda de transporte, e o tamanho do navio de exportação em Vila do Conde. Estes resultados consideram as menores taxas de operação do sistema de carregamento dos comboios (600 t/h), descarga de barcaças (750 t/h) e embarque nos navios (1.000 t/h). Essa é a eficiência de 50% sobre todas as taxas nominais dos equipamentos e está compatível com a realidade observada em alguns terminais brasileiros. Sendo assim, durante a curva de aprendizado operacional do porto, essas taxas podem ser melhoradas.

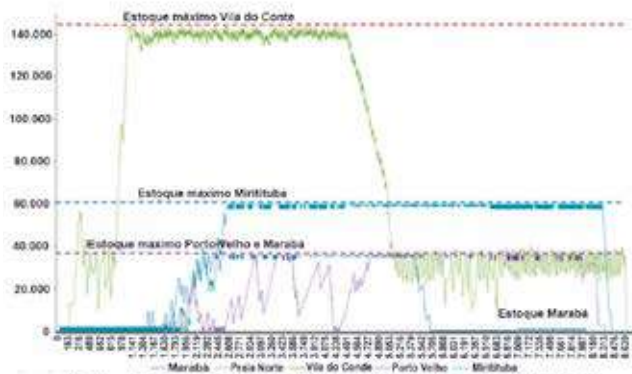
Tabela 1: Resultados

Descrição - Cenários/Indicadores	A			B			C			D		
	Hand ymax	Pana max	Mix	Hand ymax	Pana max	Mix	Hand ymax	Pana max	Mix	Hand ymax	Pana max	Mix
Ocupação berço: Navios+Espera (%)	84.8	84.2	86.3	88	85.8	86	83	80.2	80.1	89.7	88.5	88.5
Ocupação berço: Navios (%)	76.1	72.7	72.4	76.2	72	72.1	76.4	72.6	72.3	76.3	72.7	72.3
Núm. Médio de Navios em Fila	2.2	1.4	1.5	3.3	2	2	5.2	2.3	2.3	6.8	3.3	2.9
Tempo Médio em Fila (h)	113.6	130.9	156.5	171.1	188.1	203.2	26.4	214.9	238.9	346.3	329.1	269.9
Exportado (t) x 1 000 000	6		6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Núm. Navios Atendidos	171	92	85	171	92	85	171	92	85	171	92	85
Núm. Comboios em Fila	2	2	2.7	6.8	7.3	7	8.6	8	9.9	7.1	6.9	7
Ocupação do Berço: Comboios (%)	88	88.4	91	91.4	92.5	93	88.2	88	92	89.5	88.5	88.9
Marabá (%)	83.7	85.3	75.1	87	85.8	81.8	71	71.3	67.1	67.5	66.8	66.3
Porto Velho (%)	54	57.6	47.5	52.5	50.8	52.8	61	66.2	54.2	46.1	43.4	44.8
Miritituba (%)	69.6	68.9	65.3	76.5	73.7	76.6	77.5	78.4	72.6	74.7	74.2	74.2

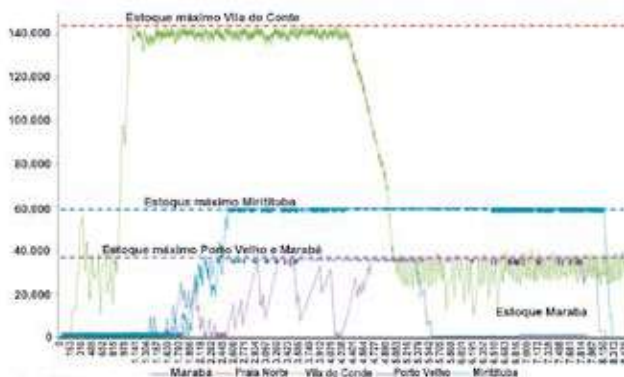
Fonte: Autores, 2015.

Outro fator de importante destaque, é o estoque intermediários em cada silo de transbordo e no silo do porto de Vila do Conde, apresentados na Figura 10. Para cada frota é possível observar o comportamento do gráfico de estoque. Nota-se claramente que em função das restrições da hidrovia e da oferta de produtos o silo de VDC passa boa parte do tempo cheio no cenário de Handymax (a). Um efeito menos pronunciado ocorre nos cenários com Panamax (b), onde o lote do navio é maior. No caso dos navios mistos (c), onde o lote do Capesize é maior, observa-se que o estoque em Vila do Conde tem maior oscilação. Contudo, em todos os casos, os estoques nos terminais de transbordo alcançam a máxima capacidade durante longos períodos do ano.

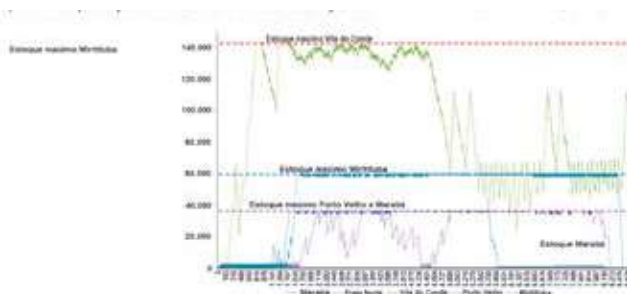
Considerando todos os cenários, o terminal de VDC é capaz de atender 6Mta, com taxa de ocupação de berço de navios na ordem de 89,5% para Handymax, 87,8% para Panamax e 88,5% para Mix, considerando a espera por produto no porto. A taxa de ocupação do berço de descarga de comboios é 90% em média em VDC. A frota de comboios para atender a demanda de transporte é de 9 - Rio Madeira, 6 - Tocantins e 17 - Tapajós (Cenário D).



(a) Estoques para frota de navios Handymax



(b) Estoques para frota de navios Panamax



(c) Estoques para frota de navios Capesize

Figura 10: Nível de estoque dos Silos

6. CONCLUSÃO

Os resultados apresentados comprovam que a simulação de eventos discretos é uma ferramenta eficaz para a avaliação de um ambiente complexo da cadeia logística. Sendo assim, esta é um instrumento poderoso para a tomada de decisão para analistas envolvidos nessa área.

Além disso, a ferramenta descrita e aplicada no presente estudo pode ser adaptada para outros problemas de transporte intermodal através da releitura de premissas, critérios e do próprio modelo de simulação em si.

Por fim, sugere-se que a metodologia apresentada e a ferramenta desenvolvida sejam adaptadas e aplicadas a outros problemas logísticos de semelhante complexidade, seja com os mesmos modais utilizados ou adicionando outros. Para estudos futuros, recomenda-se que seja aplicada alguma técnica de otimização em paralelo à simulação, obtendo o melhor número possível de ativos e não apenas um número que satisfaça a demanda proposta.

Para trabalho futuro, seria interessante estudar a capacidade estática dos silos de armazenamento intermediário, e qual a relação com a frota de caminhões e comboios no sistema.

REFERÊNCIAS

- BARNHART, C. e LAPORTE, G. (2007). Handbook in OR & MS, vol 14. Elsevier B.V.
- BELTON, V. e STEWART, J. T. (2001). *Multiple criteria decision analysis – An integrated approach*. Kluwer Academic Publishers, London.
- BOTTER, R. C.; BRINATI, M. A. e ROQUE, J. R. (1988). Dimensionamento de um Sistema integrado de transporte de álcool e óleo diesel na região de influência da hidrovía Tietê-Paraná. *XII Congresso Nacional de Transportes Marítimos e Construção Naval, Rio de Janeiro, RJ. XXI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional em Conjunto com o VI Congresso Latino-Ibero-Americano de Pesquisa Operacional e Engenharia de Sistemas, Engenharia Naval e Oceânica*. p. 13-44.

- BUOSI, T. (2004). Sistemas computacionais de suporte à medição de desempenho: Proposição de critérios para Análise, comparação e aquisição de sistemas. *Dissertação Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos.*
- CHOWDHURY, K.H. (1989). *Simulation in marine transportation system.* Marine Technology, Vol. 26, No. 1, 74-85.
- CHURCHMAN, C. W. (1968). *The Systems Approach, Delacorte Press, New York.*
- CHWIF, L. e MEDINA, A.C. (2006). *Modelagem e Simulação de Eventos Discretos.* 1. ed. São Paulo.
- COCHRAN, J. K. e LIN, L. (1989). Application of computer simulation to freight transport systems. *Journal of Operational Research Society, Vol. 40, 433-441.*
- CRAINIC, T. G. e LAPORTE, G. (1997). Planning models for freight transportation. *European Journal of Operations Research, Vol. 97, 408-439.*
- HAMERI, A. P. e PAATELA, A. (1995). Multidimensional simulation as a tool for strategic logistics planning. *Computers in Industry, Vol. 27, 273-285.*
- HARRELL, C.; GHOSH, B. K. e BOWDEN JR, R. O. (2004). *Simulation Using Promodel. McGraw Hill, Nova Iorque, EUA.*
- HARRINGTON, T. C.; LAMBERT, D. M. e STERLING, J. U. (1992). Simulating the financial impact of marketing and logistics decisions. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol. 22 No. 7, 3-12.*
- HIJJAR, M. F. (2004). *Logística, soja e comércio internacional.* Centro de Estudo em Logística. COPPEAD, UFRJ, Rio de Janeiro.
- HOFF, R. K. e O'KRAY, C. (2014). *Soybean Production Forecast at Record 97 Million Metric Tons (MMT): Exports Forecast at Record 50 MMT.* USDA – United States Department of Agriculture.
- JANK, M. S.; NASSAR, A. M.; TACHINARDI, M. H. (2004/05) Agronegócio e Comércio Exterior Brasileiro. *Revista USP, São Paulo, n. 64, p. 14-27, dez/fev.*
- JUNIOR, R. F. T.; FERNANDES, F. C. F. e PEREIRA, N.A. (2006). Sistemas de apoio à decisão para programação de produção em fundição de mercado. *Gestão & Produção, v.13, n.2.*
- KELTON, W. D.; SANDOWSKI, R. P. e SANDOWSKI, D. A. (1998). *Simulation with Arena. McGraw Hill, Boston, MA.*
- MANKIW, N. G. (2006). Principles of Economics, 4th ed. *South-Western College Pub.*

NETTO, J.; F. (2012). Modelo de simulação para dimensionamento da frota de contêineres movimentada por navios em rota dedicada. *Dissertação de Mestrado* – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP, São Paulo.

PEGDEN, C. D.; SHANNON, R. E. e SADOWSKI, R. P. (1990). *Introduction to Simulation Using SIMAN*, 2nd ed., New York: McGraw-Hill.

SCHRIBER, T.J. (1974). *Simulation Using GPSS*. John Wiley & Sons, 1st Edition, New York, US.

STANFORD, M. (2008). *Maritime Economics*. 3rd ed. New York: Routledge.

.

Endereço para correspondência:

(1) Novaes Mathias, Tiago, Department of Marine Systems Engineering – Kyushu University, 744 – Motoooka – Nishi-ku – Fukuoka – 819-0395 – Japan, novaes06@gmail.com

(2) Botter, Rui Carlo, Universidade de São Paulo, Av. Prof. Mello Moraes, 2231 – Sala A15 (Projetos) – SP – Brasil – CEP 05508-970 rcbotter@ups.br

COST-VOLUME-PROFIT ANALYSIS OF GENERAL CARGO WATERWAY TRANSPORT: A CASE STUDY IN AMAZON

ANÁLISE CUSTO-VOLUME-LUCRO DO TRANSPORTE FLUVIAL DE CARGA GERAL: UM ESTUDO DE CASO NA AMAZÔNIA

MATOS, P.R.L.¹; KUWAHARA, N.²
(1;2) Universidade Federal do Amazonas

ABSTRACT

This work has the objective of studying the managerial feasibility of the accounting tool Analysis Cost, Volume, Profit-CVP in a service company of waterway transportation of General Cargo through Inland Navigation in the Manaus - Porto Velho stretch. The Amazon Hydrographic Region has 16,797 kilometers of waterways economically, approximately 80% of the Brazilian roads operated economically, which together total 22,000 kilometers. In 2015, Inland Navigation was responsible for transporting 3,207,756 tons of general cargo. In the Inland Navigation of the region, it is observed the absence of scientific technical work on management tools to analyze the revenues and total costs in companies of transport of loads by waterways. The correct management of revenues and costs is essential for competitiveness and business development, where all companies seek to maximize profit and reduce costs. A company with poor management, especially in costs, causes financial imbalance, leading to situations unfavorable to earning profits. In view of several models of calculations for the analysis in Cost Accounting, the CVP Analysis technique was chosen as the strategic management tool for profitability analysis. From the bibliographical research, fundamental concepts of Cost Accounting and CVP Analysis were developed, such as: Contribution Margin, Break-even point and Safety Margin. The application of the tool

happened in a cargo transportation company through Inland Navigation, operating in the section between Manaus and Porto Velho. In this company will be acquired the necessary data for the calculation of the analysis which proposes this work. The proposal is methodologically easy to apply and from the accounting technique of CVP Analysis we obtain satisfactory results to make economically viable decisions for the company. The results obtained can be used to support the management of costs and prices practiced in the shipping company.

Keywords: CVP. Inland Navigation. Break-even point.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo estudar a viabilidade gerencial da ferramenta contábil análise de custo, volume, lucro-CVP em uma empresa prestadora de serviços de transporte hidroviário de carga geral através de navegação interior no trecho Manaus - porto velho. A região hidrográfica da Amazônia possui 16.797 quilômetros de hidrovias economicamente, aproximadamente 80% das estradas brasileiras operadas economicamente, que juntas totalizam 22.000 quilômetros. Em 2015, a navegação interior foi responsável pelo transporte de 3.207.756 toneladas de carga geral. Na navegação interior da região, observa-se a ausência de trabalho técnico científico sobre ferramentas de gestão para analisar as receitas e os custos totais nas empresas de transporte de cargas por hidrovias. O gerenciamento correto de receitas e custos é essencial para a competitividade e o desenvolvimento dos negócios, onde todas as empresas buscam maximizar lucros e reduzir custos. Uma empresa com má gestão, principalmente em custos, causa desequilíbrio financeiro, levando a situações desfavoráveis à obtenção de lucros. Em vista de vários modelos de cálculos para análise em contabilidade de custos, a técnica CVP analysis foi escolhida como ferramenta estratégica de gestão para análise de rentabilidade. A partir da pesquisa bibliográfica, foram desenvolvidos conceitos fundamentais de contabilidade de custos e análise de CVP, tais como: margem de contribuição, ponto de equilíbrio e margem de segurança. A aplicação da ferramenta ocorreu em uma empresa de transporte

de cargas através da navegação interior, operando no trecho entre Manaus e porto velho. Nesta empresa serão adquiridos os dados necessários para o cálculo da análise que propõe este trabalho. A proposta é metodologicamente fácil de aplicar e, a partir da técnica contábil da análise CVP, obtemos resultados satisfatórios para tomar decisões economicamente viáveis para a empresa. Os resultados obtidos podem ser utilizados para apoiar o gerenciamento de custos e preços praticados na transportadora.

Palavras-chave: CPV. Navegação doméstica. Ponto de equilíbrio.

1. INTRODUCTION

The Amazon Basin - AB has 16,777 kilometers of waterways economically, approximately 80% of the Brazilian highways operate economically, which together total 20,956 kilometers. In the face of the economic crisis affecting the whole country, there was a significant reduction in general cargo transportation, wherein 2015 there was a difference of -16.48% compared to 2014, which totaled 652,482 tons of general cargo transported (ANTAQ, 2015).

Intermunicipal Inland Navigation - IIN performed only in the AB accounted for 80.6% of total freight transport, reaching the mark of 5.775.297 tons, growth of 14.46% in 2015 about the previous year. Of this total cargo transported by IIN, only 9.4% corresponds to the transport of cargoes of a General Cargo of 544,921 tons. The volume of general cargo transported represented a decrease of 16.48% in the comparison of 648,124 tons transported in 2014 (ANTAQ, 2015).

According to the DNIT (2017), the Madeira River represents a vital waterway for the Northern Arc, which allows the production of Matogrosso (MT) agribusiness to the external market, linking Porto de Porto Velho (RO) to the Port of Itacoatiara (AM) and Santarém (PA) in 2016 was responsible for 6 million tons of soybeans and the general cargo the integration with the Port of Manaus (AM).

The total length of the Madeira River is 1,425 km, in which approximately 1,056 km are navigable, comprising the mouth on the right bank of the Amazon River. The navigation frame in this

river, fitting as a waterway, occurred in the 1980s with services in its channel that made it possible to navigate with more excellent safety and efficiency for both commercial and passenger transport. The river represents the only transportation alternative for the population living on the banks, except for Humaitá. Traditional cargoes are grains (soybeans and corn), fertilizers, petroleum products, cement, fruits, electronics, vehicles, refrigerated products, stones, beverages, and general cargo (ALECRIM, 2017).

Stoeniu (2018) comments that several studies indicate that managers are inclined to proceed with passing on the amounts of expenditure to the final price instead of using the cost. Usually, this system of “arbitrage” of values prevents the correct allocation of costs, which leads to losses for production and sales. The behavior of costs is different for products and, when costs increase more than the reduction in production volume, managers feel that they should limit production. Thus, the Cost-Volume-Profit - CVP method analyzes cost behavior and identifies changes from product mix, sales volume, or profit through the margin of safety. The area of study of the behavior of costs and CVP is one of the training centers of managers that operate in the market (STIVERS *et al.*, 2011).

Luiz *et al.* (2017) mention that it is common to apply CVP in manufacturing companies, but it is rare in commercial companies, this condition has become one of the motivators for the application of CVP in the cargo transportation segment. They also point out that studies for this segment are justified since management accounting publications should lead to more pragmatic contributions, providing cost management tools that provide a set of information that helps in decision making. The application of the CVP showed that the managers of the companies of the cargo transportation sector came to make available information that previously did not have access to the operational activities of the company.

An example of the previous discussion, which highlights few experiences of the use of CVP in transportation applications, can be visualized by the work of Li, Li and Yang (2015), in which they present application of the cost-volume-profit model. Analyze the economic benefits of rail freight, based on the cost data of railway undertakings.

Therefore, the objective of this work was to analyze the cost of a general cargo fluvial transportation company headquartered in Manaus, using the CVP accounting method, representing a tool for decision making. This method allowed us to define the equilibrium point of the volume of cargo transport and monetary value to supply the total cost of operation of the General Cargo in the Madeira River for the Manaus and Porto Velho stretches.

2. FREIGHT TRANSPORT ON THE MADEIRA RIVER WATERWAY AND A BRIEF COMPARISON OF COSTS BETWEEN MODES

The waterway of Madeira stands out for the transport of large volume of soybeans, increasing considerably year after year, to the port of Itacoatiara and Santarém, placing it at the second Brazilian waterway station in terms of TKU (tons transported by kilometer), as shown in Table 1 (CNT, 2013).

Table 1: Inland waterway transport of the main groups of merchants and navigation section - 2015

Product Group / Navigation Excerpt	2015	
	Ton	TKU
SOY	2,976,574	3,667,448,342
Porto Velho – Itacoatiara	2,266,940	2,529,905,040
Porto Velho – Santarém	709,634	1,137,543,302
Porto Velho – Manaus	-	-
CORN	2,002,144	2,656,090,387
Porto Velho – Itacoatiara	1,136,235	1,268,038,260
Porto Velho – Santarém	865,909	1,388,052,127
Porto Velho – Manaus	-	-
Semi-trailer Chassis	194,985	238,856,625
Porto Velho – Manaus	145,672	178,448,200
Manaus – Porto Velho	49,313	60,408,425
Porto Velho – Santarém	-	-

continua...

continuação Table 1

MINERAL FUELS AND PRODUCTS OF ITS DISTILLATION	62,043	98,508,705
Manaus - Porto Velho	9,710	11,894,750
Coari - Porto Velho	51,738	85,885,080
Porto Velho – Manaus	595	728,875

Source: ANTAQ, 2015.

The section between Porto Velho-RO and its waterway mouth, of the Madeira River, concentrates the absolute majority of cargo transports of this waterway, with a minimum depth of 2 meters in the dry season and a maximum of 15 meters in flood season (ANA, 2005).

The transport of cargo, in the waterway of the Madeira River, from Porto Velho to Itacoatiara (downstream) takes place in 72 hours, arrow delimited by the ellipse in Figure 1. In the upstream direction, the demand of 130 hours. The 1,676 km stretch, between Porto Velho and Santarém, takes 175 hours against the current and 109 hours in the downstream (ANTAQ, 2010).

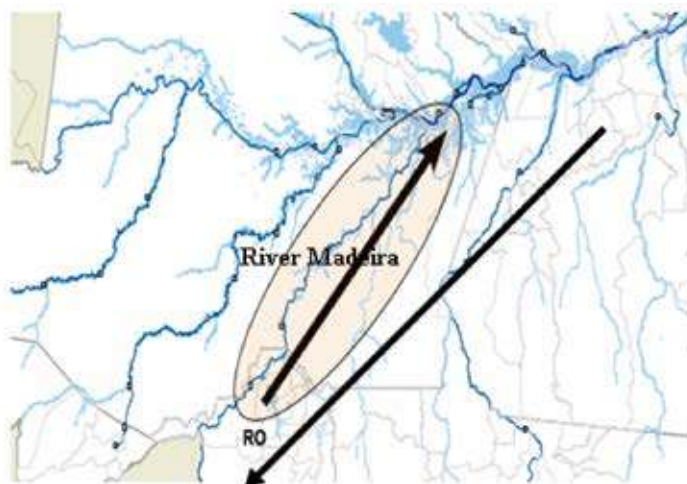


Figure 1: Direction of navigation on the Madeira River

Source: ANTAQ, 2015.

According to the ANTAQ-2015 Statistical Yearbook of Inland Navigation, through these routes mentioned above, more than 5 (five) million tons were transported by the Madeira River in 2015, with an emphasis on Interstate Inland Navigation.

The downstream direction presented a flow of 5,353,840 tons of cargoes, an increase of 39.70% when compared to the year 2014. Of the total loads transported, 6.9% correspond to products of General Cargo nature and 93.1% of products with Solid Bulk profile (ANTAQ, 2015).

In 2015 five hundred eighty-three thousand seven tons of cargoes were transported, 41.00% less than in 2014. Of the total loads carried, 63.6% correspond to products of the Bulk and Liquid nature Gas, General Cargo 30.8% and 5.2% with Solid Bulk profile. In this direction of displacement, the groups of goods stand out are seeds and oils. These commodity groups accounted for 92.04% of the goods transported (ANTAQ, 2015).

The section between Porto Velho-RO and its mouth classified as a navigation route with great potential. Since in 25% of the time it has a minimum depth in the range 2.00 – 1.50 meters and 75% of the time, presenting a depth greater than 2.50 meters, characteristic for this affirmation (BRAZIL, 1973). Figure 2 shows one example of cargo transportation on the Madeira River.



Figure 2: Transportation of Semi-Trailer Trunk on the Madeira River

Source: ANTAQ, 2010.

The Madeira River is relevant not only in the economy of the region but also of fundamental importance for the development of the Brazilian economy. Due to this, a high volume of grain is drained to the foreign market, coming from the state of Mato Grosso, after transshipment in the port of Itacoatiara (AM) or Santarém (PA). The most transported products in the Madeira River are soybean, fertilizers, maize, cement, fuels, perishable and non-perishable foodstuffs, containers, automobiles, general cargoes, maize, cement, among others (MT, 2016).

The waterway transport presents lower costs when compared to the road. As, mainly, the lower fuel consumption in the transport of a large volume of cargoes. It also gives lower environmental impacts and better safety conditions against damage to the loads transported (KEEDI and MENDONÇA, 2000). ANA (2005) notes that for the transportation of a TKU (1 ton of payload per 1 kilometer) consumption by road is six times more fuel than by waterways, making the time a disadvantage criterion. According to a technical report presented by the CNT (2013), transporting 1 (one) ton of cargo per 1,000 kilometers results in specific consumption of 4.1 liters of diesel in the waterway mode, 5.7 liters on the rail and 15.4 liters on the road. The highest energy efficiency indices occur in waterways to transport the same tonnage of cargo compared to other modes.

Table 2 compares a voyage of 2,933 km, in the stretch between São Paulo and Belém, between road and waterway modes in the form of coastal navigation, considering the fuel consumption between the two.

Table 2: Transport of loads by different modes

Indicators	Ship to 950 TEU's	Trucks to 25 ton
Capacity of transport	17.100 ton	25 ton
Fuel consumption	240,000 liters	1,467 liters
Equivalence in number of truck	684	1
Energy Efficiency	14 liters/ton	59 liters/ton

Source: Thomaz, 2005.

Fuel cost is just one of several values that have a direct impact on freight pricing by inland shipping. In this case, PIS / Cofins incidents occur, and ICMS increases the final price by approximately 37%, representing a freight rate. The sea is free. Also, according to shipowners' information in the CNT report (2013), the costs of the vessel, insurance, crew, maintenance and repair, administration, lubricants, and port tariffs, indicated by each of the 3 (three) costs before several exposed as shown in Table 3.

Table 3: Representativeness of the variables involved in total inland waterway costs

Variables	Cost sharing (%)
Fuel	87.2
Crew	53.2
Tributes	44.7
Human resources	31.9
General Services	12.8
Use of berthing infrastructure	8.5
Tugs / Pushers	4.3
Operation of the waterway terminal	4.3
Use of terrestrial infrastructure	2.1
Others	25.5

Source: CNT, 2013.

Other costs pointed out by freight unions are port taxes, such as dredging charges and others; compliance rate for the Inland Navigation Authority; the price of free practice and extermination of rats, relevant to ANVISA and among others involving administrative (CNT, 2013). Moreover, according to MT (2016), the cost bracket considers nature and amount of cargo, type of train, and waterway type requirements.

Bravin (2001), discussing multimodal transport analysis in the region of the Tietê-Paraná waterway, describes that the calculation model to obtain freight cost in fluvial transport of cargo, commenting on the use of this by several shipping companies, has which consider: 1. the capital cost; 2. crew cost; 3. ranch cost; 4. cost

of insurance; 5. cost of administration; 6. cost of maintenance and repair; 7. oil cost; 8. Cost of moving loads.

The main factors to start the forecast of the costs involved in the transportation of cargo are the distance and the volume of cargo transported. Through this, it is possible to calculate how many days will be consumed resources necessary for the operation, being able to predict the costs (BALLOU, 2006).

Looking for evidence on the effects of distance distances in costs Choi and Choi (2014) found through regression analysis of the price and distance variables of 48 cities in the United States, where transport costs are the largest parcels in pricing, which not only distance affects inter-municipal price inequality, but prices are also affected by factors that do not directly correspond to transportation costs, as well as costs in local distribution or outsourcing.

A significant distance between the stretch to be traveled brings economic benefits to the companies of transport of fluvial load utilizing the dilution of the fixed costs. Saraiva and Maehler (2013) found that using waterway transport the costs were reduced by 40% (forty percent), to drive the same load demand, in a 325 km stretch, by road modal.

Aiming at the composition of the convoy in the fluvial transport, aiming the higher capacity of load for transport and maintaining the known efficiency in this modal, thus increasing the dilution of costs, Guimarães *et al.* (2015) concluded that, for the transportation of cargoes in rivers similar to those of the Tietê-Paraná waterway region, the train composed of 6 barges with a capacity of 1000 tons each and a pusher of 900 hp presented more profitability, best result in the dilution of costs.

The dilution of the operational costs involved in the waterway transport will only be flagrant if it reaches a particular demand for the capacity of transport for stretches considered lengthy in order to remain competitive. An essential fact to analyzed since freight with cargo transportation involves two-thirds of logistics costs (NOTARJACOMO, 2013).

Therefore, companies providing cargo transportation services must understand their costs and immediate actions regarding

their management. Inadequate management of companies may result in increased freight prices, not just transportation charges and combinations of other operating expenses. With this, the company must be concerned with accurate information about cost management tools to support rate formation.

The total cost of general cargo fluvial transport is often unknown even by the companies providing this service, where freight pricing is based only on the price charged by the competitor, thus causing losses due to insufficient revenue to cover costs. On the other hand, the overestimated value increases the product transported to the consumer market, an element that contributes to the various factors that lead to the "Brazil cost." Therefore, it was evidenced the extreme importance of adequate cost accounting in the modal, in order to contribute to sustain the water transport service in the Amazon and to increase the agribusiness that requires production flow via Madeira River.

3. FACTORS FOR COST DEFINITION AND COST-VOLUME-PROFIT- CVP ANALYSIS METHOD

According to Hansen and Mowen (2003), the origin of accounting came from early attempts at writing, which served to monitor the assets of prehistoric farmers, who, from 5,000 to 10,000 years ago, had stones and thus maintained a record of your property.

Bornia (2002) comments that commercial firms only calculated the financial results through the difference between the costs of the goods sold and the revenues obtained, and still deducted from the profit the expenses with the operation of the company. Stating that cost accounting was critical in business management, improving accounting procedures as a result of continuous changes in the environment of its performance.

According to Rodrigues (2002), the reduction of costs is achieved through stimulus, trade, customer maintenance, and is still the first for-profit and keeps the company competitive in its operating environment.

According to Hansen and Mowen (2003), studying cost

accounting depends on the definition of cost terminology. E, Martins (2003), also emphasizes that it is necessary to know the concepts within cost accounting as expenditure, investment, cost, expense, waste, and loss.

Bornia (2002) cites that the value invested by the company in the acquisition of products or services becomes being an expense.

Martins (2003) points out that the investment represents all the sacrifices made in the acquisition of services and goods, later composing the assets of the company. On the other hand, Bornia (2002) indicates that the investment represents useful actions for future periods.

Expenditures for Bornia (2002) are inputs used during the normal manufacturing process of the company and are not an integral part of the product or service. Martins (2003) collaborates, stating that the expenditures are goods or services used directly and indirectly in obtaining revenues. Bruni and Famá (2012) exemplify sales expenses, administrative personnel salaries, water, and office light.

Hansen and Mowen (2003) emphasize that cost control can bring more considerable savings over manufacturing costs, since sales and administrative expenses are significant, accounting for 25% of sales revenue.

Regarding costs, Martins (2003) mentions that its recognition stems from improvements in products or the execution of a service. Hansen and Mowen (2003) argue that costs are employed to produce future revenues in a profitable enterprise.

There are two ways of presenting the costs, namely: total cost and unit cost. The total cost refers to the value spent on the manufacture of all products or services provided that the unit cost represents the cost of production of each unit of a product, visualized through the cost equation (BORNIA, 2002).

During a given manufacturing or service process, costs exhibit behaviors. Hansen and Mowen (2003) find that vary the behavior of some of the costs involved in the manufacturing process or service, depending on the production demand.

Bornia (2002) states that the separation of fixed and variable

costs is fundamental in supporting decision making. Megliorini (2007) corroborates that costs need to be classified to meet the purpose and analysis.

Fixed costs are the costs that remain constant over some time. Although they change with a rise in labor costs, they remain classified as fixed (HANSEN and MOWEN, 2003).

Still, on fixed costs, Borna (2002) affirms that the increase in the fixed cost of the company is not directly related to the quantity of production of the company. As Wernke (2001) confirms, regardless of the volume of production, fixed costs tend to remain constant.

Hansen and Mowen (2003) cite that variable costs fluctuate during the production of products or services. A linear equation represents and calculates variable costs (Equation - 1), at where, VC_{total} = Total Variable Cost, V = Variable Cost per Unit, and X = number of units.

$$VC_{total} = V \times X \quad [\text{Eq. 1}]$$

The variable costs have the opposite behavior to the fixed cost since they are directly related to the production (BORNIA, 2002).

CVP Analysis recognized as a useful tool in financial planning and decision making. This analysis highlights the interrelationships of costs, quantities sold and prices, identifying besides an economic problem and others as (HANSEN and MOWEN, 2003):

1. Determine the sales goal to reach break-even;
2. The impact caused by the stipulation of reduction of fixed costs on the break-even points and;
3. The impact of an increase in price on profit.

According to Borna (2002), it is possible to make short-term decisions that influence the improvement of the financial result of the company, since with CVP analysis the cost affecting profit is known, comparing the quantities sold and the costs.

The CVP's main advantage is to provide appropriate

management tools, resulting in improved pricing policy, sales revenue forecasting, and profitability, and consequently, adequate budgeting is acceptable (SANTOS, 2000).

According to Iudícibus and Mello (2013), this technique is one of the oldest and most efficient for cost analysis, which, if properly applied, tends to be an essential tool for decision making.

As discussed by Souza, Schnor, and Ferreira (2011), based on investigations in literature, several authors describe CVP Analysis as a management tool to assist in the planning and control of processes and short-term decision-making. Table 4 describes the application of this tool by some of the authors in different problems.

Table 4: CVP Analysis Applications

Publication	Applications of CVP Analysis
Wernke (2004)	introduction of new product lines; to the projection of profits; the definition of transfer prices; the determination of selling prices; production scheduling;
Souza and Diehl (2009)	variable remuneration; the estimation of future costs; reduction of costs, expenses, and expenses; to choose better marketing strategies; to select the product mix for production and sales;
Warren, Reeve and Fees (2001)	to analyze the effects of costs on profits; to the dimensioning of productive capacity; the preparation of budgets;
Dubois, Kulpa and Souza (2009)	identification of the economic viability of projects.

Source: Souza, Schnor and Ferreira, 2011.

The method is applied both in traditional agroindustrial segments and in family agriculture, enabling for this case conditions for the definition of strategies for diversification of products to adjust to changes in scenarios generated by seasonalities (CALLADO, ALBUQUERQUE and SILVA, 2007).

The information obtained from this tool is Contribution Margin, Balance Point, Safety Margin, as shown in Figure 3 (GARRISON and NORENN, 2001).

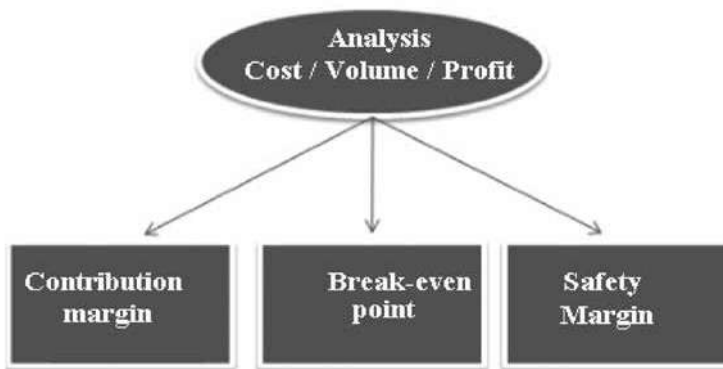


Figure 3: Components of CVP Analysis

Source: Wernk, 2001.

The contribution margin - CM corresponds to the total balance after discounting variable expenses from sales revenues, representing the organization's variable profits (ATKINSON, 2000).

Bornia (2002) points out that the contribution margin is the difference between the number of sales and variable costs; the difference found is the importance of reducing fixed costs and generating profit. Based on this concept, there is due knowledge of the financial situation, which allows decision making in the short term.

According to Hansen and Mowen (2003), the margin contribution is the difference between sales revenue and total variable costs. With the same logic, one can know the unit contribution margin, which is determined by the difference between the unit sale price and the unit variable cost and also by the division between CM and the units sold.

Therefore, to Garisson and Norenn (2001), CM is the available

balance to cover fixed expenses and from the known, decisions can be taken on the reduction of fixed costs, increase or decrease in the volume of sales and variations in the price of sales, see Equation - 2, at where, CM = Contribution Margin, TR = Total Revenue, and VCt = Total Variable Costs. Meantime, CM is expressed by Equation - 3 or Equation - 4 at where, CMu = Unit Contribution Margin, SP = Sale Price, VCu = Unit Variable Costs, and SolUnit = Units Sold.

$$CM = TR - VCt \quad [Eq. 2]$$

$$CMu = SP - VCu \quad [Eq. 3]$$

$$CMu = CM / SolUnit \quad [Eq. 4]$$

The break-even point, known from the CVP Analysis, is where profit is zero. It is useful to know the behavior of revenues, expenses, and profits against the variation of manufacturing volume or sales. Moreover, through the break-even point, it becomes possible to know the minimum turnover necessary for a company to take the totality of its costs (BORNIA, 2002).

Atkinson (2000) indicates that most of the information generated in the CVP Analysis comes from the break-even point, where sales volume overrides total costs. Hansen and Mowen (2003) argue that this tool is widely used by airlines when they want to start a new route, comparing the fixed costs of the airplane and the crew to the variable costs of ticket issuance, baggage handling, and meals. With this, one can use strategies to attract a satisfying demand for passengers to obtain profit.

According to Bertó and Beulke (2005), by definition, the break-even point is total revenue equal to the total cost (TR = TC), where the TC is composed of VC-Variable Costs and FC-Fixed Costs. Therefore, the company will profit when the result of the sales volume is higher than the PB, and there will be an injury if it computes a smaller number than the one stipulated for the Point of Balance, so it can be represented by the Equation 5, at where, PB = Point of Balance, VC = Variable Costs, and FC = Fixed Costs.

$$PB = VC + FC \quad [Eq. 5]$$

The Point of Accounting Balance (PAB) indicates the forecast sales needed so that there is no loss in a certain period, where, also, the profit is null, Santos (2000). The contribution margin and the total fixed costs define the SGP. The equation for calculating the accounting breakeven point is formed by dividing the fixed cost over the contribution margin (Hansen and Mowen, 2003).

Also, according to Hansen and Mowen (2003), sales activity measures can also be analyzed through sales revenue rather than units sold. The accounting breakeven point defines the breakeven point in currency units. Therefore the amount for production determines the accounting breakeven point, then defined by the number of units multiplied by the accurate selling price (see Table 6). Equation - 6 or Equation - 7 represents PAB Sales Volume in the Point of Accounting Balance, at where, PABq = Point of Accounting Balance in quantities, FC = Fixed Cost, SP = Sale Price, VCu = Unit Variable Cost, and CM = Contribution Margin. Moreover, Equation - 8 shows revenue (Value) in the Point of Accounting Balance, at where, PABv = Point of Accounting Balance in value, PABq = Point of Accounting Balance in quantities, and SP = Sale Price.

$$PABq = FC / (SP_{unit} - VC_{unit}) \quad [Eq. 6]$$

$$PABq = FC / CM_{unit} \quad [Eq. 7]$$

$$PABv = PABq * SP \quad [Eq. 8]$$

The balance sheet shows an operating profit equal to zero, while the Point of Economic Balance (PEB) defines the number of units to be sold to achieve the desired profit (BORNIA, 2002). In the PEB, as shown in Equation - 9 or Equation - 10 and Equation - 11, the minimum profit is estimated from the sales forecast, where total costs and revenues are equal, adding the expected profit, at where, PEBq = Point of Economic Balance in quantities, FC = Fixed Costs, PM = Profit Margin, SP = Sale Price, VCu = Unit Variable Cost, and PEB \$ = Point of Economic Balance in monetary values (SANTOS, 2000).

$$PEBq = FC + PM / (SP_{unit} - VC_{unit}) \quad [Eq. 9]$$

$$PABq = FC + PM / CM_{unit} \quad [Eq. 10]$$

$$PEB\$ = PEBq \times SP \quad [Eq. 11]$$

For the calculation of the Point of Financial Balance (PFB), according to Martins (2003), it is necessary to withdraw costs and non-disbursed fixed expenses that do not represent cash outflow of costs and expenses fixed records in a period.

Like other Balance Points, the PFB demonstrates the volume or monetary value that will be sufficient to pay for variable and fixed costs and expenses, disregarding depreciation, and other debts such as bank borrowing and financing (WERNKE and ALVES, 2016). Equation 12 indicated Point of Financial Balance on terms of Sales Volume, at where, PFBq = Point of Financial Balance in quantities, FC = Fixed Costs, Depr = Depreciation, Debt = Period Debt, and CM = Contribution Margin. Furthermore, Equation 13 shows Point of Financial Balance on revenue (value), at where, PFB \$ = Point of Financial Balance in monetary values, PFBq = Point of Financial Balance in quantities, and SP = Selling Price.

$$PFBq = FC - Depr + Debt / (MC_{unit}) \quad [Eq. 12]$$

$$PFB\$ = PFBq \times SP \quad [Eq. 13]$$

The safety margin is a risk measure that uses break-even as a benchmark. This item assumes the reference position for the accounting of units sold or revenue. Helping companies see how tolerable it can be to reduce sales, so they do not operate at a loss (Hansen and Mowen, 2003). For Bornia (2002), the margin of safety represents surplus sales compared to breakeven, which guarantees the company's profit reach. Padoveze (2013) comments that the analysis of this surplus-value can be both the sales value and the quantity sold. The safety margin for managerial use demonstrates greater effectiveness in the index format since it is independent of

continuous comparisons with quantities sold. Equations 14, 15, and 16 represents respectively Amount, Revenue (Amount), and Index (%) on the Safety Margin, at where, SM (US\$) = Safety Margin (US\$), ST = Sales Total (US\$), BP = Balance Point (US\$), SMunit = Safety Margin in Unit, CVunit = Carried Volume, BPunit = Balance Point in Units, and SM (%) = Safety margin in percentage.

$$SM = ST - BP\$ \quad \text{[Eq. 14]}$$

$$SM_{unit} = CV_{unit} - BP_{unit}\$ \quad \text{[Eq. 15]}$$

$$SM(\%) = (ST - BP\$)/VT \quad \text{[Eq. 16]}$$

4. METHODOLOGY

The methodological process used the CVP Analysis, and therefore the Contribution Margin, Accounting Balance, Economic-Financial and Safety Margin were calculated, as presented in Tables 1 to 16 of Item 3 of this chapter. These tools calculated and evaluated data from the DELTA company accounting sector (company named defined for the study). DELTA's Annual Cost Report for the year 2015 provided operating costs on the inland waterway as well as total company expenses. Spreadsheets quantified the data, which made it possible to improve the presentation and calculation of the costs that make up the river transport operation.

The water transport company, called DELTA, began operating in the region in 1976 in Parintins (AM), currently occupies a prominent position in the local market, having as clients large national and multinational companies. It is one of the companies that participated in the creation and consolidation of the Union of River Navigation Companies in the State of Amazonas - SINDARMA. DELTA specializes in inland waterway transportation services, as well as other cargo classes, including fuel, special cargo, among others, is licensed and registered with the IRS, ANTAQ, and ANTT as a national and international carrier. The company has specialized personnel, equipment (forklifts), vehicles, warehouses, and appropriate rafts.

DELTA operates in the Amazon River basin, mainly on the Manaus - Porto Velho and Manaus - Belém routes. The company has 7 (seven) General Cargo / Container ferries and 10 (ten) pushers that take turns between the general cargo and cargo ferries tank, and the accommodation ferries. Tables 5 and 6 detail the information cited. It also has administrative and operational offices in Manaus (AM), Porto Velho (RO), Santarém (PA) and Belém (PA). In 2015, it presented annual revenues from General Cargo's transportation services with approximately US\$ 4,050,601.36. The company's rating range is medium to large.

Table 5: General Cargo Pushers

VESSEL NAME	NUMBER OF ENGINE	POWER (HP)
ANTHURIUM	1	600
SC 40	2 (600 hp each)	1,200
SC 41	2 (200 hp each)	400
SC 46	2 (600 hp each)	1,200

Source: Research Data, 2017.

Table 6: General Cargo Ferries

VESSEL NAME	CAPACITY
FG II	1,500 toneladas – 100 TEUs
Maria Monteiro	1,748 toneladas – 100 TEUs
SC 38	1,500 toneladas – 100 TEUs
SC 43	1,707 toneladas – 100 TEUs
SC 48	1,748 toneladas – 100 TEUs
SC 49	1,748 toneladas – 100 TEUs

Source: Research Data, 2017.

The data for performing the calculations and CVP analysis were from January to December 2015, referring to the general cargo fluvial transport of the Manaus-Porto Velho stretch. The study

adopted July / 2015 exchange rate, where R\$ 1.00 was equivalent to approximately US\$ 0.3115847.

5. PRESENTATION AND DISCUSSION OF RESULTS

The data obtained for the studies have prospected directly from the database of the commercial management sector of the company DELTA. The calculations of the factors that make up the CVP will use and detail the data presented in Table 7.

Table 7: Revenues, Volume, and Cost Data

Factors	Values
Revenues (US\$)	4,037,516.41
Volume (ton)	64,790.03
Cost Total (US\$)	3,177,998.04

Source: Research Data, 2017.

Fixed costs and expenses are those that did not change due to the volume transported during transport, remaining at the same value monthly even with the decrease in transported volume. Table 8 presents these data and refers specifically to the variable costs and expenses incurred monthly during the period analyzed.

Variable costs and expenses, described in Table 8 refer to November, with a record of 7,676,910 t. At the same time representing the month of 2015 with the most substantial amount of cargo transported and also with higher expenses and variable costs in the amount of US\$ 107,417.82. Table 9 highlights the variable cost of fuel of US\$ 92,026.54, resulting from general cargo transportation, which corresponds to 85.67% of total variable costs and expenses.

Table 8: Monthly Variable Costs and Expenses

Elementos	Manaus	Porto Velho	Overall (US\$)	Overall (%)
Fuel for boats	56,655.45	35,371.10	92,026.54	85,67%
Fuel for Equipment	1,994.24	809.02	2,803.25	2,61%
Travel and stays	1,695.02	560.85	2,255.87	2,10%
Electricity	2,243.41	1,246.34	3,489.75	3,25%
Cargo Stowage Materials	373.90	373.90	747.80	0,70%
Office supplies	211.88	211.88	423.76	0,39%
Port services	1,246.34	1,246.34	2,492.68	2,32%
Rental of unloading vehicles (extra pulls)	1,869,51	1,308.66	3,178.16	2,96%
Overall	66,289.74	41,128.08	107,417.82	100,00%

Source: Own elaboration, 2017.

Table 9: Characteristics of General Cargo Pushers

PUSHERS	CAP. TRANSP (ton)	ORIGIN	DESTIN.	DAYS	TOTAL OF HOURS OF TRAVEL	l/h	CONSUMPTION (l)	COSTS (US\$)
SC 41	1,500	MAO	PVH	8	192	60	11,520	9,871.00
		PVH	MAO	5	120		7,200	6,169.38
SC46	7,200	MAO	PVH	7	168	120	20,160	17,274.26
		PVH	MAO	5	120		14,400	12,338.75
ANTHU-RIUM	3,600	MAO	PVH	7	168	85	14,280	12,235.93
		PVH	MAO	4	96		8,160	6,991.96
SC 40	7,200	MAO	PVH	7	168	120	20,160	17,274.26
		PVH	MAO	4	96		11,520	9,871.00

Source: Own elaboration, 2017.

Table 9 shows the consumption and consequently the fuel cost, result of travel time and characteristics of each pusher. For the transportation of 7,200 tons in the Manaus - Porto Velho - Manaus stretch, distributed in two ferries, the SC 40 pusher consumed 31,680 liters of diesel at the cost of US\$ 27,145.26, while the SC 41 pusher with a capacity of 1,500. Tons had a consumption of 18,720 liters of diesel, at the cost of US\$ 15,728.80, representing the smallest among the four vessels because of lower power motorization. This brief analysis shows that it is essential to know the costs and capacity of each vessel to help choose the equipment to carry a specific volume of cargo.

Other costs accounted for 14.33% of the total variable cost, especially Port Services, Fuels for equipment such as 2 Terex cranes, five horsepower, Electric Energy and unloading vehicles. The cost of electricity presented a monthly average of US\$ 3,489.75. The amount of US\$ 2,243.41 was related to the consumption of the company's headquarters, located in Manaus, while the unit located in Porto Velho had an average of US\$ 1,246.34. The difference is due to the company's configuration in the two cities, wherein Manaus there is the administrative headquarters and the company's port, which is the place of repair of vessels, among other operations; On the other hand, in Porto Velho, the company has only one place to attend all its operational actions.

Another impacting cost constant in the variable cost ratio was the fuel used by 2 Terex cranes and five horses. The other two variable costs with a large share of the total variable cost were vehicle rental costs, due to the need for vehicles to support the unloading of ferries, thereby reducing the time spent at the terminals and the costs with port services as fees and expenses. The application of the CVP analysis also requires measuring fixed costs and expenses, and therefore fixed costs and expenses were recorded, which resulted in a monthly amount of US\$ 163,757.09, as shown in Table 10.

Table 10: Monthly Fixed Costs and Expenses

Element	Manaus	Porto Velho	Overall (US\$)	Overall (%)
Conservation / cleaning	1,451.98	0.00	1,451.98	0,89%
Dedetization	560.85	0.00	560.85	0,34%
Ferry depreciation	14,641.59	0.00	14,641.59	8,94%
Heavy Vehicle Depreciation	13,078.46	14,759.34	27,837.79	17,00%
Pusher Depreciation	3,166.36	0.00	3,166.36	1,93%
Property Rental	23,680.44	16,513.99	40,194.43	24,55%
Rental of machinery and equipment	4,237.55	5,608.52	9,846.08	6,01%
Light vehicle rental	186.95	0.00	186.95	0,11%
Heavy Vehicle Rental	10,843.15	2,492.68	13,335.83	8,14%
Vessel Maintenance	138.48	0.00	138.48	0,08%
Machine maintenance	6,231.69	1,119.63	7,351.32	4,49%
Light vehicle maintenance	32.46	32.46	64.92	0,04%
Heavy vehicle maintenance	85.69	85.69	171.37	0,10%
Maintenance and building conservation	1,894.43	1,321.12	3,215.55	1,96%
Material for use and consumption	5,079.99	0.00	5,079.99	3,10%
Salaries and charges for administrative staff	6,028.06	3,092.05	9,120.12	5,57%
Salaries and charges for shipboard personnel	10,056.71	0.00	10,056.71	6,14%
Salaries and charges for operational personnel at the company's port	8,034.97	2,389.64	10,424.61	6,37%
Security and Monitoring	0.00	3,975.82	3,975.82	2,43%
PJ Services	2,492.68	0.00	2,492.68	1,52%
Staff Training (Brigade)	414.41	0.00	414.41	0,25%
Uniforms and Personal Protective Equipment	29.26	0.00	29.26	0,02%
Overall	112,366.16	51,390.93	163,757.09	100,00%

Source: Own elaboration, 2017.

Table 10 presents expenses and fixed costs in November 2015. The CVP analysis used this data because it represents the year with higher expenses, revenues, and volume of general cargo transported. Depreciation with ferries, heavy vehicles, and pushers was highlighted in Table 10, as the amount of 27.87% impacted the price of freight transportation. Other installments that made up the total fixed cost were real estate leasing, machine leasing, light, and heavy vehicles.

The difference between revenue and variable costs, composed by the variables described in Table 11, defined the Contribution Margin - MC in the monetary unit. The ratio between MC and Revenue acquired by the company multiplying by 100, resulted in MC percentage.

Table 11: Monthly and Total Contribution Margin

Month	Transported Volume (t)	Billing (US\$)	Variable Costs (US\$)	CM (US\$)	CM (%)
Jan	4,961.71	309,198.58	69,476.20	239,722.38	77.53%
Feb	4,396.81	273,996.06	61,566.28	212,429.78	77.53%
Mar	5,416.05	337,511.97	75,838.15	261,673.82	77.53%
Apr	3,964.60	247,061.74	55,514.20	191,547.54	77.53%
May	4,976.09	310,094.70	69,677.56	240,417.14	77.53%
Jun	4,680.99	291,704.97	65,545.43	226,159.54	77.53%
Jul	5,552.26	346,000.16	77,745.43	268,254.73	77.53%
Aug	4,578.61	285,325.28	64,111.93	221,213.35	77.53%
Sep	5,957.66	371,263.14	83,421.96	287,841.18	77.53%
Oct	6,291.71	392,080.43	88,099.56	303,980.87	77.53%
Nov	7,676.91	478,401.54	107,495.71	370,905.83	77.53%
Dec	6,336.60	394,877.83	88,728.13	306,149.70	77.53%
Yearly	64,790.03	4,037,516.41	907,220.53	3,130,295.88	77.53%

Source: Own elaboration, 2017.

The month of November generated higher CM, representing US\$ 370,905.83 or 77.53%. The high volume of general cargo carried had a direct influence on operating profit, as shown in Table 11. However, the CM recorded in April was approximately 50% lower than the best month. This result reflected low cargo demand, which reduced the contribution margin to cover fixed costs. CM showed that for each month, 77.53% of revenue covered fixed costs and expenses. Variable revenues, costs, and expenses are directly related to the volume transported. Therefore, increased demand for cargo has led to increased revenues and variable costs and expenses. The monthly CM values, in Table 11, showed that the company transported the overall cargo volume beyond what was necessary to avoid losses.

When sales revenue equals total cost, not resulting in profit or loss to the company, this sets a point of balance - PB. In the study, the PB defined by the tonnage or monetary value required to cover expenses, fixed and variable costs. The calculation of Point of Accounting Balance - PAB uncovered the minimum amount of cargo for transport, and consequently, the monetary PB where this is the monetary value that covers the total cost. The Point of Economic Balance used a similar system to the previous one, in which, besides considering data involved in the PEB, it also considers the calculation of return margin. Expenses and fixed costs divided by the unitary

MC, obtained by dividing the monthly contribution margin by the volume transported in November, led to arrive at the units' Point of Accounting Balance – PABu. The determination of the monetary Point of Accounting Balance - PAB\$ used the PABu factor, multiplied by the selling price - SP (US\$ 62.32 per ton), for its definition. Table 12 presents the calculated values.

Table 12: Point of Accounting Balance - PAB

Month	Transported Volume (t)	Revenue (US\$)	CM Unitary (US\$)	Fixed Cost (US\$)	PAB (t)	PAB (US\$)	Difference
Jan	4,961.71	309,198.58	48.31	163,757.09	3,389.40	211,217.08	489.91
Feb	4,396.81	273,996.06	48.31	163,757.09	3,389.40	211,217.08	313.89
Mar	5,416.05	337,511.97	48.31	163,757.09	3,389.40	211,217.08	631.47
Apr	3,964.60	247,061.74	48.31	163,757.09	3,389.40	211,217.08	179.22
May	4,976.09	310,094.70	48.31	163,757.09	3,389.40	211,217.08	494.39
Jun	4,680.99	291,704.97	48.31	163,757.09	3,389.40	211,217.08	402.44
Jul	5,552.26	346,000.16	48.31	163,757.09	3,389.40	211,217.08	673.92
Aug	4,578.61	285,325.28	48.31	163,757.09	3,389.40	211,217.08	370.54
Sep	5,957.66	371,263.14	48.31	163,757.09	3,389.40	211,217.08	800.23
Oct	6,291.71	392,080.43	48.31	163,757.09	3,389.40	211,217.08	904.32
Nov	7,676.91	478,401.54	48.31	163,757.09	3,389.40	211,217.08	1,335.92
Dec	6,336.60	394,877.83	48.31	163,757.09	3,389.40	211,217.08	918.30

Source: Own elaboration, 2017.

The company's PAB revealed that it was necessary to carry a monthly volume of 3,389.40 tons of general cargo to have an accounting result of zero. Thus, for PAB, monthly revenues to equate revenues and costs would be US\$ 211,217.08. There are demands for cargo transportation towards Porto Velho to Manaus. However, in the opposite direction, i.e., trips from Manaus to Porto Velho, the demand for cargo transportation was practically nonexistent, as the company transported only empty containers. The company made four monthly trips to Porto Velho - Manaus. As a result, the PAB in units and monetary values corresponded to 847.35 tons and US\$ 52,804.27, respectively per trip. Such information would be crucial for defining the timing of a trip. The results in Table 12 indicate that the company carried out its operations under billing conditions above the break-even point, then supplied costs and mainly made a profit.

The calculation of the Point of Economic Balance - PEB used the sum of fixed expenses, expected profit, and then divided by the contribution margin. This result indicates the minimum amount of cargo carried or the monetary amount to be collected for the desired profit to occur. For the PEB calculation, the estimated return considered 5% of gross revenue of US\$ 4,037,516.41 for 2015, and with annual return of US\$ 201,875.72, or US\$ 16,822.98/month. Thus, the PEB for minimum cargo to be transported was 3,737.60 tons, equivalent to US\$ 232,915.69. Table 13 presents the results generated in this calculation.

Table 13: Point of Economic Balance - PEB

Month	Transported Volume (t)	Revenue (US\$)	CM Unitary (US\$)	Fixed Cost (US\$)	Desired Return (US\$/mês)	PEB (t)	PEB (US\$)
Jan	4,961.71	309,198.58	48.31	163,757.09	33,645.97	3,737.60	232,915.69
Feb	4,396.82	273,996.06	48.31	163,757.09	33,645.97	3,737.60	232,915.69
Mar	5,416.06	337,511.97	48.31	163,757.09	33,645.97	3,737.60	232,915.69
Apr	3,964.60	247,061.74	48.31	163,757.09	33,645.97	3,737.60	232,915.69
May	4,976.09	310,094.70	48.31	163,757.09	33,645.97	3,737.60	232,915.69
Jun	4,680.99	291,704.97	48.31	163,757.09	33,645.97	3,737.60	232,915.69
Jul	5,552.27	346,000.16	48.31	163,757.09	33,645.97	3,737.60	232,915.69
Aug	4,578.62	285,325.28	48.31	163,757.09	33,645.97	3,737.60	232,915.69
Sep	5,957.66	371,263.14	48.31	163,757.09	33,645.97	3,737.60	232,915.69
Oct	6,291.72	392,080.43	48.31	163,757.09	33,645.97	3,737.60	232,915.69
Nov	7,676.91	478,401.54	48.31	163,757.09	33,645.97	3,737.60	232,915.69
Dec	6,336.61	394,877.83	48.31	163,757.09	33,645.97	3,737.60	232,915.69

Source: Own elaboration, 2017.

The comparison between PEB and PAB indicates that the company should increase the transported volume by 10.27% to reach the PEB, and soon reach the expected revenue.

The calculation of the Point of Financial Balance - PFB disregarded the expense and total cost, US\$ 45,645.73 in depreciation, discarding cost that did not directly leave the company's cash, and then used the total fixed cost value divided by the contribution margin. The result of the PFB showed a smaller amount of transport cargo volume compared to PCB and PEB. However, the analysis of the PFB predicts the company's cash movement. Table 14 presents the values resulting from the calculation of the PFB.

Table 14: Point of Financial Balance - PFB

Month	Transported Volume (t)	Revenue (US\$)	CM Unitary (US\$)	Fixed Cost (US\$)	PFB (t)	PFB (US\$)
Jan	4,961.71	309,198.58	48,31	118,111.36	761,71	152,342.32
Feb	4,396.82	273,996.06	48,31	118,111.36	761,71	152,342.32
Mar	5,416.06	337,511.97	48,31	118,111.36	761,71	152,342.32
Apr	3,964.60	247,061.74	48,31	118,111.36	761,71	152,342.32
May	4,976.09	310,094.70	48,31	118,111.36	761,71	152,342.32
Jun	4,680.99	291,704.97	48,31	118,111.36	761,71	152,342.32
Jul	5,552.27	346,000.16	48,31	118,111.36	761,71	152,342.32
Aug	4,578.62	285,325.28	48,31	118,111.36	761,71	152,342.32
Sep	5,957.66	371,263.14	48,31	118,111.36	761,71	152,342.32
Oct	6,291.72	392,080.43	48,31	118,111.36	761,71	152,342.32
Nov	7,676.91	478,401.54	48,31	118,111.36	761,71	152,342.32
Dec	6,336.61	394,877.83	48,31	118,111.36	761,71	152,342.32

Source: Own elaboration, 2017.

Subtracting the breakeven point from the total transported volume determines the Safety Margin - SM. It means the company's positive balance from sales made above the breakeven point. Moreover, to obtain the result of the Monetary Safety Margin, it was enough to multiply the MS in units by the selling price. Table 15 presents the results of the calculations to obtain MS.

Table 15: Safety Margin - SM

Month	Transported Volume (t)	Revenue (US\$)	PCB (t)	PCB (US\$)	SM (US\$)	SM (t)	SM (%)
Jan	4,961.71	309,198.58	3,389.40	211,217.08	97,981.50	1,572.31	31.69%
Feb	4,396.82	273,996.06	3,389.40	211,217.08	62,778.98	1,007.41	22.91%
Mar	5,416.06	337,511.97	3,389.40	211,217.08	126,294.89	2,026.65	37.42%
Apr	3,964.60	247,061.74	3,389.40	211,217.08	35,844.66	575.2	14.51%
May	4,976.09	310,094.70	3,389.40	211,217.08	98,877.62	1,586.69	31.89%
Jun	4,680.99	291,704.97	3,389.40	211,217.08	80,487.89	1,291.59	27.59%
Jul	5,552.27	346,000.16	3,389.40	211,217.08	134,783.08	2,162.86	38.95%
Aug	4,578.62	285,325.28	3,389.40	211,217.08	74,108.20	1,189.21	25.97%
Sep	5,957.66	371,263.14	3,389.40	211,217.08	160,046.06	2,568.26	43.11%
Oct	6,291.72	392,080.43	3,389.40	211,217.08	180,863.35	2,902.31	46.13%
Nov	7,676.91	478,401.54	3,389.40	211,217.08	267,184.46	4,287.51	55.85%
Dec	6,336.61	394,877.83	3,389.40	211,217.08	183,660.75	2,947.20	46.51%

Source: Own elaboration, 2017.

Table 15 indicates that the company did not present any month below the estimated quantity for SM, considering that there was no loss during 2015. The month of April presented the lowest SM, of only 14.51% (575.20 t). However, in the other months, good

MS was observed, reaching up to 55.85% (4,287.50 t). In monetary values, the month of April reached US\$ 35,844.66, the lowest recorded, on the other hand in November reached US\$ 267,184.46, the best SM of the company in the year. Therefore, a reduction in the transported volume of up to 14.51% (575.20 t) would not result in injury. The same goes for the case of MS in monetary value, where the monthly reduction in revenues by US\$ 35,844.66 would not cause losses.

6. CONCLUSIONS

Running any business requires proper planning. Cost management tools assist business managers. Avoiding operating losses and service price increases results in the non-overvaluation of final prices of transported products. For this, the study approached the CVP Analysis management tool, classified useful by the literature in the generation of information for strategies within a company.

The CVP analysis applied to the data of the studied company determined contribution margin, accounting, economic and financial balance point and also safety margin. However, there is no standardization in company information that ensures greater efficiency and reliability of the information generated.

The work identified cost measurement errors, such as the availability of a specific volume of fuel for pushers without direct manager control. Even with inadequate monitoring of the company, regarding some of the operating costs, CVP Analysis proved to be viable as it generated information to maximize profit.

The CVP analysis indicated that the company achieved a surplus in its status quo, and there is potential for increased profit from pusher cost management. However, it requires developing a database on each pusher's characteristics, improving the measurement of fixed and variable costs and expenses, as well as some information needed for use in CVP analysis, such as billing and charges.

The study found that in none of the 12 months of 2015, the company suffered operating loss. The breakeven point calculation

defined the required goal of cargo transport and the continuity of the favorable safety margin. The result shows that the objective of the study was achieved, providing information on the projected quantity needed each month, and generating several beneficial results for the company.

The application of CVP analysis evidenced business opportunities, such as indications of operations in safety-related time bands, valuing travel dates, and times. In this market segment, time and time factors are paramount to business success. Another identified business opportunity was the potential utilization of the idle cargo capacity from Manaus to Porto Velho, where the ferries go without cargo.

The final recommendation for the company is for its administrators to create cost-effective sectors. With this industry operating, administrators will have better information to apply CVP analysis to project more reliable results at about the amount required for effective and efficient operation.

Acknowledgments

The authors thank FAPEAM, the research support agency of the state of Amazonas, for supporting the development of the dissertation, with the project entitled Analysis of Fluvial General Cargo Transport Costs, as well as the Graduate Program in Production Engineering (PPGEP) from UFAM for their support in the development of the work.

REFERENCES

- ALECRIM, P. D. (2016). General Cargo Transport on the Madeira River (In Portuguese). Available at: <<http://portal.antaq.gov.br/wp-content/uploads/2016/12/O-transporte-de-carga-geral-pelo-rio-Madeira-Paulo-Duarte-Alecrim.pdf>>. Accessed on 20/03/2016.
- ANA - National Water Agency (2005). *Water Resources Notebooks: Inland Navigation and its Interface with the Water Resources Sector* (In Portuguese). Brasília, Available at: <<http://www.ana.gov.br>>. Accessed on 20/03/2016.

- ANTAQ - National Waterway Transportation Agency (2010). Cargo Transport on the Madeira River Waterway (In Portuguese). Available at AT: <<http://www.antaq.gov.br/Portal/pdf/HidroviaDoMadeiraTransportedeCargas.pdf>>. Access on 20/ 03/2016.
- ANTAQ - National Waterway Transportation Agency (2015). *Waterway Statistical Yearbook* (In Portuguese). Available at: <<http://www.antaq.gov.br/portal/PDF/Anuarios/ApresentacaoAnuario2015.pdf>>. Accessed on 20/ 03/2016.
- ATKINSON, A. A. (2000). *Management Accounting* (In Portuguese). Sao Paulo: Atlas.
- BERTÓ, D. e BEULKE, R. (2005) *Cost Management* (In Portuguese). 1st ed. - São Paulo: Saraiva.
- BORNIA, A. C. (2002). *Managerial Cost Analysis: application in modern companies* (In Portuguese). Porto Alegre: Bookman.
- BRASIL (1973). Law no. 5,917, of September 10, 1973. Approves the National Road Plan and makes other arrangements (In Portuguese). Brasilia: National Congress, 1973. Available at: <<https://www.planalto.gov.br/>>. Accessed on 20/ 03/2016.
- BRUNI, A. L. e FAMÁ, R. (2012). *Cost Management, and Pricing* (In Portuguese). 6th ed. São Paulo: Atlas.
- CALLADO, A. L. C.; ALBUQUERQUE, J, L. e SILVA, A. M. N. (2007). Analysis of the cost / volume / profit ratio in family farming: the case of the castor bean / bean consortium. *Costs and online business*, ISSN 1808-2882, v. 3, no. 1 - Jan / Jun.
- CHOI, Chi-Young e CHOI, H. (2014). Does distance reflect more than transport costs? University of Texas at Arlington, USA. Monash University, Australia. Available at: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.econlet.2014.08.016>>. Access on 20/ 03/2016.
- GARRISON, R. H.; Noreen, E. W. (2001). *Management accounting*. 9th ed. Rio de Janeiro: LTC.
- GUIMARÃES, G.; LUQUEZ, P.; FARIA, F. e SILVA, M. (2015). Train type influence on waterway operations. *Production and Development Magazine*, 1 / Aug / 2015. Available at: <<http://revistas.cefet-rj.br/index.php/producaoedesarvolvimento/article/view/71/101>>. Access on 15/ 11/2016.
- HANSEN, D.R. e MOWEN, M. M. (2003). *Cost Management: Accounting and Control*. 3rd ed. São Paulo: Pioneer Thomson Learning.
- IUDÍCIBUS, S. e MELLO, G. R. (2013). *Cost analysis: a quantitative approach*. São Paulo: Atlas.
- LI, J.; Li, J. e YANG, Y. (2015). Railway Freight Transportation Economic Benefit Cost-Volume-Profit Analysis. In: *ICTE*. Available at: <https://doi-org.ez2.periodicos.capes.gov.br/10.1061/9780784479384.245>, Published online: September 21.

- LUIZ, A. K.; WERNKE, R.; JUNGES, I. e RUFATTO, I. (2017). Benefits of CVP Analysis in Freight Forwarding Agency (In Portuguese). In: *VII Brazilian Congress of Production Engineering*. Ponta Grossa. Electronic proceedings Conbrepro 2017. Ponta Grossa: APREPO. Available at: <<http://www.aprepro.org.br/conbrepro/2017/anais.php>>. Accessed on 10/ 11/2017.
- NATIONAL TRANSPORTATION CONFEDERATION - CNT (2013). CNT Survey of Inland Navigation 2013 (In Portuguese). Available at: <<http://www.cnt.org.br/Search/search-cnt-navegacao-interior>>. Brasília, Accessed 11/ 08/2016.
- MARTINS, E. (2003). *Cost Accounting*. 9th ed. São Paulo: Atlas.
- MEGLIORINI, E. (2007). *Costs revised and expanded*. 2. ed. Sao Paulo: Pearson Prentice Hall.
- MINISTRY OF TRANSPORT - MT (2016). *Strategic Waterway Plan*. Available at: <<http://www.transportes.gov.br/>>. Access on 08/ 08/2016.
- NATIONAL DEPARTMENT OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE – DNIT (2017). The Madeira River dredging begins (In Portuguese). Available at: <<http://www.transportes.gov.br/ultimas-noticias/5088-come%C3%A7a-a-dragagem-o-rio-madeira.html>>. Accessed on 31/ 10/2017.
- NOTARJACOMO, M. H. B. (2013). *Flow of bulk sugar production from Mato Grosso do Sul State for export: a study of routes and their costs* (In Portuguese). Federal University of Rio Grande do Sul. School of Engineering. Postgraduate Program in Production Engineering. Available at: <<http://hdl.handle.net/10183/96381>>. Accessed on 158/ 07/2016.
- PADOVEZE, C. L. (2013). *Cost accounting: theory, practice, integration with information systems (ERP)*. Sao Paulo: Cengage Learning.
- RODRIGUES, P. R. A. (2002). *Introduction to Brazilian Transport Systems and International Logistics*. Sao Paulo: Customs.
- SANTOS, J. J. (2000). *Cost analysis: Refurbished with emphasis on marginal cost, reports and case studies*. Sao Paulo: Atlas.
- SARAIVA, P. L. O. e MAEHLER, A. E. (2013). Waterway transport: study of advantages and disadvantages compared to other modes of transport in southern Brazil. In: *Annals. SIMPOI*, v. 1.
- SOUZA, M. A.; SCHNOR, C. e FERREIRA, F. B. (2011). Cost-Volume-Profit Analysis as a Management Instrument: A Multicase Study in Large Industries of Rio Grande Do Sul. *Journal of Accounting and Organizations*, vol. 5 no. 12, p. 109-134. Available at: <https://anaiscbc.emnuvens.com.br>. Access on 05/ 03/2016.
- STIVERS, B. P.; ONIFADE, E; REYNOLDS, R. e ALLI, K. (2011). Introductory accounting for business majors: Revisited. *Academy of Educational Leadership Journal*, Vol. 15, no. S1, p. S31 +. Academic OneFile. Available at: <<http://link-galegroup.ez2.periodicos.capes.gov.br/apps/doc/>

A273616185/AONE?u=capes&sid=AONE&xid=72213374>. Access on 05/01/2018.

STOENOIU, C. E. (2018). Sensitivity of indicators used in cost-volume-profit analysis. In: *Annual Session of Scientific Papers. IMT ORADEA*. DOI: 10.1051 / matecconf / 201818404003, MATEC Web Conf. 184 04003.

WERNKE, R.; ALVES, T. M. (2016). *Application of Cost / Volume / Profit Analysis in Small Business Retail: Case Study at Imaruí Gas Station (SC)*. Available at: <https://anaiscbc.emnuvens.com.br>. Access on 05/03/2016.

WERNKE, R. (2001). *Cost management: a practical approach*. Sao Paulo: Atlas.

Mailing address:

(1) Matos, Paulo Romulo Lima. E-mail: romulolima.matos@gmail.com;

(2) Kuwahara, Nelson. E-mail: nelsonk@ufam.edu.br;

(1;2) Universidade Federal do Amazonas - UFAM, Avenida General Rodrigo Octavio Jordão Ramos, 6200, Bairro: Coroado I, Setor Norte.

ANÁLISE MODAL EM EMBARCAÇÕES DE ATENDIMENTO MÉDICO-HOSPITALAR VISANDO A OTIMIZAÇÃO DE VIBRAÇÕES

MODAL ANALYSIS IN MEDICAL CARE VESSELS FOR VIBRATION OPTIMIZATION

FERREIRA, A. S. A.¹; SOEIRO, N. S.²

(1) Amarena Portuário; (2) Universidade Federal do Pará

RESUMO

A utilização de embarcações para atendimento hospitalar tem sido um dos principais meios utilizados por algumas prefeituras pertencentes aos estados da Amazônia Legal para levar assistência médica e odontológica para comunidades situadas em localidades distantes. Essas embarcações foram denominadas pelo Ministério da Saúde de Unidades Básicas de Saúde Fluvial (UBSF). O projeto dessas unidades, entretanto, é diferenciado, em muitos aspectos, pois prevê a instalação de equipamentos não presentes nas demais embarcações convencionais. Além disso, o serviço desempenhado nessas unidades necessita de condições vibro-acústicas satisfatórias de modo que os profissionais de saúde possam executar os procedimentos corretamente. Este trabalho tem como objetivo realizar uma análise numérica através do Método de Elementos Finitos para avaliar as propriedades modais e acústicas da embarcação de atendimento médico. O trabalho contemplou duas análises: modal e acústica. Na análise modal, foram considerados como objetos de estudo o eixo, hélice e a própria estrutura da UBSF, pois estas são as principais fontes de excitação. Enquanto, que a análise acústica buscou averiguar as principais fontes de emissão de ruído e a sua propagação no interior da UBSF, sendo utilizado o *software* Ansys para a análise modal.

Palavras-chave: análise modal, método de elementos finitos, vibração.

ABSTRACT

The use of vessels for hospital care has been one of the main means used by some municipalities in the states of the Legal Amazon to bring medical and dental care to communities in distant locations. These vessels were named by the Ministry of Health of Basic Fluvial Health Units (UBSF). The design of these units, however, is different in many respects, as it provides for the installation of equipment not present in other conventional vessels. In addition, the service performed in these units requires satisfactory vibro-acoustic conditions so that health professionals can perform the procedures correctly. This work aims to perform a numerical analysis through the Finite Element Method to evaluate the modal and acoustic properties of the medical care vessel. The work contemplated two analyzes: modal and acoustics. In the modal analysis, the UBSF axis, propeller and the structure itself were considered as study objects, as these are the main sources of excitation. Already the acoustic analysis sought to ascertain the main sources of noise emission and their propagation within the UBSF. *Ansys software* was used for modal analysis.

Keywords: modal analysis, finite element method, vibration

1. INTRODUÇÃO

A Amazônia possui uma extensão territorial naturalmente cercada por densas florestas e inúmeros rios. Dentro dessa imensa região, estão os denominados ribeirinhos, moradores das margens dos rios, e que vivem praticamente isolados dos grandes centros urbanos. Essa realidade é verificada, principalmente, em decorrência da falta de rodovias. Dessa forma, como os convencionais meios de interligação a essas localidades são os rios, o atendimento de saúde é praticamente inexistente. Para ter acesso aos serviços básicos de saúde, é necessário viajar muitas horas ou até dias para conseguir um atendimento. Além disso, na maioria das vezes, é necessário fazer mais de uma viagem, pois os exames, consultas e procedimentos não são feitos no mesmo dia.

Para minimizar essa realidade, em 2011, o Governo Federal lançou o Programa de Construção de Unidades Básicas de Saúde Fluviais (UBSF), que prevê a aquisição de embarcações de atendimento médico para as populações ribeirinhas. As Unidades Básicas de Saúde Fluvial são diferenciadas, pois consistem de embarcações que comportam uma ou mais equipes de Saúde da Família Fluvial, equipadas com os materiais necessários para atender à população ribeirinha da Amazônia Legal (Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins e parte do Maranhão) e Pantanal Sul Mato-Grossense (PORTAL DA SAÚDE, 2012).

As Unidades são basicamente veículos adaptados para fornecer serviços especializados na área de saúde. As unidades, também, têm função educativa, com a promoção de palestras e esclarecimentos.



Figura 1: UBSF Manicoré/AM

Fonte: Ministério da Saúde, 2017.



Figura 2: Interior de uma UBSF

Fonte: Ministério da Saúde, 2017.



Figura 3: Sala de Procedimentos de uma UBSF

Fonte: Ministério da Saúde, 2017.

Embarcações assistenciais possuem restrições de projeto não encontradas no arranjo físico de embarcações de passageiros comuns. Preveem, por exemplo, a instalação de equipamentos não presentes nos projetos de embarcações convencionais, como exemplo, equipamentos para ultrassom, raio-x, cadeira odontológica, e outros. Ainda requerem níveis sonoros e oscilatórios adequados para que procedimentos realizados a bordo sejam executados corretamente. Devem se locomover com rapidez em casos emergenciais onde seja necessário o transporte para centros mais especializados.

Outro fator importante é o arranjo físico da UBSF, pois o projetista deve considerar não somente os espaços para atendimento, o local para armazenagem de medicamentos, a localização de equipamento de exame e diagnóstico a serem utilizados, locais para descarte de lixo hospitalar assegurando que não ocorra contaminação.

Assim, esta pesquisa faz uma análise numérica em Elementos Finitos em uma embarcação de assistência médica para avaliar se os níveis sonoros e vibratórios existentes em uma Unidade de Atendimento Fluvial atendem aos critérios mínimosexigidos pelas normas regulamentadoras visando garantir condições vibroacústicas adequadas para o fornecimento dos serviços.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Análise Modal

De acordo com He e Fu (2001), uma análise modal é um método utilizado para determinar quais as propriedades dinâmicas de um sistema. Essas propriedades incluem frequências naturais, fatores de amortecimentos e modos de vibração, informações estas que permitem a formulação do modelo matemático, o qual é utilizado para avaliar o comportamento dinâmico de uma estrutura ou componente estrutural.

As frequências naturais indicam a taxa de oscilação livre da estrutura, ou seja, representam o quanto a estrutura vibra. Um componente mecânico ou estrutura possui diversas frequências

naturais. A frequência natural mais importante é a primeira, pois envolve maior quantidade de energia na sua ação.

Os modos de vibração correspondem a forma como a estrutura vibra. De acordo com Schwarz e Richardson (1999), são propriedades inerentes de uma estrutura. Os modos de vibração são designados pelas propriedades do material como massa, rigidez e amortecimento e também através das condições de contorno da estrutura em questão. Para cada frequência natural existe um modo de vibração específico. Assim, os modos de vibração representam a configuração da estrutura quando esta vibra a uma determinada frequência.

Almeida (1990) afirma que a análise modal é capaz de determinar as propriedades dinâmicas de uma estrutura pela identificação de seus modos de vibração. A análise modal é relativamente simples quando efetuada em componentes básicos, mas pode ser extremamente complicada quando realizada em elementos ou estruturas complexas, expostos a vários carregamentos externos.

2.2. Método de Elementos Finitos

O Método de Elementos Finitos (MEF) é uma análise matemática que consiste na discretização de um meio contínuo em pequenos elementos, mantendo as mesmas propriedades do meio original. Esses elementos são descritos por equações diferenciais e resolvidos por modelos matemáticos.

Na engenharia, é comum divisão de um problema complexo em problemas mais simples para se facilitar a resolução. Assim, a ideia principal do Método dos Elementos Finitos consiste em dividir o domínio (meio contínuo) do problema em pequenas regiões de geometria simples (formato triangular, quadrilateral, cúbico, etc.), conforme ilustra a Figura 5.

A obtenção de resultados neste tipo de simulação é relativamente simples em programas comerciais, uma vez que não é necessário conhecer as forças e as restrições atuando nos componentes, basta saber sua geometria e material.

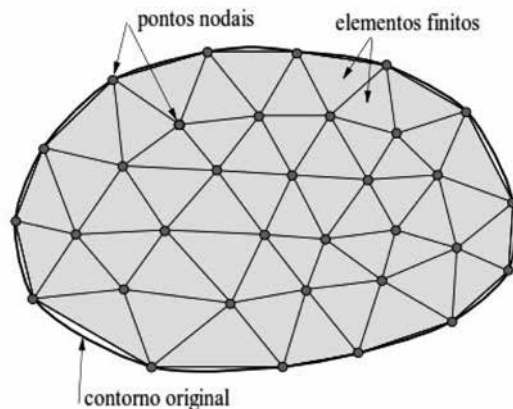


Figura 5: Discretização de Elementos
Fonte: NICAIE/UFPA, 2015.

Como foi dito anteriormente, o principal objetivo da análise modal é descrever os fenômenos complexos da dinâmica estrutural, ou seja, os modos de vibração da estrutura. Os modos de vibração são a forma como a estrutura vibra. Para cada frequência natural existe um modo de vibração específico, ou um perfil de vibração. Os modos de vibração inerentes aos componentes estruturais ou sistemas mecânicos (HE e FU, 2001).

A estrutural é a principal aplicação prática do Método de Elementos Finitos dentro da engenharia. Através dele, pode-se determinar a configuração deformada do modelo discretizado por meio dos deslocamentos dos nós presentes no modelo (estrutura analisada).

O Método de Elementos Finitos consiste em 3 (três) fases: pré-processamento, solução e pós-processamento. O pré-processamento consiste em subdividir a estrutura em elementos. Nesta fase, ocorre a descrição geométrica do problema, esse processo é realizado por *softwares* geradores de malha. Ocorre também a definição do tipo de elemento estrutural (viga, barras, placas, etc.), do tipo de material e suas características.

A fase de solução ocorre a montagem e resolução de um conjunto de equações para se obter os resultados nodais desejados, como deslocamentos ou temperaturas, em diferentes nós de um problema.

Na fase de pós-processamento, ocorre a interpretação dos resultados. Aqui os valores gerados na fase anterior, como deslocamentos, deformações, fluxos de calor, etc, são apresentados em forma gráfica ou numérica.

2.3. Softwares em Elementos Finitos

A análise de estruturas é provavelmente a aplicação mais comum do método de elementos finitos. O termo “estrutura” não só diz só respeito às estruturas de engenharia civil como pontes e edifícios, mas também possui aplicação às estruturas navais, aeronáuticas, mecânicas e etc.

O método propõe que o número infinito de variáveis desconhecidas, sejam substituídas por um número limitado de elementos de comportamento bem definido. Essas divisões podem apresentar diferentes formas, tais como a triangular, quadrilateral, entre outras, em função do tipo e da dimensão do problema. Como são elementos de dimensões finitas, são chamados de “elementos finitos” – termo que nomeia o método.

A precisão do método depende da quantidade de nós e elementos, e do tamanho e tipo dos elementos presentes na malha, ou seja, quanto menor for o tamanho e maior for o número de elementos em uma determinada malha, mais precisos serão os resultados da análise.

2.4. Principais Fontes de Vibrações

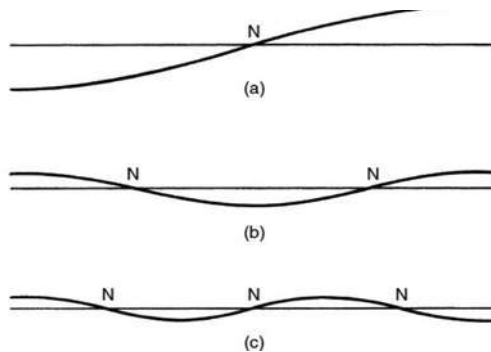
A estrutura do navio é composta pelo chapeamento externo e reforços internos que, coletivamente, fornecem a rigidez necessária para desempenhar o comportamento idealizado pelo projetista depois de construído. O arranjo estrutural do casco, quando sujeito a um carregamento dinâmico, comporta-se como uma viga livre em ambas as extremidades. A vibração induzida pelo sistema eixo-propulsor é a fonte mais comum de excitação nos navios e se manifestam de várias maneiras. As forças dinâmicas provenientes do sistema de eixo são transmitidas para o casco através dos

rolamentos. Por outro lado, o hélice induz pressões flutuantes na superfície do casco que propaga os esforços para o restante da estrutura. A resposta a essas forças é produzida através de vibrações à viga-navio, estruturas localizadas, equipamentos ou pessoas.

Segundo Tupper (2004), as vibrações em navios podem ser localizadas ou globais. As vibrações localizadas dizem respeito a um elemento estrutural específico como chapas, anteparas ou uma região do convés. Possuem, geralmente, frequências altas e amplitudes baixas.

As vibrações globais, por outro lado, dizem respeito à viga-navio e são analisadas ainda na fase de projeto, pois sua modificação após a construção do navio é uma tarefa complexa e dispendiosa.

O casco da embarcação pode ser deformado através de flexão (vertical/horizontal) ou torção, onde a estrutura possui infinitos graus de liberdade e os modos de vibração são representados através de nós, conforme a Figura 6



(a) um nó; (b) dois nós; (c) três nós

Figura 6: Modos de vibração da viga-navio

Fonte: Tupper, 2004.

O sistema propulsor de um navio é, basicamente, composto de um motor principal conectado a um propulsor através de um eixo (Figura 7).

No entanto, o eixo não é um componente simples. Geralmente, o eixo é subdividido em 3 partes: eixo do motor principal, eixo

intermediário e eixo propulsor (Figura 8), quais estão conectados por meio de flanges de acoplamento. Normalmente, as principais fontes de vibrações que ocorrem em navios são provenientes do sistema de propulsão. As forças excitantes à vibração podem vir tanto do hélice quanto do motor.

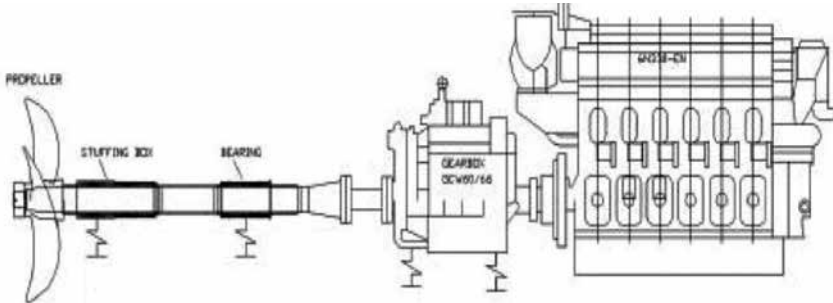


Figura 7: Sistema Propulsor

Fonte: Ruiz, 2017.

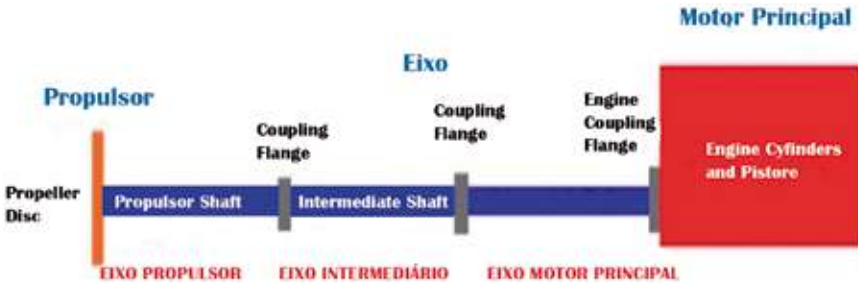


Figura 8: Partes do Eixo Propulsor

Fonte: Marine InSight, 2017.

Conforme Veritec (1985), na fase de projeto, analisa-se a frequência natural do sistema para que justamente o propulsor que venha a ser escolhido não opere em ressonância.

Durante a fase de projeto, deve-se procurar evitar que a frequência natural do propulsor coincida com a frequência natural do motor, pois isso faria com que o sistema entre em ressonância o que poderia ocasionar a quebra do eixo e outros acidentes.

3. ESTUDO DE CASO

3.1. Visão Geral

A embarcação terá propulsão própria e será construída para navegação interior. Sua estrutura contempla um casco abrigando praça de máquinas e áreas de tancagem, um convés principal, um convés superior e um tijupá com equipamentos diversos. Possui a proa lançada sem bulbo e popa com um túnel para propulsão, com espelho de popa e de proa. As principais características das UBSF são apresentadas na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1: Dimensões Principais da UBSF

Comprimento Total:	22,00 metros
Boca Máxima:	,00 metros
Pontal:	2,00 metros
Calado de projeto:	1,70 metros

Fonte: Autores, 2017.

A Figura 9 mostra o perfil longitudinal da UBSF.

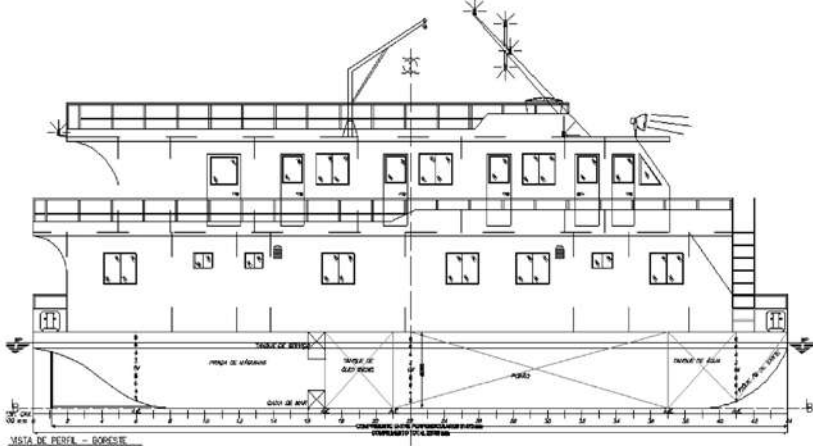


Figura 9: Vista Longitudinal da UBSF

Fonte: Ministério da Saúde, 2017.

3.2. Modelo em Elementos Finitos

A metodologia utilizada nesta dissertação consistiu em construir a geometria da estrutura em um *software* de modelagem para posterior exportação para um *software* em elementos finitos.

Com os dados referentes às principais características da embarcação e seu plano de linhas foi possível realizar a modelagem tridimensional do casco da UBSF.

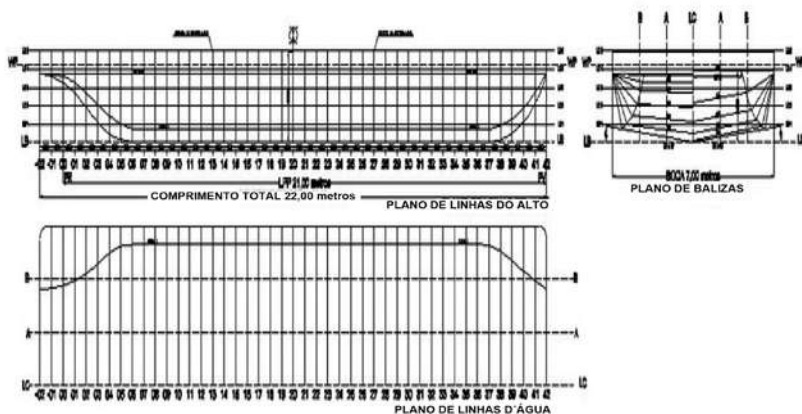


Figura 10: Plano de Linhas da UBSF

Fonte: Autores, 2017.

Dado o fato de que esta pesquisa visa avaliar uma embarcação ainda não construída, a utilização dos recursos computacionais baseados no MEF possibilita uma projeção segura no intuito de minimizar os possíveis efeitos vibro-acústicos que venham a suceder após a construção da UBSF.

3.3. Análise Modal da Embarcação

A determinação das frequências naturais da viga-navio é muito importante, pois quando as frequências naturais do motor coincidem com as frequências naturais do navio ocorre o fenômeno da ressonância. Isto pode provocar graves problemas estruturais

e desconforto para a tripulação. Depois que embarcação está construída, torna-se difícil modificar suas frequências naturais já que seria necessário alterar a rigidez da estrutura do navio ou das suas condições de carregamento.

Deste modo, a estimativa das frequências naturais de uma embarcação e do sistema propulsor que se pretende instalar ainda na fase de projeto auxilia no correto dimensionamento das estruturas da embarcação, reduz custos relacionados a manutenção, além de prover segurança e conforto.

Para a construção do modelo numérico da UBSF, considerou-se elementos estruturais como chapas, cantoneiras, bordas e jazes como elementos de casca (ou de placas). Já perfis estruturais como vigas, barras chatas e pés de carneiro como elementos de barra. Borboletas e outros apêndices foram negligenciados na análise.

Em relação às condições de contorno, o modelo consistiu na análise sob a condição de vibração livre-livre, obtendo-se suas respectivas frequências naturais sem a influência do meio fluido. Adotou-se as seguintes hipóteses simplificadoras:

- A viga é constituída por um material homogêneo;
- O carregamento é constante ao longo da viga e do tempo;
- Material apresenta comportamento linearmente elástico.

A Figura 11 mostra a geometria criada para a UBSF.

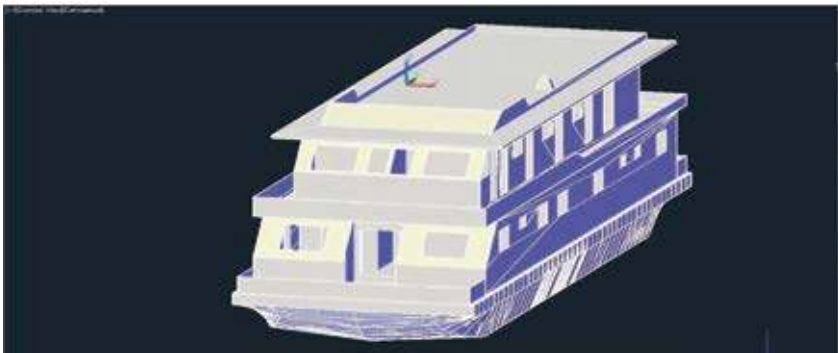


Figura 11: Geometria da UBSF em Autocad 3D

Fonte: Autores, 2017.

As Figuras 12, 13, 14 e 15 mostram os modos de vibração da UBSF.

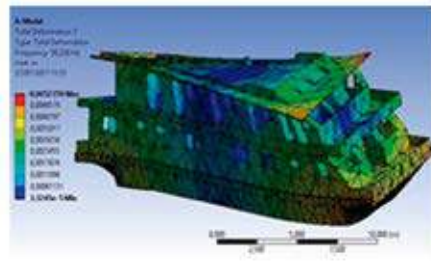


Figura 12: Modo 7

Fonte: Autores, 2017.

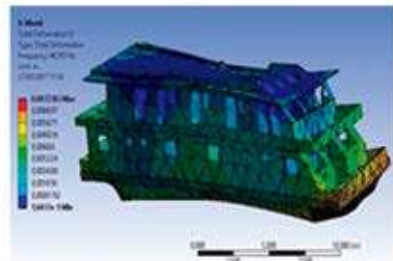


Figura 13: Modo 8

Fonte: Autores, 2017.

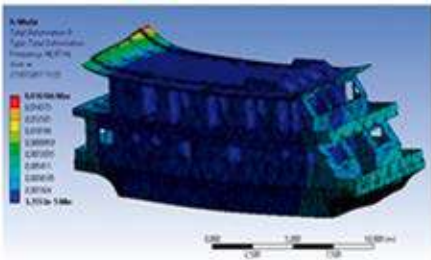


Figura 14: Modo 9

Fonte: Autores, 2017.

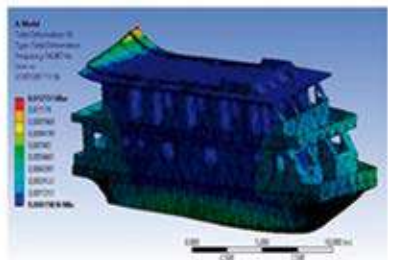


Figura 15: Modo 10

Fonte: Autores, 2017.

Castro (2016 apud MORO *et al.*, 2013) reitera que os seis primeiros modos de vibrar, a embarcação apresenta o comportamento dinâmico de corpo rígido. Nestes termos, um modelo numérico com menos de seis modos apresentaria inconsistências, não possuindo boa validação para a análise modal. Assim, análogo à análise descrita anteriormente, foram obtidos os 10 (dez) primeiros modos de vibrar da embarcação (excluindo os seis primeiros modos de vibrar de corpo rígido), cujos resultados são apresentados na Tabela 2.

Pela Tabela 2, é possível ver que os primeiros seis modos possuem valores muito próximos de zero. A partir do sétimo modo, as frequências naturais assumem valores mais altos porque são referentes aos modos não rígidos.

Tabela 2 Frequências Naturais da Embarcação (UBSF)

Modo	Frequencia
1	0
2	0
3	0
4	$1,746.10^{-3}$
5	$2,5154.10^{-3}$
6	$2,9389. 10^{-3}$
7	30,226
8	44,555
9	46,97
10	54,067

Fonte: Autores, 2017.

3.4 Análise Modal do Hélice

Para realizar a presente análise, elaborou-se o modelo numérico para a representação do hélice propulsor. Dessa forma, nesta etapa buscou-se identificar as propriedades dinâmicas do hélice e a relevância de suas excitações para as vibrações globais.

Para a construção do modelo computacional de vibração do hélice, não houve o emprego do domínio fluídico do ar. O modelo foi elaborado através do programa comercial ANSYS Workbench.

A malha do modelo foi gerada no módulo *mesh generator*, que permite que os elementos sejam escolhidos automaticamente pelo *Ansys* ou que sejam definidos pelo usuário. Aplicou-se o terceiro refinamento, que é o máximo permitido pelo programa. O modelo passou a ser composto por 13015 elementos e 23416 nós (Figura 16).

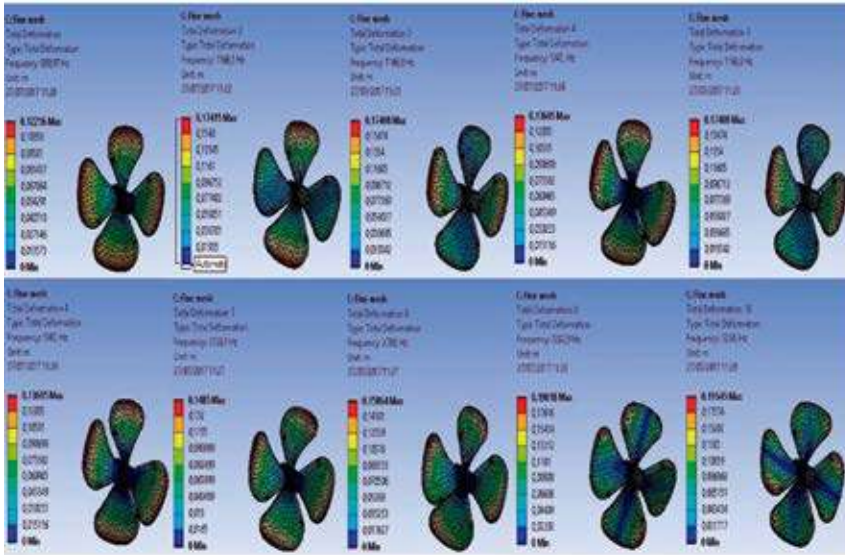


Figura 16: Modo 09- UBSF

Fonte: Autores, 2017.

A Tabela 3 mostra as frequências naturais para os modos de vibração do hélice.

Tabela 3 Frequências Naturais do Hélice (UBSF)

Modo	Frequência (HZ)
1	889,97
2	1166,5
3	1166,8
4	1343
5	1666
6	1666,8
7	2126,1
8	2788
9	3222,9
10	3224

Fonte: Autores, 2017.

3.5 Análise Modal do Eixo

A linha de eixo é uma das principais fontes de excitação da estrutura do casco. A análise modal desse elemento visa verificar se o propulsor opera em ressonância em relação a essas componentes. Outrossim, a análise desses esforços é de fundamental importância, pois mesmo não estando em ressonância, esses componentes colaboram para a ocorrência de fadiga no eixo. Na Figura 17, como se observa a malha computacional.

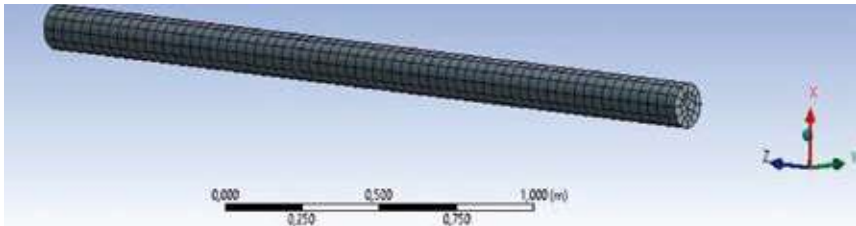


Figura 17: Malha do Eixo

Fonte: Autores, 2017.

A rotação máxima do eixo propulsor da UBSF é de 2500 rpm ou 41,66 HZ. A Tabela 4 demonstra os resultados das frequências naturais obtidas na análise numérica do eixo simplificado e as Figuras 18 a 22 mostram os respectivos modos de vibração.

Tabela 4: Propriedades Modais do Eixo

Modo	Frequência (HZ)
1	76,639
2	76,643
3	208,43
4	208,44
5	401,52
6	401,54
7	575,43
8	649,81
9	649,84
10	930,21

Fonte: Autores, 2017.

Observa-se, pelas Figuras 18 a 22, que os modos 1,2,3,4,5,6,8 e 9 são modos de flexão. Visto que, os modos 7 e 10 correspondem a modos de vibração axial ou longitudinal. Os valores apresentados na Tabela 13 mostram que existe uma proximidade de valores entre os modos 1 e 2, 3 e 4, 5 e 6, 8 e 9. Essa proximidade decorre do fato de que os modos de vibração são os mesmos, mas em direções diferentes.

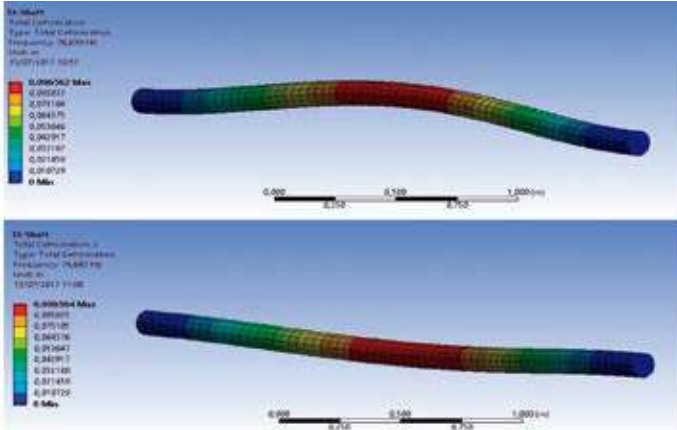


Figura 18: Modos 1 e 2 - Eixo

Fonte: Autores, 2017.

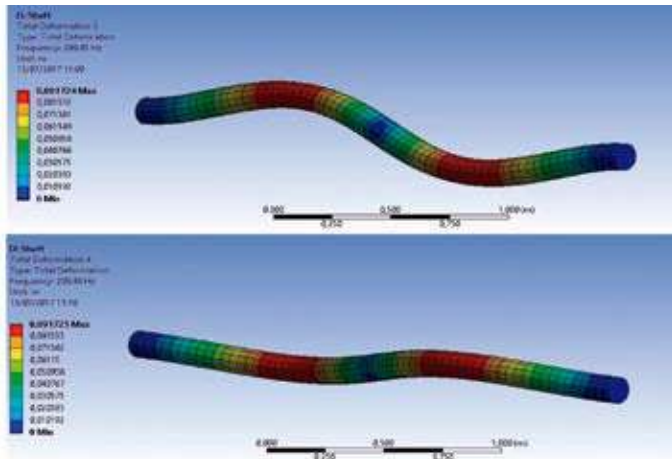


Figura 19: Modos 3 e 4 - Eixo

Fonte: Autores, 2017.

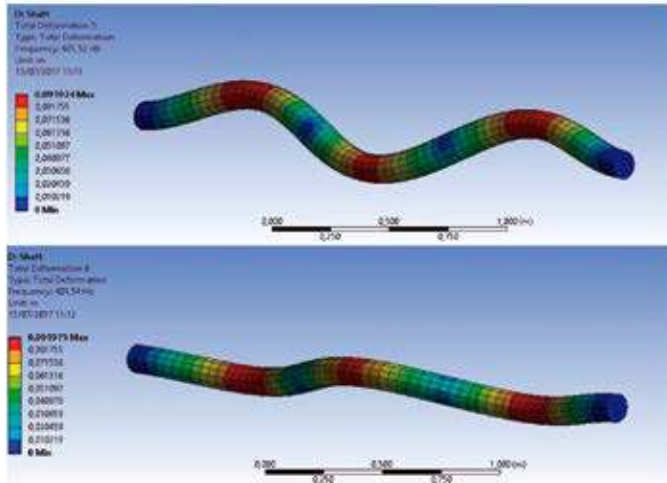


Figura 20: Modos 5 e 6 - Eixo

Fonte: Autores, 2017.

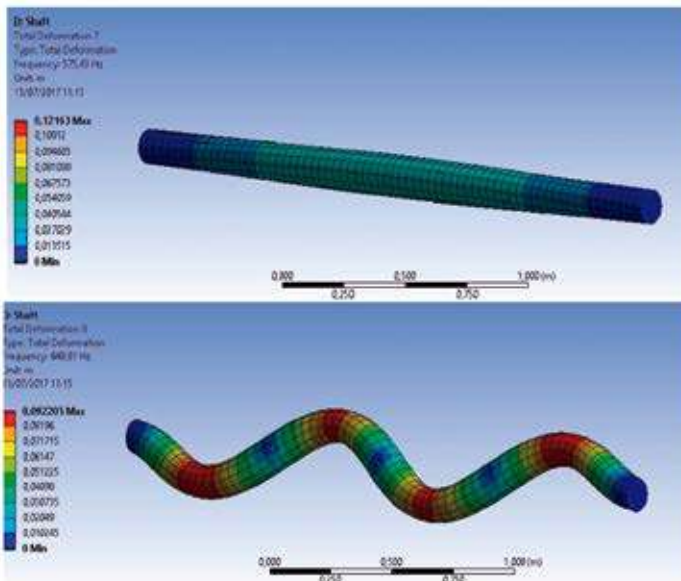


Figura 21: - Modos 7 e 8 - Eixo

Fonte: Autores, 2017.

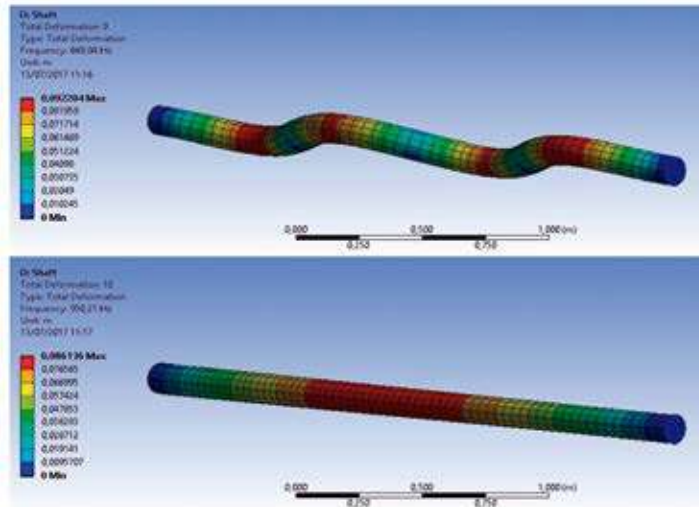


Figura 22: Modos 9 e 10 - Eixo

Fonte: Autores, 2017.

3.6. Resultados da Análise Modal

A partir da Tabela 2, 3 e 4, pode-se realizar uma comparação entre os resultados obtidos pela análise modal feita para a UBSF, hélice e eixo (Tabela 5).

Tabela 5: Comparação entre as frequências naturais da UBSF, hélice e eixo

Modo	UBSF (HZ)	Hélice (HZ)	Eixo (HZ)
1	0	889,97	22,779
2	0	1166,5	22,783
3	0	1166,8	179,37
4	$1,74 \cdot 10^{-3}$	1343	179,39

continua...

continuação Tabela 5

5	$2,51.10^{-3}$	1666	212,18
6	$2,93.10^{-3}$	1666,8	516,56
7	30,2	2126,1	516,67
8	44,6	2788	942,82
9	47	3222,9	943,08
10	54,1	3224	1350,3

Fonte: Autores, 2017.

Para verificar a correlação entre os valores das frequências da embarcação, hélice e eixo, a partir da Tabela 5, elaborou-se o gráfico, mostrado em Gráfico 1.

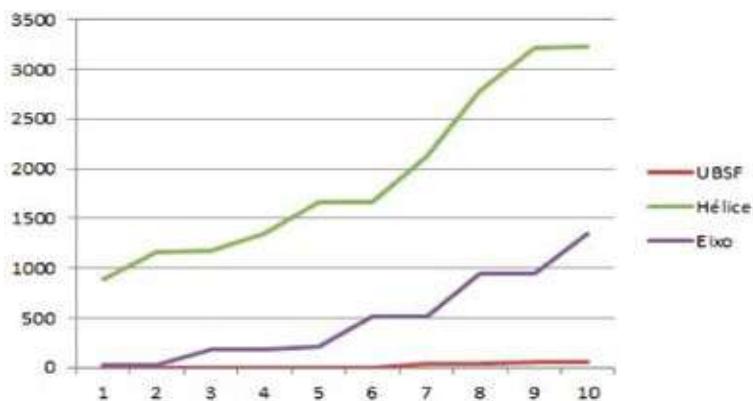


Gráfico 1 Comparação entre frequências da UBSF, eixo e hélice

Fonte: Autores, 2017.

Observa-se pelo Gráfico 1 que as maiores frequências ocorrem para o hélice. A maior proximidade entre frequências ocorre entre o eixo e a estrutura da UBSF nos primeiros modos, não chegando, no entanto, a coincidir.

Os resultados obtidos mostram que existe uma relação direta entre a rotação do motor e as frequências produzidas pelo sistema motor-eixo-propulsor.

4. CONCLUSÕES

A partir dos dados obtidos nas análises numéricas, foi possível caracterizar o comportamento modal da UBSF. A análise modal da UBSF permitiu a verificação das frequências naturais da embarcação e do sistema eixo-propulsor. Esse procedimento é bastante relevante, pois permite que sejam tomadas decisões no sentido de atenuar as excitações, como exemplo a mudança da localização do motor ou a alteração do número de pás do hélice.

Observou-se também que, pelos resultados da análise modal, que poderia ocorrer ressonância entre o hélice e o eixo nos modos 1 e 10, respectivamente. A sua relação ω/ω_n é bastante próxima à da unidade (igual a 0,95), podendo ocasionar a fadiga no eixo.

Notou-se também que as vibrações globais da UBSF, para o modo de corpo não rígido, apresentaram valores coincidentes com as frequências geradas pelo motor à baixas rotações (até 3.500 rpm). Por outro lado, as frequências naturais do eixo coincidiram com as frequências do motor quando operando em rotações mais altas (acima de 5500 rpm).

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M. T. (1990). *Vibrações mecânicas para engenheiros*. 2^a. ed. São Paulo: Blücher.
- BATHE, K. (1996). *Finite Element Procedures*. [S.l.]: Prentice Hall.
- EWINS, D. J. (2000). *Modal Testing: Theory, Practice and Application*. 2. ed. England: University of Sussex.
- FISH, J. e BELYTSCHKO, T. (2009). *Um Primeiro Curso em Elementos Finitos*. 1. ed. [S.l.]: LTC.
- HE, J. e FU, Z. (2001). *Modal analysis*. [S.l.]: Butterworth-Heinemann.
- INZUNZA, M. S. (2000). *Modal Analysis Of Ship Structures Using Finite elements method*. Journal NetI PIN.
- JOHANNESSEN, H. e SKAAR, K. T. (1980). Guidelines for Prevention of Excessive Ship Vibration. *SNAME Transactions*, v. 88, p. 319 – 356.
- KAR, S.; SARANGDHAR, D. G. e CHOPRA, G. S. (2008). *Analyses Of Ship Structures Using Ansys*. SeaTech Solutions International.

- LAKITOSH, F. (2012). *Analysis Of Ship Hull And Plate Vibrations Caused By Wave Forces. Tese (Engineering and Computer Science)*. Florida Atlantic University.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE (2008). *Manual de Estrutura Física das Unidades Básicas de Saúde*. Brasília – DF.
- MORO L. *et al.* (2013). *Hull Vibration Analysis Of River Boats*. Iquitos, Peru.
- NOONAN, E. F. (1989). *Ship Vibration Design Guide*. Washington.
- NOWACKI, H. (1970). *Ship Vibration*. Michigan.
- PRASANNA, Y. L. e RAO, A. N. (2015). *Ship Hull Structure Analysis in ANSYS. International Journal of Scientific Engineering and Technology Research*.
- REED, F. E. e BURNSIDE, O. H. (1978). *Computer Techniques for Use in Ship Hull Vibration Analysis and Design*. In: *The Society of Naval Architects and Marine Engineers - SNAME*. Arlington, Va.: [s.n.].
- SCHWARZ, B. e RICHARDSON, M. (1999). *Experimetal Modal Analysis*. CSI Reliability Week, Jamestown, California.
- TONACIO, V. C. (2014). *Avaliação de Propulsores Navais em Relação a Eficiência e Excitação de Vibração. Dissertação de Mestrado*. USP,
- TUPPER, E. C. (2004). *Introduction to Naval Architecture*. 4th. ed. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann.
- VERITEC (1985). *Vibration Control in Ships. [S.l.]*: Marine Technology Consultants.

Endereço para correspondência

- (1) Aracelli Suzane Andrade Ferreira, Rodovia Arthur Bernardes nº: 1458
Belém - Pará, E-mail: suzaneferreira_5@hotmail.com;
- (2) Newton Sure Soeiro, Universidade Federal do Pará, rua Augusto Corrêa
nº 1, Belém - Pará, E-mail: nsoeiro@ufpa.br
- (1;2) Universidade Federal do Pará - UFPA (PPGENAV), rua Augusto
Corrêa, nº 1, Campus Guamá, Belém-PA.

SOBRE Q_S
AUTORES



Prof. Me. Alan Monteiro Borges, Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Pará (2009-2013) e Mestre em Engenharia Naval pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia Naval - UFPA (2015-2017). É Professor do Magistério Superior, dedicação exclusiva, na Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará - Unifesspa, atuando na área de Engenharia dos Transportes, Linha de Pesquisa em Planejamento dos Transportes, Operação dos Transportes e Planejamento e Infraestrutura Hidroviária. Membro do Grupo de Pesquisa, Tecnologia do Ambiente Construído da Faculdade de Engenharia Civil da Unifesspa



Eng.ª Amanda Thais Santos Vieira, Engenheira de Produção pela Universidade do Estado do Pará (UEPA) e University of Newcastle, Austrália. Na academia, foi pesquisadora na área de logística e escoamento de grãos no Estado do Pará pela UEPA. Na vida profissional, já atuou nas áreas de planejamento de produção no setor de agronegócio e logística de distribuição no setor de bebidas. No presente, atua na área comercial e consultoria empresarial no setor de inflamáveis.



Eng.ª Ana Elaje Azevedo Simões da Mota, Engenheira de Produção pela Universidade do Estado do Pará - UEPA. Na academia, atuou em pesquisas na área de Logística e Supply Chain Management. Na vida profissional, atua na área de logística hidroviária e vem desenvolvendo projetos na área de navegação.



Prof. Dr. André Bergsten Mendes, Engenheiro Naval e Oceânica pela Universidade de São Paulo (1996), Mestre em Engenharia Naval e Oceânica pela Universidade de São Paulo (1999) e Doutor em Engenharia Naval e Oceânica (2007) pela mesma instituição. Entre 2013 e 2015 realizou pós-doutorado no Southampton Marine and Maritime Institute da Universidade de Southampton, Inglaterra. É professor doutor na Universidade de São Paulo, no Departamento de Engenharia Naval e Oceânica, e coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Naval e Oceânica. A área de investigação é a da pesquisa operacional aplicada ao planejamento de sistemas logísticos, incluindo as operações de transportes aquaviários, tanto na navegação interior como no apoio marítimo offshore, desenvolvendo modelos e métodos de solução de problemas de programação linear inteira, tanto métodos exatos quanto heurísticas e metaheurísticas.



Prof. Dr. André Cristiano Silva Melo, Engenheiro Mecânico, Mestre e Doutor em Engenharia de Produção pela COPPE/UFRJ. Na academia é Professor Titular da Universidade do Estado do Pará – UEPA, docente nos cursos de Engenharia de Produção e Engenharia Ambiental, e pesquisador em Logística e Supply Chain Management. Na vida profissional, além de atividades de gestão e docência em cursos de graduação e pós-graduação, vem desenvolvendo projetos e atividades de consultoria em empresas como Vale, Furnas e Bunge Alimentos.



Eng.ª Aracelli Suzane Andrade Ferreira, Engenheira Naval e Especialista em Engenharia de Suprimentos pela Faculdade Unyleya, Mestre em Engenharia Naval pela UFPA. Trabalha como Engenheira Naval e como consultora em projetos navais.



Prof. Dr. Augusto César Barreto Rocha, Graduado em Processamento de Dados pela UFAM, Especialista em Gestão da Inovação pela Universidade de Santiago de Compostela-Espanha, Mestre em Engenharia de Produção pela UFSC e Doutor em Engenharia de Transportes pela UFRJ. Possui ainda certificado em Estratégia e Inovação e Gestão & Liderança pelo Massachusetts Institute of Technology-Estados Unidos. Na UFAM é Professor Associado I e atua em programas de Mestrado e Doutorado. É coordenador do comitê de logística do Centro das Indústrias do Estado do Amazonas e diretor adjunto da mesma área na Federação da Indústria do Estado do Amazonas. Tem experiência na área de Gestão de Negócios, atuando principalmente nos seguintes temas: gestão, inovação, sistemas de informação, indicadores e logística. É autor de inúmeros artigos e capítulos de livro.



Eng.ª Bárbara Heliadora Negreiros Salomão, Engenheira de Produção pela Universidade do Estado do Pará e em pós-graduação em Gestão Empresarial pela Fundação Getúlio Vargas. Profissionalmente, atua como Supervisora de Mercado na Cervejaria Ambev.



Prof. Dr. Benedito Coutinho Neto, Engenheiro Civil e Engenheiro Sanitário, Mestre e Doutor em Engenharia Civil/Infraestrutura de Transportes pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo - EESC/USP. Professor Titular do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará - IFPA. Foi professor do curso de Engenharia Civil da Universidade da Amazônia - UNAMA, onde atuou, também como professor permanente do Programa de Mestrado em Desenvolvimento e Meio ambiente Urbano e como membro efetivo, vice coordenador e coordenador substituto do Comitê de Ética em Pesquisa. Foi Diretor de pesquisa, pós-graduação e inovação do IFPA- Campus Belém. Atualmente, é editor chefe da revista Engrenagem do IFPA - Campus Belém. Membro Titular (Representante Docente) do Conselho do Diretor do IFPA - Campus Belém. Pesquisador na área de Engenharia Civil, com ênfase em Infraestrutura de Transporte, atuando principalmente nos seguintes temas: misturas asfálticas, pavimentos flexíveis, reaproveitamento de resíduo em pavimentação viária.



Eng.ª Bruna Adriele Furtado Cordeiro, Engenheira de Produção pela Universidade do Estado do Pará e Especialista em gestão de Logística empresarial pela Faculdade Ideal - Wyden. Atuação profissional em logística, com experiência em logística agroindustrial no transporte de óleo de dendê pela Agropalma. Atualmente atua em logística urbana de distribuição de bebidas e gestão de estoque na Heineken Brasil.



Prof. Me. Bruno Duarte de Oliveira, Graduado em Administração-Comércio Exterior, Especialista em Logística Empresarial pelo CIESA, Mestre em Engenharia de Produção pela UFAM e Doutor em Administração de Empresas da UFMG. Na UFAM é Professor de ICET. Tem experiência e interesse em pesquisas nas áreas de Comércio e Exterior, Logística, Gestão de transportes, Supply Chain Management, Relacionamento entre fornecedores e compradores, Estratégias de compras (purchasing strategy), Gestão de processos empresariais e estratégicos, Maturidade das empresas e Administração Financeira.



Prof. Dr. Daniel Souto Rodrigues, Licenciado em Matemática e Ciências da Computação pela Universidade do Minho – Portugal, Mestre em Engenharia Municipal e Doutor em Engenharia Civil, ramo Planejamento e Ordenamento do Território pela Universidade do Minho – Portugal. É professor auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade do Minho – Portugal. Exerce a sua atividade docente em Sistemas Regionais e Urbanos. Como investigador Doutorado desenvolve a sua atividade no Centro de Território, Ambiente e Construção (CTAC), no grupo

de Planejamento Territorial e Governança, em particular nas áreas de Sistemas de Informação Geográfica, Análise espacial e Sistemas de Apoio à Decisão, participando em vários projetos nacionais e internacionais. É autor e co-autor de mais de 50 publicações, incluindo livros, capítulos de livros, artigos em revistas e congressos nacionais e internacionais.



MEng. Fernando Costa da Cruz, Engenheiro Naval e Mestre em Engenharia Naval na área de concentração em Análise de Processos e Sistemas Construtivos Navais, pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Naval - PPGNAV da Universidade Federal do Pará -UFPA. Realizou apresentação de artigo com o título: “Sistemas de Atenuação de Esforços Provindos de Impactos entre Barcaças de Comboios Fluviais” no 10º Seminário Internacional de Transporte e Desenvolvimento Interior, organizado pelo Sociedade Brasileira de Engenharia Naval (SOBENA), no dia 13 de setembro de 2017, na cidade de Belém do Pará. Possui experiência profissional em cargo de gerência na Diretoria de Planejamento da Infraestrutura de Transportes da Secretaria de Transportes do Estado do Pará – SETRAN/PA, adquirida no ano de 2018.



Prof. Me. Harlysson W. S. Maia, Engenheiro Naval e Professor de Construção Naval, Especialista em Ship Hydrodynamics, Ocean Engineering e Applied Coastal Oceanography pela Stevens Institute of Technology nos EUA e Mestre em Engenharia Naval, ênfase em Análise de Processos e Sistemas Construtivos (Simulação e Otimização Hidrodinâmica) pela UFPA. Na academia é Professor Assistente da UEA (Universidade Estadual do Amazonas) e Docente para Engenharia Naval. Na vida profissional, exerce diversas atividades, como concepção de projetos navais e portuários, vistorias técnicas de execução e controle de qualidade, consultorias e responsabilidade técnica por construções e reparos navais em aço, alumínio e materiais compósitos.



Prof. Dr. Heriberto Wagner Amanajás Pena, Graduado e Mestre em Economia e Doutor em Ciências Agrárias pela Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA/EMBRAPA, na linha de Agroecossistemas da Amazônia. Atualmente é Professor Adjunto da Universidade do Estado do Pará - UEPA, Coordenador do Curso de Relações Internacionais, Líder do Grupo de Pesquisa em Modelagem Ambiental, Ordenamento Territorial e Desenvolvimento Regional - MODER, Membro do Comitê de Ética em Pesquisa – CEP/CCBS, Membro do Comitê Científica Interno – CCI/UEPA, Membro do Comitê Técnico do ICMS_VERDE no estado do Pará pela UEPA.



Prof. Dr. Hito Braga de Moraes, Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Pará (1986), Especialista em Engenharia Naval pela UFRJ/UFGA (1988), Mestre em Engenharia Oceânica pela COPPE/UFRJ (1991) e Doutor em Engenharia Oceânica COPPE/UFRJ (2002) e Pós- Doutorado pela Universidade de Southampton na Inglaterra (2012). Fundador do curso de Graduação em Engenharia Naval da UFGA (2004). Atualmente é Professor Titular da Universidade Federal do Pará (UFGA). Tem experiência na área de Engenharia Naval e Oceânica, com ênfase em Projetos de Embarcações.



Prof. Dr. Humberto de Paiva Junior, Engenheiro Civil, Mestre em Engenharia Civil e Doutor em Engenharia de Transportes pela POLI/USP. Atualmente é professor de Mobilidade Urbana do Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas da UFABC. Tem experiência na área de Engenharia de Transportes, com ênfase em Economia dos Transportes, atuando principalmente nos seguintes temas: pesquisa operacional, simulação, benchmarking, análise multicriterial, indicadores de desempenho, analytic hierarchy process, data envelopment analysis, structural equations, modelagem de demanda, modelos de escolha discreta, modelagem do comportamento de usuários de sistemas de transporte, microssimulação de tráfego, avaliação de emissões GEE, resiliência urbana e sustentabilidade de sistemas de transportes.



MEng. Jaison de Moura Cardoso, Engenheiro de Produção e Oficial do Corpo de Engenheiros da Marinha do Brasil e Mestre em Engenharia Naval pela FENAV/UFGA. Atualmente, executa atividades na Base Naval Val de Cães como Gerente de Reparos Navais aplicando ferramentas e diretrizes de gerenciamento de projetos com base no Project Management Body of Knowledge (PMBOK) em reparos de navios da Marinha. Atuou no Planejamento e Controle de Produção (PCP) e na seção de manobras de navio como fiscal de empresa prestadora de serviço de rebocadores no Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro.



Prof. Me. Luiz Lourenço de Souza Neto, Engenheiro Civil, Especialista em Gestão da Produção em Empreendimentos Agroindustriais (UEPA) e em Gestão Empresarial (FGV-RJ) e Mestre em Administração com Ênfase em Finanças pela FGV-RJ. Professor de Graduação e Pós-Graduação da Faculdade Ideal (FACI | Wyden). Na vida profissional, exerce também atividade no Banco da Amazônia, tendo sido Executivo das áreas de Administração Financeira, Estratégia e Organização, Projetos Corporativos, Imagem e Comunicação e onde é atualmente Superintendente Regional do Pará e Amapá, exercendo o cargo de Gerente Executivo de Pessoa Física.



Prof.ª Dr.ª Maisa Sales Gama Tobias, Engenheira Civil e Professora de Matemática. Especialista, Mestre e Doutora em Engenharia de Transportes pela POLI/USP, Pós-doutorado em Planejamento Territorial pela Universidade do Minho - UMinho em Portugal. Atualmente, executa outro pós-doutoramento na UMinho em Engenharia Industrial e Sistemas. Na academia é Professora Titular da UFPA e Docente para Engenharia Civil e Engenharia Naval. Pesquisadora em Mobilidade Urbana e em Planejamento e Organização de Sistemas Transportes, Tráfego, Logística e Economia dos Transportes, com atuação internacional. Consultora CAPES/CNPQ e Consultora *ad hoc* do MEC/INEP. Na vida profissional, exerce diversas atividades, tendo sido Superintendente de Mobilidade Urbana de Belém, atuado na concepção do sistema BRT Belém e outros projetos de trânsito e transporte.



Prof.ª M.ª Marina Aranha de Sousa, Engenheira de Produção e Mestre em Engenharia Naval. Professora da Universidade do Estado do Amazonas. Profissionalmente, atuou na empresa CIVILLE, como encarregada de produção na empresa Lider Mercantil. Possui publicações nas áreas de gestão da produção - logística e gestão ambiental. Também, foi pesquisadora do Laboratório Conceito em Engenharia, Processos e Tecnologia - ConcEPT, da universidade do estado do Pará - UEPA e atuou como pesquisadora do grupo GEHPORT - Grupo de Pesquisas Hidrológicas, Hidroviárias e Portuárias da Amazônia.



Prof. Dr. Marcus Vinícius Guerra Seraphico de Assis Carvalho, Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Pará (1995), Mestre em Engenharia Civil, com área de concentração em transportes pela Universidade Estadual de Campinas (1999) e Doutor em Engenharia de Transportes pela Universidade de São Paulo (2006). Professor Adjunto IV da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará - UFPA. Professor do programa de Pós-graduação (Mestrado) do Curso de Engenharia Naval (UFPA). Coordenador do GRUPO DE ESTUDOS EM LOGÍSTICA E TRANSPORTES: GELT. Membro do comitê científico da revista Engrenagem (IFPA). Tem experiência na área de Engenharia de Transportes, com ênfase em Planejamento de Transportes e Infraestrutura de Transportes.



Prof.ª Dr.ª Mayra Herminia Simões Hamad Farias do Couto – Graduada em Fisioterapia pela Universidade da Amazônia (2004), com especialização pela Universidade Metodista de São Paulo em “Fisioterapia em Neurologia” (2006), especialização pela Associação de Assistência à Criança Deficiente (AACD) e Instituto da cabeça da Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP) em “Métodos de tratamento em deficiências físicas e gestão organizacional de centros de reabilitação” (2005), Mestre pela Universidade Federal do Pará (UFPA) em “Neurociências e biologia celular” (2010), Doutora pela UFPA em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido no Núcleo de Altos Estudos da Amazônia (NAEA) com a pesquisa intitulada A qualidade de vida dos usuários do transporte fluvial na Amazônia: Acessibilidade e políticas públicas. É Professor do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente Urbano (PPDMU) na Universidade da Amazônia (UNAMA).



Prof. Dr. Mounsi Said, Graduado em Engenharia Mecânica da Universidade Claude Bernard de Lyon (UCB-Lyon-France) em 1986, Mestre em Mecânica de Fluidos e Ciências Térmica da “Ecole Centrale de Lyon” (ECL-France) em 1988 e Doutor em Engenharia Mecânica do Instituto Nacional Politécnico de Grenoble (INPG-France) em 1992. Professor Associado da Universidade Federal do Pará (UFPA), Instituto de Tecnologia (ITEC), Faculdade de Engenharia Naval (FENAV). Experiência em projetos de pesquisa e ensino em Hidráulica, Mecânica de Estruturas, Dinâmica de Fluidos Computacional (CFD), Conforto Térmico em Edificações e Eficiência Energética, Interação Fluido-Estrutura (FSI) e Hidrodinâmica Naval.



M.ª Munik Holanda de Oliveira, Graduada em Ciências Náuticas pelo Centro de Instrução Almirante Braz de Aguiar (CIABA), Oficial da Marinha Mercante, Pós-Graduada em Sistemas de Operações Logísticas pela Faculdade Christus e Comércio Exterior pela UNIFOR e Mestre em Engenharia Naval pelo PPGNAV/UFPA. Atualmente exerce a carreira de Oficial da Marinha Brasileira e desempenhou funções na Capitania dos Portos da Amazônia Oriental (CPAOR) como Encarregada da Seção de Inscrição e Registro de Embarcações, Praticagem, Operações e Inquérito de Acidentes e Fatos da Navegação (IAFN), no Comando do 4º Distrito Naval exerceu a função de Assessora para Assuntos Marítimos, e na Capitania dos Portos do Ceará (CPCE) executa as funções de Chefe do Departamento de Segurança do Tráfego Aquaviário e Encarregada da Divisão de Operações e Vistorias.



Prof. Dr. Nelio Moura de Figueiredo, Engenheiro Civil, Especialista em Computação Gráfica, Mestre em Engenharia Civil e Doutor em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia. Atualmente, é Professor Associado da Faculdade de Engenharia Naval - FENAV e Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Naval - PPGENAV, da Universidade Federal do Pará. Tem experiência na Área de Engenharia Civil e Naval, com ênfase em Modelagem Hidrológica, Portos e Vias Navegáveis; Projeto e Construção de Obras de Infraestrutura Hidroviária e Portuária. Atuando principalmente em: Modelagens Hidrológica, Projetos e Obras Hidroviárias, Hidrodinâmica de Canais, Projetos e Obras de Infraestrutura Portuária, Projetos e Obras de Transporte Hidroviário.



Prof. Dr. Nelson Kuwahara, Graduado em Engenharia Mecânica pela UFPA, Mestre em Planejamento de Sistemas Energéticos pela UNICAMP e Doutor em Engenharia de Transportes pela COPPE/UFRJ. Professor Associado da Universidade Federal do Amazonas - UFAM. Coordenador do Laboratório TRANSPORTAR, Professor dos PPG's de Engenharia de Produção (PPGEP), Design (PPGD, atual coordenador do mestrado) e Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação (PPG-PROFNIT) da UFAM. Coordenou inúmeros projetos de pesquisa apoiados pelo CNPq, FINEP e FAPEAM, P&D de Empresa do PIM nas áreas de transporte, energia, tomada de decisão, projeto de produto, pesquisa operacional, etc. Foi fundador e primeiro tutor do Programa de Educação Tutorial - PET do curso de Design da UFAM.



Prof. Dr. Newton Sure Soeiro, Engenheiro Mecânico, Especialista em Metodologia de Avaliação de Impacto Ambiental, Mestre em Engenharia Mecânica, área de Projeto de Máquinas e Doutor em Engenharia Mecânica, na área de Vibração e Acústica, pela Universidade Federal de Santa Catarina (2000). Atualmente, é professor Titular da Universidade Federal do Pará, dos Cursos de Engenharia Mecânica e Engenharia Naval. Tem experiência na área de Engenharia Mecânica e Engenharia Naval, com ênfase em Projeto de Máquinas, Vibrações e Acústica e Cálculo Estrutural do Navio, atuando principalmente nos seguintes temas: métodos numéricos (elementos finitos, elementos de contorno, volumes finitos e raios acústicos), análise modal experimental, desenvolvimento de painéis acústicos com fibras regionais, medição e análise de parâmetros vibroacústicos, vibração e ruído de origem eletromagnética, caixa de engrenagem e propulsores navais.



Bel. Neydson Maccarty Silva da Silva, Graduado em Ciências Ambientais, Técnico em Fotogrametria, Geodésia e Cartografia. Na vida profissional, exerce diversas atividades, tendo experiência na área de Geoprocessamento, Elaboração de RCA, PEA, PRAD, PCA, CAR., como trabalhos técnicos em Desenvolvimento de Cadeia Produtiva do Cacau no Pará, proposta de Regionalização da Gestão dos Resíduos Sólidos no Estado do Pará e, ainda, portfólio de projetos estratégicos e elaboração de Atlas de Integração Regional..

Atuou em consultoria para o Governo do Estado do Pará, SUDAM, no Governo Federal e, ainda, no setor privado, na BRENCORP.



Prof.ª Dr.ª Nírvia Ravena - Graduada em Ciências Sociais pela Universidade Federal do Pará (1988); Mestre em Planejamento do Desenvolvimento pela Universidade Federal do Pará (1994) e Doutora em Ciência Política (Ciência Política e Sociologia) pelo Instituto Universitário de Pesquisas do Rio de Janeiro/IUPERJ (2004). É professora do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido-PPGDSTU do

Núcleo de Altos Estudos Amazônicos (NAEA) programa que coordenou no período de Novembro de 2010 a junho de 2011 . É pesquisadora do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento (INCT-PPED). Consultora do Global Environment Facility-GEF em Governabilidade da Água no projeto Gestão Integrada e Sustentável dos Recursos Hídricos Transfronteiriços da Bacia Amazônica, Considerando a Variabilidade Climática e a Mudanças Climática?



Prof. Me. Pablo Queiroz Bahia, Bacharel em Administração com Habilitação em Comércio Exterior - CESUPA; Especialista em Docência do Ensino Superior e Legislação Acadêmica-FACI/DEVRY e em Docência para Educação Profissional, Científica e Tecnológica pelo Instituto Federal do Pará (IFPA 2019) e Mestre em Economia – UNAMA-PA. Empresário e Consultor em MMN (Network Marketing), Criador da primeira Pós Graduação Presencial em MKT Multinível, Vendas Diretas e Gestão de

Negócios, presencial, do Brasil, na Faculdade Cosmopolita-PA; Avaliador “ad hoc” Mec/INEP; Consultor Empresarial: Administração e Logística; Auditor Líder em Qualidade; Professor Concursado IFPA EBTT – DE: Bragança-Pará. Presidente da CPA IFPA – Campus Bragança 2017-2020/ Portaria: N.312/2017 de 07/11/2017. Revisor de Periódicos e Eventos Científicos: SEGET Pesquisador vinculado ao CNPQ Grupo MODER: Modelagem, Ordenamento Territorial e Desenvolvimento Regional.



MEng. Paulo Cezar de Azevedo Junior, Engenheiro Naval e Oceânico pela Universidade de São Paulo, Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Amazonas e MBA em Shipping pela Hamburg School of Business Administration, Alemanha. Fundou a Aveiro Engenharia Naval, pequena empresa de projetos focada na região norte brasileira. Foi engenheiro no estaleiro Bertolini Construção Naval e coordenador de projetos da Hidrovias do Brasil S.A. junto aos estaleiros Rio Maguari (Belém) e Erin (Manaus). Participou da estruturação do curso de Engenharia Naval da Universidade do Estado do Amazonas, onde também foi professor. É atualmente editor-chefe do website MaritimeSouth.com, especializado no mercado marítimo da América Latina. Seus interesses acadêmicos se concentram em Economia & Finanças Marítimas, Logística, Construção Naval e Transporte Sustentável.



MEng. Paulo Rômulo Lima de Matos, Graduado pela primeira turma do ISB do curso de Ciências: Matemática e Física, Especialista em Gestão de Pessoas e Mestre em Engenharia de Produção pela UFAM. Técnico Administrativo em Educação. Coordenador Administrativo do Instituto de Saúde e Biotecnologia de Coari - ISB/UFAM.



Prof. Dr. Paulo Sérgio Lima Pereira Afonso, Economista, Mestre em Engenharia Industrial (Especialização em Avaliação e Gestão de Projetos e da Inovação) e PhD em Contabilidade Gerencial pela Manchester Business School - Universidade de Manchester - Reino Unido. Professor no Departamento de Produção e Sistemas da Universidade do Minho - PT, Diretor do Mestrado em Engenharia de Sistemas, Coordenador do Grupo Disciplinar de Análise Econômica de Sistemas - SEA. Coordenador do Grupo de Investigação em Cadeia de Suprimentos, Logística e Sistemas de Transporte (SLOTS). Pesquisador da Universidade do Minho, Portugal, com foco em Contabilidade e Controle de Gestão e também em Análise Estratégica e Modelagem de Negócios. Pesquisador integrado no Centro Algoritmi (CAI) - Universidade do Minho, linha de pesquisa em Engenharia e Gestão Industrial (IEM) e Grupo de pesquisa SLOTS.



MEnga. Priscila Pereira Palitot, Engenheira Civil e Mestre em Engenharia Naval pela Universidade federal do Pará-UFPA, com atuação profissional e de pesquisa em Transporte Aquaviária e, ainda, em Engenharia Civil na área de Construção civil e Projetos.



Prof. Dr. Robert Carvalho de Azevedo David, Graduado em Geografia pela Universidade Federal do Amazonas, Especialista em Metodologia do Ensino Superior pela Faculdade Montenegro (Bahia), Mestre em Geografia e Doutor em Sociedade e cultura na Amazônia (UFAM), faz parte do Núcleo de Estudos e Pesquisas das Cidades da Amazônia Brasileira (NEPECAB). Tem experiência na área de Geografia, com ênfase em Geografia humana, atuando principalmente nos seguintes temas: geografia, transporte, Amazônia, Educação e Meio Ambiente.



Prof. Dr. Rui António Rodrigues Ramos, Licenciado em Engenharia Civil pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Mestre em Estruturas de Engenharia Civil e Doutor em Engenharia Civil pela Universidade do Minho. Professor Associado de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da UMinho, Portugal, onde iniciou as suas funções em 1993 como Docente e Investigador. A sua atividade de I&D é no domínio dos Transportes e Mobilidade e em Planeamento Regional e Urbano no Centro de Território, Ambiente e Construção, em que coordena o grupo de Planeamento Territorial e Governança. É autor e co autor de mais de uma centena de publicações internacionais e nacionais e já orientou com sucesso 10 alunos de Doutoramento e múltiplos alunos de Mestrado. Mantém colaborações com as Universidades de São Paulo, da Amazônia, Federal de São Carlos e Federal do Pará, no Brasil.



Prof. Dr. Rui Carlos Botter, Graduado em Eng. Naval-USP(1980) e em Direito - Faculdades Metropolitanas Unidas (1981), Mestre em Engenharia Naval e Oceânica pela Universidade de São Paulo (1985) e Doutor em Engenharia Naval e Oceânica pela Universidade de São Paulo (1992), livre-docência em Transportes Marítimo e Fluvial, Planejamento Portuário e Logística (2002) e em outubro de 2006 por meio de Concurso Público tornou-se Professor Titular da EPUSP na área de Transportes e Logística. Atualmente é pesquisador da Universidade de São Paulo e bolsista CNPq a partir de 2013 em Desenvolvimento Tecnológico e Industrial - DTI-A, Ex-Presidente do Instituto Panamericano de Engenharia Naval para a gestão 2006/2007, Professor de cursos de atualização/especialização da USP, professor no PNV-EPUSP, membro acadêmico convidado da Diretoria de Infraestrutura da FIESP entre 2014 e 2016. Tem experiência na área de Engenharia Naval e Oceânica, com ênfase em logística, simulação, transporte marítimo, sistemas portuários, atuando principalmente nos seguintes temas: Modelagem de Sistemas Logísticos Complexos, Planejamento e Gestão de Sistemas Logísticos.



Me. Tiago Novaes Mathias, Graduação em computação pela Universidade Presbiteriana Mackenzie, Especialista em Supply Chain pelo MIT – Massachusetts Institute of Technology – EUA e Mestre em Engenharia de Sistemas Logísticos pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Brasil e Doutorando em Engenharia pela Universidade Kyushu – Japão,



Prof. Me. Yuri Victor Remígio Guedes, Graduação em Engenharia Naval pela Universidade Federal do Pará (UFPA), Mestre Tecnologia Naval pela UFPA. Na academia é Professor Assistente da UFPA e Docente para Engenharia Naval. Pesquisador em Arquitetura Naval e Dinâmica de Fluidos Computacional. Profissionalmente, exerce atividades na área de projeto portuário, projetos de embarcações, tendo sido consultor no Plano Nacional de Logística Portuária pela FEESC, dentre outros serviços de consultoria relativos a projeto, construção e operação de embarcações e sistemas flutuantes.

AUTOR DO PREFÁCIO



Bacharel Eduardo Lobato Carvalho, Ecomista, Especialista em Gestão de Negócios com ênfase em logística pela Fundação Dom Cabral, empresário, armador, Presidente do Grupo Mega Logística, que atua na Navegação Interior e apoio portuário, operações portuárias de graneis sólidos, mineração, locação de máquinas e equipamentos e construção naval. Foi Presidente e é o atual Vice-Presidente do SINDARPA - Sindicato das Empresas de navegação, Fluvial e Lacustre e das Agências de Navegação do Estado do Pará. Foi Vice - Presidente da FENAVEGA – Federação Nacional das Empresas de Navegação Marítima, Fluvial, Lacustre e de Tráfego Portuário. Atua como Conselheiro Empresa CDP - Companhia Docas do Pará Conselho de Autoridades Portarias e da FIEPA - Federação das Indústrias do Estado do Pará, no Conselho Temático Permanente de Infra-Estrutura. Possui premiações como: as Medalhas de Ouro e de Prata da FIDALMAR , Federacion Internacional de Ligas y Asociaciones Marítimas y Navales; Medalha Mérito Naval; Medalha Mérito Tamandaré; do Mérito Legislativo NEWTON MIRANDA; Medalha Amigos da Marinha; Confrade Emérito – Confraria dos Velhos Marinheiros em 29 de Agosto de 1998. É Presidente da ABANI.- Associação Brasileira dos Armadores de Navegação Interior. Na vida profissional, realizou Congressos, Simpósios e Feiras de Logística, proferiu várias palestras sobre o tema de logística, na ESCOLA DE GUERRA NAVAL, CNT, TRANS E FITRAN, INTERMODAL SOUTH AMERICA, AQUATRANS, SOBENA, SOAMAR BRASIL e em instituições de ensino

AUTORES

Alan Monteiro Borges
Amanda Thais Santos Vieira
Ana Elaje Azevedo Simões da Mota
André Cristiano Silva Melo
Aracelli Suzane Andrade Ferreira
Augusto César Barreto Rocha
Bárbara Heliodora Negreiros Salomão
Benedito Coutinho Neto
Bruna Adriele Furtado Cordeiro
Bruno Duarte de Oliveira
Daniel Souto Rodrigues
Fernando Costa da Cruz
Harlysson Wheiny Silva Maia
Heriberto Amanajás Pena
Hito Braga de Moraes
Humberto de Paiva Junior
Jaison de Moura Cardoso
Jose Teixeira de Araújo Neto Santos
Luiz Lourenço de Souza Neto
Maise Sales Gama Tobias
Marina Aranha de Sousa
Marcus Vinícius Guerra Seraphico de Assis Carvalho
Mayra Hermínia Simões Hamad Farias do Couto
Mounisf Said
Munik Holanda de Oliveira
Nelio Moura de Figueiredo
Nelson Kuwahara
Newton Sure Soeiro
Neydson Maccarty Silva da Silva
Nírvia Ravena
Pablo Queiroz Bahia
Paulo Rômulo Lima de Matos
Paulo Sérgio Lima Pereira Afonso
Priscila Pereira Palitot
Rafael Lima Medeiros
Robert Carvalho de Azevedo David
Rui Antônio Rodrigues Ramos
Rui Carlos Botter
Tiago Novaes Mathias
Yuri Victor Remígio Guedes