



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA NAVAL**

ALPHONSE HOUNSOUNOU

**ANÁLISE DE VIABILIDADE LOGÍSTICA PORTUÁRIA: ESTUDO DE CASO DO
PORTO AUTÔNOMO DE COTONOU (BENIM)**

**Belém/PA
Julho/2021**

ALPHONSE HOUNSOUNOU

**ANÁLISE DE VIABILIDADE LOGÍSTICA PORTUÁRIA: ESTUDO DE CASO DO
PORTO AUTÔNOMO DE COTONOU (BENIM)**

Dissertação de Mestrado submetida ao Corpo Docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Naval da Universidade Federal do Pará, como requisito final para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Naval.

Área de Concentração: Transporte Aquaviário

Orientador: Prof. Dr. **Hito Braga de Moraes**

Coorientador: Prof. Dr. **Maamar El Robrini**

Belém/PA

Julho/2021

FICHA CATALOGRÁFICA

Hounsounou, Alphonse.

Análise de viabilidade logística portuária: Estudo de caso do Porto Autônomo de Cotonou (Benim) / Alphonse Hounsounou -; Orientador - Prof. Dr. **Hito Braga de Moraes** - Coorientador - Prof. Dr. **Maamar El Robrini** – Belém, 2021

Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Pará, Belém, 2021.

Orientação do Prof. Dr. **Hito Braga de Moraes**

Coorientação do Prof. Dr. **Maamar El Robrini**

1. Viabilidade Logística Portuária. 2 África ocidental. 3 AHP. 4 Lógica *Fuzzy*. 5 Porto Autônomo de Cotonou

ALPHONSE HOUNSOUNOU

ANÁLISE DE VIABILIDADE LOGÍSTICA PORTUÁRIA: ESTUDO DE CASO DO
PORTO AUTÔNOMO DE COTONOU (BENIM)

Dissertação de mestrado submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Naval do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de mestre em engenharia naval.

Belém-PA, julho de 2021.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. **Hito Braga de Moraes**

Coorientador: Prof. Dr. **Maamar El Robrini**

Membro: Prof. Dr. **Marcus Vinicius Guerra Seraphico de Assis**

Membro: Prof. Dr. **Nélio Moura de Figueiredo**

RESUMO

O Porto Autônomo de Cotonou (PAC) contribui em grande parte na economia do país através das receitas alfandegárias e tributárias, a formação do Produto Interno Bruto (PIB) e também no comércio internacional. Este porto representa uma porta de entrada e de saída das cargas para os países sem fachadas marítimas especificamente: Níger, Mali e Burkina-Faso e Chade. Para entender melhor a caracterização do PAC atual, foram apresentados, a partir da pesquisa bibliográfica realizada, o sistema portuário, as principais cargas (importação e exportação), os países de origem e de destino, o modelo de custo do transporte de cargas, as classificações dos produtos, as variações e valores, a logística operacional das cargas, e as caracterizações dos portos vizinhos (números de berços, profundidades e número médio dos navios recebidos por ano). Esta dissertação tem como objetivo realizar análise de viabilidade logística do PAC. Foram aplicados os métodos da lógica *Fuzzy* e do AHP para realização deste objetivo. Quatro variáveis de entrada (qualidade das infraestruturas e dos serviços, produtividade dos equipamentos e custo logística das cargas) foram modelados no MATLAB Toolbox com a característica de mamdani (inferência *fuzzy*), buscando uma saída de longo prazo. Os resultados da lógica fuzzy mostram que as variáveis infraestruturais e equipamentos portuários influenciam a saída, a viabilidade logística do PAC é para longo prazo, com 22 anos. Com o resultado do AHP, o critério de infraestruturas portuárias é mais importante, seguido do critério equipamento portuário. Mostrando as importâncias de cada critério de viabilidade logística portuária (infraestrutura, serviço, equipamento, custo), a alternância viabilidade logística de longo prazo é preferível, com 47% da prioridade total, seguido de médio prazo e de curto prazo. Em ambos os métodos, para uma viabilidade logística portuária de longo prazo, é preferível investir mais nas infraestruturas e nos equipamentos modernos e de qualidade.

Palavras-chave: Viabilidade Logística Portuária. África ocidental. AHP. Lógica *Fuzzy*. Porto Autônomo de Cotonou.

ABSTRACT

The Autonomous Port of Cotonou (PAC) contributes largely in the economy of the country through customs and tax revenues, the formation of the Gross Domestic Product (GDP) and also in international trade. This port represents an entry and exit gateway for cargoes to the countries without sea fronts specifically: Niger, Mali and Burkina-Faso and Chad. To better understand the characterization of the current PAC, the port system, the main cargoes (import and export), the countries of origin and destination, cost model of cargo transportation, product classifications, variations and values, operational logistics of cargoes, characterizations of neighboring ports (numbers of berths, depths and the average number of ships received per year) were presented from the literature research realized. This dissertation aims to perform logistic viability analysis of PAC. The methods of Fuzzy Logic and AHP were applied to achieve this goal. Four input variables (quality of infrastructure and services, equipment productivity, and logistic cost of goods) were modeled in MATLAB Toolbox with the Mamdani feature (fuzzy inference), seeking a long-term output. It was shown in the fuzzy logic result that the variables port infrastructure and equipment influence the output, PAC's logistic viability is for the long term, with 22 years. With the result of AHP, the port infrastructure criterion is more important, followed by the port equipment criterion. Showing the importance of each port logistics viability criterion (infrastructure, service, equipment, cost), the alternative long-term logistics viability is preferable, with 47% of the total priority, followed by medium-term and short-term. In both methods, for long-term port logistics viability, it is preferable to invest more in modern and quality infrastructure and equipment.

Keywords: Port Logistic Viability. Fuzzy logic. AHP. Autonomous Port of Cotonou (PAC). West Africa.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de Localização do Porto de Cotonou (Benim), mostrando o continente Africano (cinza), Benim (Amarelo), Cotonou (verde) e porto	16
Figura 2 Fluxograma do trabalho.....	19
Figura 3 Lógica Clássica (a); Lógica Fuzzy (b).....	26
Figura 4 (a) função de pertinência triangular. (b): função de pertinência trapezoidal (c): função de pertinência gaussiana.....	29
Figura 5 Estrutura de AHP.....	34
Figura 6 Sistema de inferência fuzzy.....	41
Figura 7 Mapa do PAC, mostrando a localização dos diversos terminais, e áreas de armazenagens.....	43
Figura 8 Mapa do PAC mostrando a localização dos berços	43
Figura 9 Mapa do PAC mostrando as obras de expansão no Oeste em azul e preto no leste e oeste e os terminais e área da logística, até o ano de 2023.....	44
Figura 10 Mapa do Plano Geral do PAC até o ano de 2023, mostrando os terminais, área da logística	45
Figura 11 Linhas marítimas que têm conexão com a África ocidental, mostrando as principais rotas marítimos em Azul.....	49
Figura 12 Rotas marítimas entre os portos da China e da África ocidental.....	49
Figura 13a Atores da área portuária.....	55
Figura 13b Trânsito para <i>Interland</i>	56
Figura 14 Estatísticas anuais do PAC entre 2000 e 2019, em tonelagem, mostrando as importações(azul), exportações (laranja), transbordo (amarelo) e totais (preto) ..	57
Figura 15a Estrutura da lógica fuzzy com as variáveis de entrada (amarelo): qualidade das infraestruturas, produtividade dos equipamentos, qualidade dos serviços, custos logísticos e variável de saída (azul) (Figura elaborada no MATLAB)	64
Figura 15b Variável da qualidade de infraestruturas (elaborada no MATLAB).....	64
Figura 15c Variável da produtividade de equipamentos (elaborada no MATLAB) ..	65
Figura 15d Variável da qualidade de serviços (elaborada no MATLAB)	66

Figura 15e Variável do custo logístico das cargas (Elaborada no MATLAB)	66
Figura 15f Método de inferência <i>fuzzy</i>	67
Figura 15g Variável de viabilidade logística (Elaborada no MATLAB)	68
Figura 16a Regra 1 (Elaborada no MATLAB).....	69
Figura 16b Regra 10 (Elaborada no MATLAB).....	69
Figura 16c Regra 3 (Elaborada no Matlab)	70
Figura 16d Regra 4 (Elaborada no Matlab)	70
Figura 17 Estrutura dos critérios na hierarquia do AHP	72

LISTA DOS GRÁFICOS

Gráfico 1 Comércio das cargas do PAC (bilhões de \$US) no período de 2005 – 2018	46
Gráfico 2 Repartição dos produtos exportados em 2018	47
Gráfico 3 Os 5 primeiros clientes do PAC em 2018	47
Gráfico 4 Top 10 de conectividade bilateral com o PAC	48
Gráfico 5 Movimentação total de cargas (importação, exportação e transbordo) no Porto de Lomé, no período de 2012 e 2019.....	58
Gráfico 6 Movimentações de contêineres em TEU de 2017 entre os portos vizinhos.	59
Gráfico 7 Trânsito pelos portos da África ocidental mostrando posições dos anos 2016 (Azul), 2017(Laranja) e de 2018 (Cinza).	59
Gráfico 8 Comparação de movimentação total (importação, exportação e transbordo) entre Cotonou (Benim) e Lomé (Togo) em 2017, 2018 e 2019.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Distância (km e hrs) entre o PAC e Niamey (Níger), Fada-N'gourma (Burkina Fasso) e Ansongo (Mali).....	17
Tabela 2 Escala Fundamental julgamento de Saaty (1980).	35
Tabela 3 Matriz de julgamento.....	36
Tabela 4 tabela de índices de consistência aleatória.....	39
Tabela 5 Base de regras.....	40
Tabela 6 Características do Porto de Cotonou e da África ocidental.....	61
Tabela 7 Variáveis linguísticas, universo de avaliação, termos linguísticos	63
Tabela 8 Matriz de Julgamento dos critérios.....	73
Tabela 9 Matriz normalizada.....	73
Tabela 10 Pesos da matriz	74
Tabela 11 Lambda máxima, CI e CR.....	74
Tabela 12a Escala para critério de infraestruturas.....	75
Tabela 13b Escala para critério de serviços portuários	75
Tabela 13c Escala para critério de equipamentos portuários	75
Tabela 13d Escala para critério de custo logístico.....	76
Tabela 13e As alternativas	76
Tabela 13f Alternativas normalizadas.....	76

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP	Processo Hierárquico Analítico
APA	Fundação African <i>Ports Award</i>
CEDEAO	Comunidade Econômica dos países na África Ocidental
FAHP	Processo Hierárquico Analítico <i>Fuzzy</i>
GT	Tonelagem Bruta
GRT	Tonelagem Bruto Registrado
INSAE	Instituto Nacional de Estatística e Análise Econômica
ODAMPA	Agência Beninense de Movimentação Portuária
PAC	Porto Autônomo de Cotonou
PAI	Porto de Antuérpia Internacional
PIB	Produto Interno Bruto
SMTC	Empresa de Movimentação de Terminais de Contêineres
SOBEMAP	Empresa Beninense de Manuseio de Portuários
SONATRAC	Empresa Nacional de Trânsito e Consignação
SOTRACOB	Empresa de Trânsito e Consignação de Benim.
UEMOA	União Econômica e Monetária do Oeste Africano
UNCTAD	Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	14
1.1.	ASPECTOS GERAIS DO PROBLEMA.....	14
1.2.	MOTIVAÇÃO.....	17
1.3.	OBJETIVOS	18
1.3.1.	<i>Geral.....</i>	18
1.3.2.	<i>Específicos</i>	18
1.4.	HIPÓTESES DA PESQUISA.....	18
1.5.	ESTRUTURA DO TRABALHO	18
1.6.	FLUXOGRAMA DO TRABALHO	19
2.	REVISÃO DA LITERATURA	21
2.1.	LÓGICA <i>FUZZY</i>	24
2.1.1.	<i>Sistema Baseado em Regras Fuzzy.....</i>	26
2.1.1.1.	Variável linguística.....	27
2.1.1.2.	Módulo de fuzzificação	27
2.1.1.3.	Módulo da base de regras.....	27
2.1.1.4.	Módulo de inferência fuzzy.....	27
2.1.1.5.	Método de inferência de Mamdani	28
2.1.1.6.	Módulo de defuzzificação	28
2.1.1.7.	Funções de pertinência <i>fuzzy</i>	28
2.2.	PROCESSO HIERÁRQUICO ANALÍTICO (AHP).....	30
3.	METODOLOGIA DA PESQUISA.....	33
3.1.	MÉTODO AHP	33
3.2.	MÉTODO FUZZY	39
4.	PORTO AUTÔNOMO DE COTONOU (PAC).....	42
4.1.	SITUAÇÃO ATUAL DO PAC	42
4.2.	SITUAÇÃO FUTURA (PROJETO DE EXPANSÃO E DE DRAGAGEM).....	44
4.3.	DEMANDA DE CARGAS (TIPOS, QUANTIDADE, ORIGEM E DESTINO) E PRINCIPAIS ROTAS MARÍTIMAS.	45
4.4.	MODELO DE CUSTO DE TRANSPORTE MARÍTIMO NO PAC.....	50
5.	INSERÇÃO DO PAC NA ÁFRICA OCIDENTAL.....	54

5.1.	A LOGÍSTICA DE TRANSPORTE NO PAC.....	54
5.2.	COMPETIÇÃO PORTUÁRIA NA ÁFRICA OCIDENTAL.....	57
6.	RESULTADOS.....	62
6.1.	LÓGICA FUZZY	62
6.2.	AHP.....	72
6.2.1.	<i>Estruturação dos critérios na hierarquia do AHP.....</i>	<i>72</i>
6.2.2.	<i>Coleta de julgamento dos critérios, cálculo das prioridades e consistência.....</i>	<i>72</i>
6.2.3.	<i>Cálculo das prioridades e consistência dos critérios</i>	<i>73</i>
6.2.4.	<i>Escala de classificação dos critérios</i>	<i>75</i>
7.	DISCUSSÃO	78
8.	CONCLUSÃO	81
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	83

1. INTRODUÇÃO

1.1. ASPECTOS GERAIS DO PROBLEMA

O Porto Autônomo de Cotonou (PAC) representa uma porta de entrada e de saída das cargas para os países sem fachadas marítimas especificamente: Níger, Mali e Burkina-Faso e Chade. Por isso, foi classificado o melhor porto de trânsito entre os 29 portos selecionados no Oeste e Centro da África (*FUNDAÇÃO AFRICAN PORTS AWARD*, APA, 2019). Com o aumento do comércio marítimo e da tecnologia, as embarcações estão se tornando cada vez maiores (tais como os Suezmax de 17 m calado, Pós-Panamax de 15,2 m e uma capacidade de 13000 TEU, Capesize com 18,91 m, Chinamax 24 m, Malaccamax 20,5 m) e mais modernas. Com infraestruturas e equipamentos atuais, profundidade de 10 m a 15 m no porto, 15 m de profundidade no canal de acesso, o PAC não está preparado ainda para receber este tipo de navios e pode perder a sua posição de melhor porto de trânsito diante do cenário atual no qual mais de 50% de suas movimentações anuais são destinados aos países sem fachada marítimo como Níger, Burkina-Faso, Mali e Chade.

O PAC dispõe de qualidades enormes (situação geográfica, distância entre *Interland*, reabilitação ferroviária etc.) que podem ser utilizadas em favor de seu crescimento, bem como representa um porto de trânsito por excelência, oferecendo muitas oportunidades para as economias regionais e da África Ocidental, em particular (Joris Thys, 2019). Este porto está localizado a uma distância estratégica (o mais perto do Níger, Mali, Burkina-Faso, norte da Nigéria), representando uma porta preferencial para estes países. O PAC é ainda um porto atraente, competitivo, um destino confiável, garante segurança, proteção, torna o relacionamento de proximidade com seus clientes. Com a sua situação geográfica privilegiada em 2018, 49% da movimentação total do PAC registrada foi destinada aos países sem litoral, o Níger sozinho pesa 37%.

A existência do PAC depende dos países de influência que favorecem os serviços do porto para alcançar o mercado internacional. A concorrência existente entre os principais portos da África Ocidental: de Lomé (Togo), de Lagos (Nigéria), de Gana (Tema), de Abidjan (Costa do Marfim), de Dakar (Senegal), de Cotonou

(Benim), influencia o seu desempenho. Este último está ligado com infraestruturas ferroviárias (uma parte está sendo reabilitada, já a outra está sendo construída), e rodoviárias ativas que o conectam facilmente com outros países sem litoral. Isto representa uma grande vantagem que pode facilitar a transferência das cargas.

Para impulsionar sua rentabilidade, aproveitar o enorme potencial geoestratégico e mobilizar os colossais recursos necessários para sua modernização, o governo da República do Benim optou pela Parceria Público-Privada (PPP), delegando a gestão do Porto Autônomo de Cotonou ao Porto de Antuérpia Internacional (PAI). Uma subsidiária do Porto Belga de Antuérpia, o segundo maior porto da Europa atrás de Roterdã. O contrato de delegação de gestão assinado em 8 de janeiro de 2018, enfoca três áreas estratégicas: a modernização de instalações e de equipamentos, reposicionamento e transferência de habilidades para o pessoal local. Isto justifica a presença de uma equipe de especialistas do porto de Antuérpia na nova administração do Porto Autônomo de Cotonou.

Localização da área de estudo.

A área de estudo localiza-se no Benim, país da região ocidental da África, no extremo sul de Cotonou ($6^{\circ}23'48''S/2^{\circ}25'33''W$, Benim). O porto de Cotonou fica a 115 km do porto de Lagos (Nigéria) e a 135 km do porto de Lomé (Togo).

O *hinterland* ou área de influência continental compreende a região ocidental da África, sobretudo os países sem litoral (Burkina, Mali, Níger e Chade). O porto e as infraestruturas rodoviárias do Benim são utilizados para o transporte de mercadorias para estes países (Tabela 1).

Tabela 1 Distância (km e hrs) entre o PAC e Niamey (Níger), Fada-N'gourma (Burkina Fasso) e Ansongo (Mali)

Fim de corredor	Niamey (Níger)		Fada-N'gourma (Burkina Fasso)		Ansongo (Mali)	
Início de corredor	Comprimento (km)	Horário médio (Hrs)	Comprimento (km)	Horário médio (Hrs)	Comprimento (km)	Horário médio (Hrs)
	1181	19h11	1013	16h18	1514	23h48
Cotonou (Benim)	1058	18h52	801	14h44	1417	23h30
	1018	16h09	790	13h	1362	21h

Fonte: Léandre, 2004

1.2. MOTIVAÇÃO

Esta dissertação de mestrado é inspirada na importância do PAC no âmbito da economia do Benim. Este porto contribui em grande parte na economia do país através das receitas alfandegárias e tributárias, a formação do Produto Interno Bruto (PIB) e também no comércio internacional. O PAC participa em 90% do comércio exterior, gera até 60% do Produto Interno Bruto (PIB), contribui com até 80% para a mobilização das receitas aduaneiras e entre 45% a 50% das receitas fiscais. Isto explica que o PAC é o principal pulmão da economia nacional, que a economia da República do Benim tem uma base fundamental no seu porto, pois, é o único que aumenta a receita aduaneira do país, (www.portcotonou.com).

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Geral

Realizar a análise de viabilidade logística do PAC no Benim para África Ocidental.

1.3.2. Específicos

- Descrever o sistema portuário do Benim atual;
- Examinar as principais cargas (importação e exportação), os países de origem e de destino;
- Estudar o modelo de custo do transporte de cargas;
- Analisar a viabilidade logística do porto usando os métodos da Lógica *Fuzzy* e do AHP.

1.4. HIPÓTESES DA PESQUISA

Hipótese 1- A produtividade baixa do PAC está relacionada com as infraestruturas portuárias.

Hipótese 2- A reestruturação física e operacional do Porto Autônomo de Cotonou aumentará a sua competitividade no âmbito da CEDEAO (Comunidade Econômica Dos Estados da África Ocidental), com impacto positivo na economia do Benim.

1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho foi estruturado da seguinte forma:

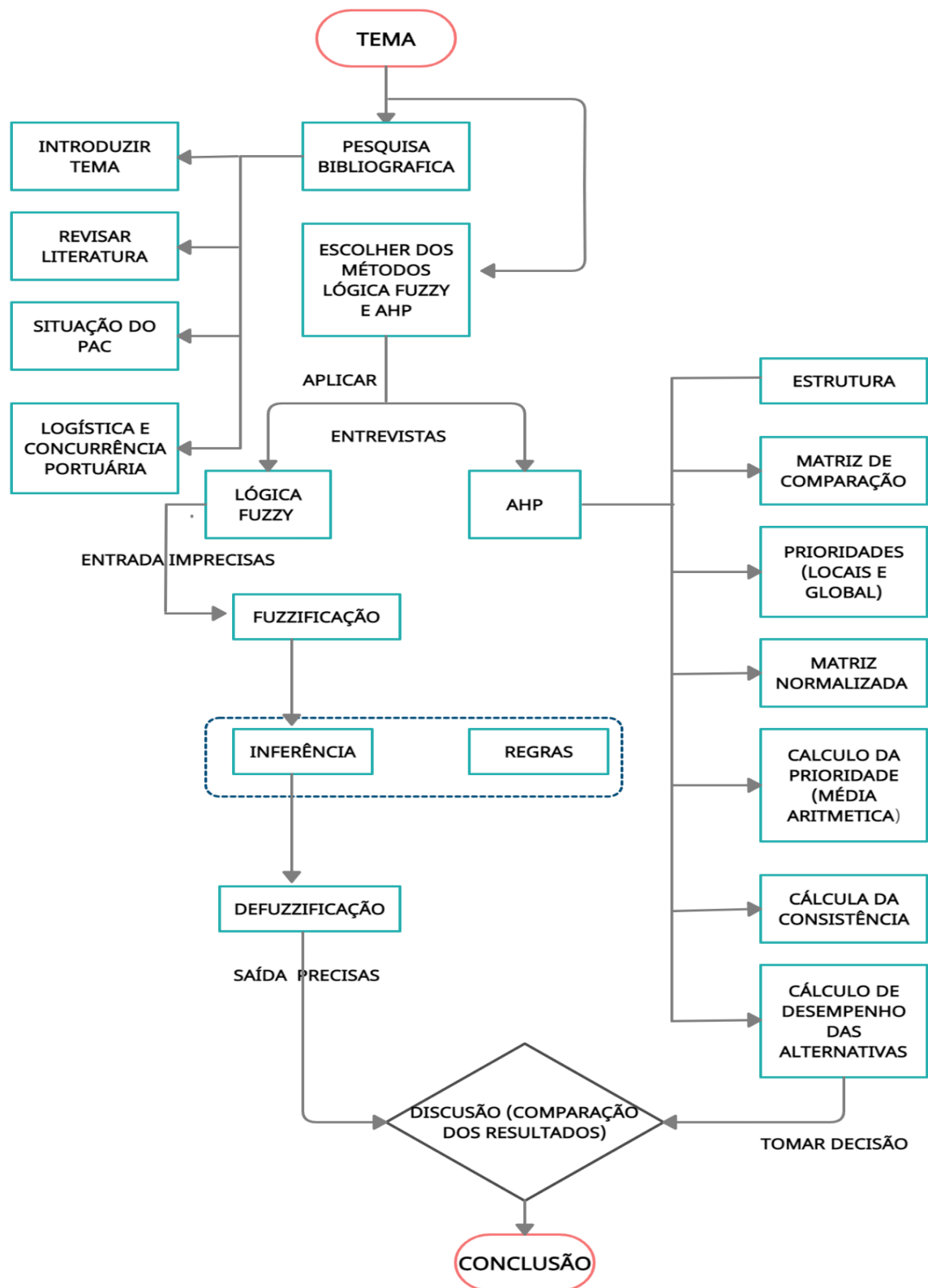
- Introdução – aspectos gerais do problema, importância do trabalho num contexto macro; motivações do trabalho; exposição dos objetivos (geral e específicos); hipótese do trabalho; apresentação da estrutura do trabalho;
- Revisão da literatura - principais elementos e artigos portuários; principais indicadores de desempenho portuário; importância sobre a viabilidade logística portuária;

- Metodologia - métodos utilizados para análise da viabilidade logística;
- PAC; demanda de cargas - Tipos, quantidade, origens e destinos das cargas, modelo de custo de transporte;
- A inserção do PAC na logística de transporte na África ocidental;
- Multicritério *fuzzy* - explica os métodos aplicados, AHP e Lógica *fuzzy*, suas significações e aplicações para viabilidade logística do PAC; análise das potencialidades logísticas do Porto, segundo metodologia multicritério *fuzzy*; aplicação das ferramentas *fuzzy* e AHP para escolher portuária na África ocidental: os resultados e críticas, tomar decisão;
- Conclusão – resultados principais do trabalho; considerações finais; abordadas das limitações do trabalho; e sugestões para trabalhos futuros.

1.6. FLUXOGRAMA DO TRABALHO

O fluxograma do trabalho se apresenta na seguinte forma;

Figura 2 Fluxograma do trabalho



Fonte: Realização própria

2. REVISÃO DA LITERATURA

A logística desempenha um papel importante na cadeia de abastecimento. Neste contexto, inclui-se máquinas de movimentação de carga, balsas modernizadas, barcas e embarcações utilizadas para o transporte de passageiros e mercadorias (SOLOMON et Al., 2020). A viabilidade logística portuária depende de várias características, sendo analisada por muitos pesquisadores.

Na África, o principal objetivo do setor portuário é melhorar a competitividade comercial, bem como reduzir as despesas do governo. No entanto, o processo de reforma nos portos africanos é complexo devido a alguns fatores que influenciam negativamente sua capacidade de desenvolver, afetando ainda mais a eficiência portuária (TRUJILLO et Al., 2013). De acordo com Merkel e Holmgren (2017), a eficiência dos portos marítimos é uma área de pesquisa que recebeu uma atenção considerável nos últimos anos. Pontuam também que a evidência empírica acumulada relativa aos fatores que impulsionam a eficiência portuária é grande. Contudo não houve nenhuma tentativa de avaliar sistematicamente as causas da eficiência.

Cheon et al. (2009), pesquisaram sobre como avaliar os impactos das reformas institucionais nas mudanças de eficiência portuária: propriedade, estrutura corporativa e mudanças na produtividade total dos fatores dos portos mundiais de contêineres. Os autores confirmaram que o índice de produtividade de um porto eficiente não é uma coisa desprezível, mas é um caminho para a viabilidade do porto. De acordo com Balliauwa et al. (2019), os portos do mundo inteiro operam em um ambiente incerto e competem com os portos vizinhos para atrair carga. A extensão da concorrência é influenciada pela localização geográfica e pelos serviços diferenciados oferecidos nos portos, os quais competem em quantidade (concorrência de Cournot) sob incerteza de demanda e congestionamento.

Para Lavissiere (2018), as taxas portuárias têm um impacto limitado no processo de tomada de decisão internacional porta-a-porta. Elas são importantes para as autoridades portuárias porque permitem uma atratividade indireta, especialmente em países em desenvolvimento (CLARK; DOLLAR; MICCO, 2002). Como destacou Lavissiere (2018), o objetivo é equilibrar orçamentos (preços de recuperação, de custo marginal e de custo externo, etc.) e possibilitar o

financiamento da infraestrutura. Estes objetivos mantêm a imagem, as funcionalidades e a viabilidade do porto.

Segundo Lavissiere (2018) a eficácia dos portos, como principal porta de entrada de um determinado país, depende da demanda futura. Por isso, os portos precisam investir mais nos projetos inovadores para melhorar as infraestruturas e consolidar a demanda futura. Os equipamentos portuários de movimentação precisam ser considerados no processo de investimento para aumentar suas produtividades. Solomon et al. (2020) afirmam ainda que a falta de equipamentos de movimentação de carga em terra e a bordo de navios, tem limitado os navios ao transporte de determinados tipos de carga, conseqüentemente aumentando o tempo de retorno dos navios.

Estudos mostram que a viabilidade logística de um porto apresenta duas fases fundamentais: a logística interna e externa ou urbana. A logística urbana pode ser definida como "a busca de meios eficazes e eficientes para o transporte de cargas em áreas urbanas, levando em conta os efeitos negativos sobre o congestionamento, a segurança e o meio ambiente (SAVELSBERGH; VAN WOENSEL 2016), conseqüentemente atrasando o retorno dos contêineres vazios no porto. Esse atraso afeta muito a movimentação de carga (importação e exportação), reduz a eficiência do porto e cria perdas consideráveis. Isto pode dificultar a logística interna, impedindo a sua viabilidade.

A gestão logística visa gerenciar o fluxo de cargas, incluindo sua produção, exportação, importação e armazenagem, de forma flexível e eficiente (CHRISTOPHER, 2016; FERNIE; SPARKS, 2018; SCHONSLEBEN, 2018). Além disso, melhora o desempenho do porto marítimo, atraindo um maior número de navios.

Nguyen e Truong (2019) estudaram a qualidade do serviço logístico portuário, assim como a satisfação do cliente. Eles destacam que a qualidade dos serviços logísticos portuários influencia positivamente na satisfação do cliente. Confirma-se que a qualidade dos serviços logísticos portuários é influenciada por cinco componentes do modelo SERVQUAL (confiabilidade, capacidade de resposta, segurança, empatia, tangíveis). Isso significa que, ao utilizar os serviços de logística portuária, os clientes esperam um forte comprometimento do porto, o que se traduz

no profissionalismo da equipe no enfrentamento dos problemas dos clientes, sendo possível a sua viabilidade.

Irannezhad, Prato e Hickman (2019) estudaram um protótipo inteligente do sistema de suporte de decisão para logística portuária do interior. Este estudo confirmou que a logística portuária é caracterizada por um alto grau de fragmentação, incerteza e complexidade. Em um contexto com essas características, o apoio à decisão pode ser de grande valor. Neste contexto de apoio de decisão, esta dissertação utiliza o AHP, que é uma ferramenta totalmente multicritério de tomada de decisões complicadas, utilizada para a determinação das prioridades (SAATY, 1980).

O AHP está sendo criticado devido a sua ineficácia e incapacidade de lidar adequadamente com a incerteza e imprecisão juntadas aos números reais em que o intervalo são informações imprecisas (DENG, 1999). No método da lógica *fuzzy*, as avaliações dos tomadores de decisão são representadas como números. Entretanto, nos casos em que os tomadores de decisão não podem expressar as avaliações por meio de números, a lógica *fuzzy* pode ser usada, o que proporciona uma força matemática para capturar as incertezas associadas ao processo cognitivo humano (KAHRAMAN; KAYA 2010).

Em áreas portuárias, Rahmawati e Sarno (2018) utilizaram a lógica *fuzzy* para detectar anomalias no manuseio de contêineres portuários. Wanke e Falcão (2017) analisaram por meio da lógica *fuzzy* a alocação de cargas nos portos brasileiros. Akyuz et al. (2020) aplicaram na análise de árvore de falha e árvore de evento do risco de liquefação de carga a bordo de navio. A lógica *fuzzy* foi aplicada também na otimização do investimento no desenvolvimento do porto (ALLAHVIRANLOO; AFANDIZADEH 2008), na seleção do porto de contêineres (ONUT et al., 2011), na cadeia de abastecimento central do porto (LOH et al., 2017), entre outros.

O método Processo Hierárquico Analítico AHP juntamente com os conceitos da lógica *fuzzy* (SOUZA, 2006), é uma metodologia no intuito de explorar o campo da análise multicritério de decisão e apresenta um estudo de caso comparando o sistema da lógica *fuzzy* desenvolvido com o sistema de AHP.

Apesar de ser o melhor modelo multicritério e ter inúmeros benefícios, o AHP é criticado devido a sua ineficácia e incapacidade de lidar adequadamente com as incertezas, bem como a imprecisão, associadas aos números reais, nos quais o intervalo são informações imprecisas (DENG, 1999). Para Ekuobase e Olutayo (2015), a abordagem convencional do AHP não reflete o pensamento humano pelo simples fato dos tomadores de decisão se sentirem mais confiantes para fazer julgamentos com intervalo, em vez de expressar seus julgamentos na forma de valores numéricos únicos. Portanto, o Processo Hierárquico Analítico *Fuzzy* (FAHP) é capaz de capturar o ser humano (EKUOBASE; OLUTAYO, 2015).

Assim como os outros modelos aplicados, um novo modelo introduzido por Zadeh (1973), é tratado com a teoria da aproximação e imprecisão dos problemas baseada na generalização da teoria padrão dos conjuntos para conjuntos *fuzzy*. Como a imprecisão e proposição vaga são características comuns em muitos problemas de tomada de decisão, um método difuso de AHP (FAHP) deve ser capaz de tolerar imprecisão ou ambiguidade (MIKHAILOV, 2003).

2.1. LÓGICA *FUZZY*

A teoria dos conjuntos *fuzzy* foi introduzida em 1965 pelo matemático **Litfi Askas Zadeh**, com a principal intenção de dar um tratamento matemático a certos termos linguísticos subjetivos, como “aproximadamente” “em torno de” dentre outros (BARROS; BASSANEZI, 2010). Para eles, esse seria um primeiro passo no sentido de se programar, armazenar conceitos vagos em computadores, tornando possível a produção de cálculos com informações imprecisas.

Gomes e Gomes (2014) apresentam a lógica *fuzzy* da seguinte forma:

“A teoria é uma extensão da lógica convencional (booleana), para introduzir o conceito de verdade não absoluta, e funciona como ferramenta para tratar imprecisões na linguagem natural. A matemática nebulosa é uma tentativa de aproximar a precisão característica da matemática à inerente imprecisão do mundo real. O número nebuloso não surge, normalmente de observações reais, mas de conceitos ou concepções mais ou menos conhecidos”.

É uma ferramenta aplicada para decisão que não é falsa nem totalmente verdadeira. Para os sofistas, é como convencimento em busca do melhor e não para buscar a verdade, pois esta não existe de maneira absoluta. Assim, muitos problemas podem ser modelados computacionalmente com a lógica clássica e ou *fuzzy*.

Conjuntos clássicos

Na teoria clássica, os conjuntos são denominados "*crisp*" (o termo vem da palavra inglesa *crispness*, que significa correto, exato, definido, valor conhecido) e um dado elemento pertence ou não pertence ao referido conjunto. Barros e Bassanezi (2010) publicaram que para obter a formalização matemática de um conjunto *fuzzy*, Zadeh (1973) baseou-se no fato de que qualquer conjunto clássico pode ser caracterizado por uma função. A definição de sua função característica é dada a seguir:

Seja um conjunto U e A um subconjunto de U . A função característica de A é dada por:

$$\chi_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{se } x \in A \\ 0, & \text{se } x \notin A \end{cases} \quad (1)$$

Esse tipo de conjunto estabelece que as propriedades que se aplicam aos elementos do conjunto são sempre verdadeiras ou sempre falsas. O valor 0, ou valor nulo, indica que não pertence "total não pertinência"; e o valor 1 indica "total pertinência". Esses valores mostram a total pertinência como a veracidade ou a afirmativa e também não pertinência é a falsidade.

Conjuntos *fuzzy*

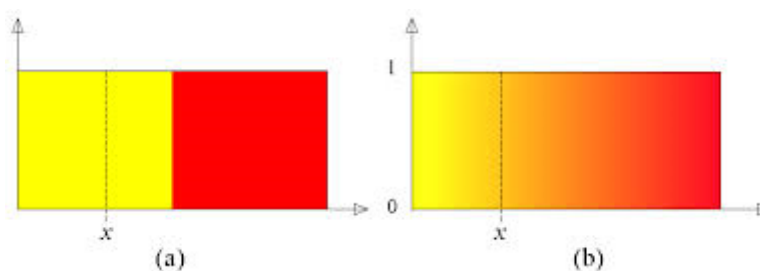
A teoria dos conjuntos *fuzzy* indica com que grau de cada elemento pertence ao conjunto. 0 e 1 pertencem a números reais onde o intervalo é tratado como informação imprecisa. Gomes e Gomes (2014) esclarecem que, na matemática clássica, um subconjunto U de um conjunto S aos elementos do conjunto $[0, 1]$.

$$U: S \rightarrow [0, 1] \quad (2)$$

Segundo Silva Junior et al. (2015), a ideia da lógica *fuzzy* não fica restrita apenas entre verdadeiro e falso, mas sim existem vários níveis entre o verdadeiro e o falso. O que quer dizer, ao contrário da lógica *fuzzy*, que tem vários níveis entre o verdadeiro e falso [0, 1], a lógica clássica fica restrita apenas entre verdadeiro e falso cuja afirmação dos valores 0 que é falso e 1 verdade, 0 ou 1.

Nos pontos de transição de uma cor para outra, a lógica *fuzzy* é capaz de perceber as variações ocorridas facilmente, através de linguagem *fuzzy*. Esta figura 3b mostra claramente que x possui o grau de pertinência em função de pertinência de cor amarela mais alto do que o grau de pertinência em função de cor vermelha. O eixo "X" representa o universo de discurso do elemento x e o eixo "Y" representa o grau de pertinência definido entre o 0 e 1.

Figura 3 Lógica Clássica (a); Lógica *Fuzzy* (b)



Fonte: PUC-Rio

Um subconjunto *fuzzy* A de um conjunto universo X é definido pela função de pertinência que associa a cada elemento x de X um número entre zero e um, que indica o grau de pertinência de x a A (ZADEH, 1965). Para Barros e Bassanezi (2010), um subconjunto *fuzzy* F é composto de elementos x de um conjunto Clássico U , providos de um valor de pertinência a F , dado por $\varphi F(x)$.

2.1.1. Sistema Baseado em Regras *Fuzzy*

O Sistema Baseado em Regras *Fuzzy* (SBRF) se utiliza da lógica *fuzzy* para produzir saídas para cada entrada *fuzzy*. É um conjunto de controladores *fuzzy* que tem a particularidade de interpretação onde cada saída representava a "Ação" correspondente a "Condição" ou "Entrada" do SBRF. Assim, se a entrada for número real (R^n) espera-se que a saída também seja número real (R^m). o que significa que um sistema *fuzzy* é uma função de R^n em R^m construída de uma maneira específica (BARROS; BASSANEZI, 2010).

2.1.1.1. Variável linguística

Segundo Barros e Bassanezi (2010) e Manoela (2018), uma variável linguística no universo é uma variável cujos valores assumidos são subconjuntos *fuzzy* de U. Esses subconjuntos *fuzzy* são chamados de termos linguísticos. Assim cada variável linguística é derivada de uma situação da entrada ou da saída que corresponde a valores representados por termos linguísticos e que tem uma função de pertinência que a caracteriza.

2.1.1.2. Módulo de fuzzificação

Este é o estágio no qual as entradas do sistema são modeladas por conjuntos *fuzzy* com seus respectivos domínios (BARROS; BASSANEZI, 2010). Segundo eles, é nele que se justifica a grande importância de especialistas do fenômeno a ser modelado e juntamente com os especialistas, as funções de pertinência são formuladas para cada conjunto *fuzzy* envolvido no processo.

2.1.1.3. Módulo da base de regras

Segundo Barros e Bassanezi (2010) e Manoela (2018), este módulo é composto pelas proposições *fuzzy* de forma “**Se e Então**” e cada uma destas proposições é descrita na forma linguística de acordo com as informações de um especialista. Quanto mais informações se tem das condições, mais preciso será o resultado. É neste ponto que as variáveis e suas classificações linguísticas são catalogadas e, em seguida, modeladas por conjuntos *fuzzy*, isto é, funções de pertinência.

2.1.1.4. Módulo de inferência *fuzzy*

Neste módulo, cada proposição *fuzzy* é “traduzida” matematicamente por meio das técnicas da lógica *fuzzy* (BARROS; BASSANEZI, 2010). É onde se define quais t-normas, t-conormas e regras de inferência (que podem ser implicações *fuzzy*) serão utilizadas para se obter a reação *fuzzy* que modela a base de regras. Neste módulo fornecerá a saída (controle) *fuzzy* a ser adotada pelo controlador, a partir de cada entrada *fuzzy*.

2.1.1.5. Método de inferência de Mamdani

O método de inferência de Mamdani é baseado na regra máximo-mínimo, uma relação binária, no qual cada regra da base de regras *fuzzy*, a condicional "se ... então" é modelada pela proposição mínimo, (MANUELA 2018).

Barros, Bassanezi e Lodwick (2017) afirmam que:

Mamdani propôs essa relação para modelar matematicamente a base de regras. O método Mamdani é baseado de acordo com o seguinte procedimento:

- Em cada regra da base de regras a condicional se ... então é modelada pela operação mínimo;
- Adota-se a aplicação mínimo para o conceito lógico "e" e o máximo para "ou".

A saída do controlador *fuzzy*, dada pelo método de inferência de Mamdani, é um subconjunto *fuzzy* (mesmo para o caso com uma entrada *crisp*). Assim, quando é necessário tem-se um número final real de saída que precisamos para defuzzificar a saída do conjunto *fuzzy* e obter um valor *crisp* que o represente.

O Mamdani é usado com mais frequência, principalmente porque proporciona resultados razoáveis com uma estrutura relativamente simples, e devido à natureza intuitiva e interpretável da base de regra (JASSBI et Al., 2006). O Mamdani oferecido por *MATLAB* Toolbox está na forma de escrever o consequente de cada regra e no procedimento de defuzzificação para obter a saída geral do sistema (BARROS; BASSANEZI, 2010).

2.1.1.6. Módulo de defuzzificação

Segundo Manuela (2018), o conjunto *fuzzy* pode ser representado por um valor *crisp* através da defuzzificação. No momento em que o módulo de inferência produz uma saída, cabe a ele converter tal saída *fuzzy* em um número real. É um processador que converte o valor de saída difusa em um valor nítido.

2.1.1.7. Funções de pertinência *fuzzy*

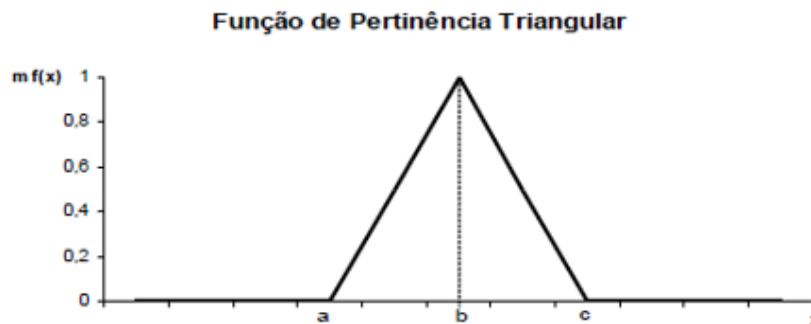
O primeiro passo para desenvolver o sistema de avaliação de viabilidade logística é a seleção do sistema de inferência *fuzzy*. O *MATLAB* Toolbox oferece dois tipos de sistemas de inferência: Mamdani e Sugeno. Para um bom consequente das regras de análise, o Mamdani foi escolhido.

O MATLAB Toolbox oferece diferentes tipos de funções de associação que podem ser usadas em modelos baseados em lógica como triangular, trapezoidal e gaussiana, etc. Para esta análise as três funções (triangular, trapezoidal e gaussiana) foram escolhidas para facilitar a tomada de decisões de viabilização logística portuária.

Figura 4 (a) função de pertinência triangular. (b): função de pertinência trapezoidal (c): função de pertinência gaussiana

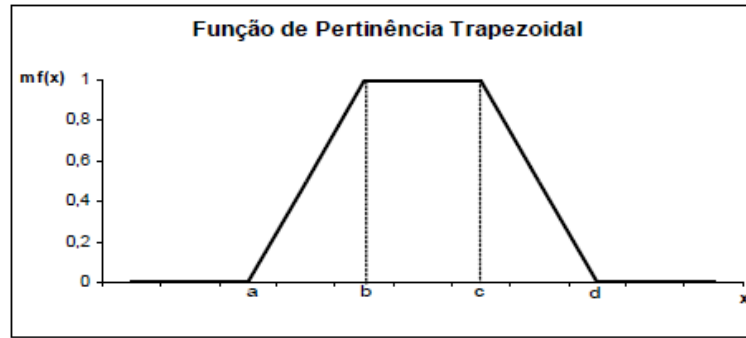
a) Triangular: sejam os parâmetros a , b e c , a função de pertinência triangular será:

$$\mu_F(x) = \begin{cases} 0 & \text{Se } x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{Se } x \in [a, b) \\ \frac{c-x}{c-b} & \text{Se } x \in [b, c] \\ 0 & \text{Se } x \geq c \end{cases} \quad (3)$$



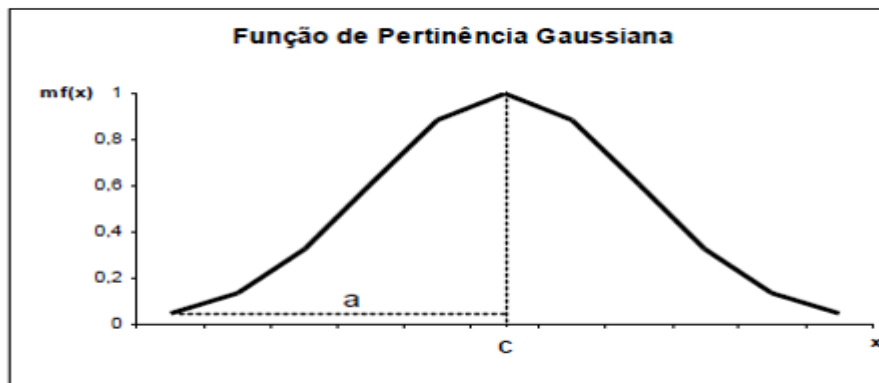
b) Trapezoidal: sejam os parâmetros a , b , c e d , a função de pertinência trapezoidal será:

$$\mu_F(x) = \begin{cases} \frac{(x-a)}{b-a} & \text{Se } x \in [a, b) \\ 1 & \text{Se } x \in [b, c) \\ \frac{(d-x)}{d-c} & \text{Se } x \in [c, d] \\ 0 & \text{Caso contrário} \end{cases} \quad (4)$$



c) Gaussiana : sejam os parâmetros a e c , a função de pertinência gaussiana será:

$$\mu_F(x) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-c}{a}\right)^2} \quad (5)$$



Fonte: Dos Santos (2011)

2.2. PROCESSO HIERÁRQUICO ANALÍTICO (AHP)

O *Analytic Hierarchy Process* (AHP) é um dos métodos de tomada de decisão multicritério (MCDM) bem adaptado para resolver decisões complexas com vários critérios, utilizada para a determinação das prioridades. Foi introduzido e definido por Saaty (1980) como uma ferramenta eficaz para lidar com decisão complexa, ajudando o tomador de decisão a estabelecer prioridades. Saaty (1980) desenvolveu a AHP como uma abordagem prática para tomar decisões. Ele ajuda os tomadores de decisão a identificar as melhores maneiras possíveis de entender os problemas encontrados. Uma vez que a AHP visa resolver problemas complexos de decisão usando ambos medição de critérios qualitativos e quantitativos (AKYUZ et Al., 2015), ele tem sido amplamente aplicado em várias disciplinas (AKYUZ, 2015).

O método permite lidar com problemas que envolvem tanto os valores tangíveis como os intangíveis, graças a sua capacidade de criar medidas para as variáveis qualitativas com base em julgamentos subjetivos emitidos pelos decisores (SAATY, 1991). O AHP é apropriado sempre que uma meta é obviamente declarada e um conjunto de critérios e alternativas relevantes é oferecido (BAYAZIT; KARPAK, 2005). O AHP é um método ideal para classificar alternativas quando múltiplos critérios e subcritérios estão presentes no processo de tomada de decisão. Além disso, o AHP é um modelo popular para agregar vários critérios de tomada de decisão. O AHP permite ao tomador de decisão de estruturar problemas complicados na forma de uma hierarquia de decisão.

O uso da abordagem AHP oferece diferentes benefícios (EKUOBASE; OLUTAYO, 2015). Uma vantagem importante do AHP é a sua estabilidade e flexibilidade em relação a alterações e adições na hierarquia. Apesar do benefício do AHP, ele também apresenta alguns pontos fracos. Uma delas é a complexidade desse método, que torna sua implementação bastante inconveniente. Uma outra desvantagem é que ele não considera riscos e incertezas (TAM TUMMALA, 2001).

No AHP, os tomadores de decisão fornecem suas preferências sobre as alternativas ou critérios pelas matrizes de comparação de pares (PCMs) que são frequentemente expressas pela relação de preferência recíproca multiplicativa (Li Y et Al, 2017), requerem informações completas (OLIVA G et Al, 2017). Geralmente, o AHP segue quatro etapas básicas: modelagem, avaliação, priorização e síntese. Priorização e síntese são as partes mais importantes do AHP multiplicativo (CHANGSHENG L e GANG K, 2021). Mais especificamente, em toda a hierarquia criada para o problema de decisão, primeiro os tomadores de decisão derivam os vetores de prioridade locais das matrizes de comparação de pares por determinado método de priorização, seguido a realização da síntese para gerar o vetor de prioridade final das alternativas.

No AHP multiplicativo, a matriz de comparação de pare estruturada em uma escala de um a nove não é devido à complexidade e incerteza envolvida na tomada de decisão no mundo real (DONG Y et Al, 2016). Geralmente, a matriz de comparação de pare fornecida pelo (s) tomador (es) de decisão não é perfeitamente consistente (CSATÓ L. et Al. 2019). É necessário revisar os julgamentos na matriz de comparação de pare para alcançar a consistência aceita (KOU G et Al, 2016),

(AGUARÓN J et Al, 2020). Os julgamentos na matriz de comparação de pare podem ser assumidos como variáveis aleatórias com distribuições contínuas (BARFOD M.B. et Al, 2016), como distribuição uniforme (HAUSER D. , TADIKAMALLA P, 1996) , distribuição gama (VARGAS L.G, 1982) , distribuição lognormal (LIN C. , KOU G, 2015), distribuição beta (JALAO E.R et Al 2014) e distribuição de Cauchy (LIPOVETSKY S. , TISHLER A 1999), etc. No entanto, as suposições sobre a forma paramétrica nessas distribuições são bastante restritivas e podem ser inadequadas. O tomador de decisão tem suas opiniões prévias a respeito dos julgamentos dos critérios e alternativas.

3. METODOLOGIA DA PESQUISA

Para entender melhor a caracterização do PAC atual, foram apresentadas a partir da pesquisa bibliográfica realizada, o sistema portuário, as principais cargas em importação e exportação, os países de origem e de destino, o modelo de custo do transporte de cargas, as classificações dos produtos, as variações e valores, logística operacional das cargas, e as caracterizações dos portos vizinhos (números de berços, profundidades, número médio dos navios recebidos por ano).

Foram realizadas pesquisas bibliográficas sobre a logística do PAC, o estado atual das infraestruturas e instalações portuárias, bem como os projetos de expansão e de dragagem no porto. Foram utilizadas como fontes bibliográficas: dissertações de mestrado e teses de doutorado, artigos e livros em diversos sites de busca (www.portcotonou.com, www.portsetcorridors.com NDJAMBOU 2004; LOURDES, GONZALEZ e JIMENEZ 2013; HARALAMBIDES 2002; CHEON, DOWALL e SONG 2010; CHEN, XU e HARALAMBIDES, 2019).

A partir da revisão bibliográfica, das análises da viabilidade do porto, dos estudos, dos projetos feitos no PAC e nos portos vizinhos, foi realizada uma análise de estatísticas do PAC, assim como dos portos vizinhos da África Ocidental nos últimos 4 anos.

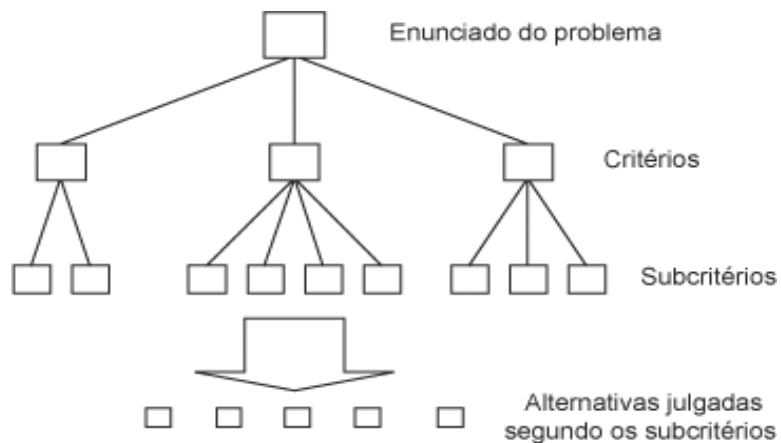
Como a parte mais importante do trabalho é a viabilidade logística, vale salientar o seu desenvolvimento com, por exemplo, a modernização de seus equipamentos, a construção de novas infraestruturas, e a redução do tempo de espera. Para alcançar essas metas, foi utilizada a entrevista com alguns questionários (realizada preferencialmente com os Professores da área portuária, da Logística, os profissionais que atuam no Porto ou na Logística Portuária e os gerentes do Porto (pelo menos com 5 anos de atuação)) que têm como finalidade a aplicação da lógica *fuzzy* e do AHP, ambos métodos multicritérios para análise de viabilidade logística..

3.1. MÉTODO AHP

De acordo com Saaty (1991), a aplicação do AHP contempla as seguintes fases: estruturação dos critérios e alternativas; coleta de julgamentos; cálculo de prioridades; verificação da consistência do julgamento; e, por último, o cálculo das

prioridades globais das alternativas. A estruturação dos critérios consiste em modelar o problema de decisão numa estrutura hierárquica, a qual, partindo do objetivo principal, decompõe-se em vários critérios necessários ao alcance do objetivo, formando uma camada de critérios. Cada elemento desta camada, por sua vez, pode ser decomposto em dois ou mais critérios, e assim sucessivamente, tornando mais fáceis o tratamento e a compreensão do problema. Cada elemento do último nível (elemento folha) é decomposto em alternativas, permitindo-lhes uma avaliação à luz de cada objetivo folha.

Figura 5 Estrutura de AHP



Fonte: Saaty (1980)

A aplicação deste modelo está resumida em uma estrutura de entrevistas com perguntas elaboradas e que são obtidas de problema para critérios priorizados e para os subcritérios com os julgamentos fornecidos por especialistas, exemplo: Qual é a importância das " Infraestruturas Portuárias" em relação aos "Serviços Portuários"? (Exemplo: Infraestruturas Portuárias são "9x importante" do que Serviços Portuários). Segundo Mello (2015), esses julgamentos devem ser inseridos em matrizes de comparações. Os julgamentos, inseridos nas matrizes de comparações, geralmente são baseados na Escala Fundamental de Números Absolutos (SAATY, 2010), ou seja, uma escala linear de 1 a 9 (SAATY, 1980) (Tabela 2). O valor 1, desta escala, é usado quando se julga que ambos os objetos têm a mesma prioridade.

Tabela 2 Escala Fundamental de julgamento

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

Fonte: Saaty (1980)

Uma implicação do uso da Escala Fundamental é que a matriz de comparação será uma matriz recíproca positiva (MELLO, 2015). É importante dizer que deve-se buscar um número máximo de 7 ± 2 elementos em cada nível a fim de alcançar maior acurácia nas comparações. Também, Alves e Alves (2015) concluíram: um número elevado de comparações pode gerar riscos de inconsistências nos julgamentos. A respeito disso, Saaty (1991) menciona que não há um procedimento padrão para levantamento de critérios e de objetivos. O autor sugere a utilização de brainstorming com especialistas e/ou consultas bibliográficas para ajudar na elucidação dos critérios e dos objetivos.

Após a hierarquização dos critérios, é feita a coleta de julgamento dos decisores (SAATY, 1991). O julgamento é realizado por meio da comparação pareada entre dois elementos de um mesmo nível à luz do elemento foco imediatamente superior. Os elementos são comparados a partir de uma matriz quadrada, cuja ordem é igual ao número de elementos subordinados ao nó imediatamente superior. Os elementos subordinados são dispostos na mesma ordem, formando as linhas e as colunas da matriz.

De acordo com o referido autor, durante o julgamento, compara-se cada elemento da linha com cada elemento da coluna e registra-se o valor do julgamento na matriz na posição linha e coluna referente aos elementos comparados. A tabela 3 mostra, genericamente, a matriz de julgamento das n alternativas (a_1, a_2, \dots, a_n) à luz

do critério C1, na qual x_{ij} representa as entradas de julgamento variando i e j de 1 a n . Na comparação entre os dois elementos, deve-se levar em conta qual o elemento mais importante à luz do critério foco e a intensidade desta importância.

Conforme Saaty (1991), a matriz de comparação gera relações recíprocas (Tabela 3). Assim, para cada julgamento registrado na posição de linha i e coluna j , representado por x_{ij} , há um valor igual a $1/x_{ij}$ na posição recíproca, isto é, na posição de linha j e coluna i . Considerando as posições de elementos de linha e coluna i e j , respectivamente, variando de 1 a n , os elementos x_{ij} obedecem às seguintes regras:

Regra1: Se $x_{ij} = \alpha$, então $x_{ji} = 1/\alpha$, $\alpha \neq 0$, onde α é o valor numérico do julgamento baseado na escala de Saaty (1991). Logo, temos $x_{ji} = 1/x_{ij}$.

Regra2: Se a_i é julgado de igual importância relativa a a_j , então $x_{ij} = 1$ e $x_{ji} = 1$; e, em particular, $x_{ij} = 1, \forall i=j$.

Tabela 3 Matriz de julgamento

C ₁	a ₁	a ₂	...	N _a
a ₁	1	X ₁₂	...	X _{1n}
a ₂	1/X ₁₂	1	...	X _{2n}
...
N _a	1/X _{1n}	1/X _{2n}	...	1

O julgamento deve ser baseado na escala de Saaty (1991) conforme a Tabela 2, buscando-se primeiro o julgamento conceitual e, em seguida, a conversão para a escala numérica a fim de registrá-lo na matriz, como também, o julgamento recíproco associado. É necessária a realização de $n(n-1)/2$ comparações pelo decisor, sendo no número de elementos comparados (MARIA e ALEX, 2016).

A próxima fase é calcular as prioridades locais e globais. Trata-se de calcular a contribuição relativa de cada elemento da estrutura hierárquica em relação ao objetivo imediato e em relação ao objetivo principal. Primeiramente, é feito o cálculo das prioridades de cada elemento (nó) em relação

ao seu elemento imediatamente superior, encontrando-se a prioridade média local do nó. Em seguida, calcula-se a prioridade global (em relação ao objetivo principal) do respectivo elemento, multiplicando sua prioridade média local pelas prioridades médias locais dos nós hierarquicamente superiores (MARIA e ALEX, 2016).

De acordo com Saaty (1991), as prioridades médias locais dos elementos comparados na matriz de julgamento podem ser obtidas por meio de operações matriciais, calculando-se o principal autovetor da matriz e normalizando-o em seguida.

Entretanto, o referido autor apresenta outros procedimentos mais simples para gerar o vetor de prioridades com valores aproximados. Um desses procedimentos foi utilizado por Maria e Alex (2016) e adotado para o presente trabalho: i) calcula-se a somatória dos julgamentos registrados em cada coluna da matriz de julgamentos; ii) cria-se uma nova matriz normalizada, na qual cada elemento é inicializado pelo elemento da matriz original dividido pelo total de sua respectiva coluna; iii) calcula-se a prioridade por meio da média aritmética dos elementos de cada linha da matriz normalizada.

O resultado obtido em cada linha corresponde ao total percentual relativo de prioridades ou preferências em relação ao foco objetivo imediato. O vetor de prioridades resultante é chamado autovetor da matriz, e a somatória de seus elementos é igual a 1. Após o cálculo das prioridades locais em relação a cada nó imediatamente superior, é realizado o cálculo da consistência de tais julgamentos.

Ao considerar as dificuldades intrínsecas do ser humano em tomar decisões diante de problemas com muitas informações e com múltiplos critérios, Saaty (1991) propôs um procedimento para calcular inconsistências derivadas do julgamento de valor entre os elementos comparados num problema complexo de decisão. O referido autor admite uma tolerância de 10% para as inconsistências. Maria e Alex (2016) descrevem, de forma simples, os passos para verificar a consistência do julgamento. No primeiro passo, se calcula o maior autovalor da matriz de julgamento (λ_{max}) por meio do somatório do produto de cada total da coluna j da matriz original de julgamentos por cada elemento na posição j do vetor de prioridade, considerando j a coluna da matriz de julgamento variando de 1 a n . Considerando a matriz de

juízo, o vetor de prioridades (prioridades calculadas dos elementos) e a ordem (n) da matriz, o cálculo do autovalor é representado pela seguinte fórmula:

$$\lambda_{max} = \sum_{j=1}^n T_j \times P_j \quad (6)$$

Onde T_j é o somatório da coluna j da matriz de juízo e P_j é a prioridade calculada para o critério localizado na linha j .

No segundo passo, calcula-se o índice de consistência, *Consistency Index* (CI).

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (7)$$

No terceiro passo, calcula-se a razão de consistência, *Consistency Ratio* (CR):

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (8)$$

Conforme Saaty (1991), o índice randômico, *Random Index* (RI), é o índice de consistência de uma matriz recíproca gerada, randomicamente, pelo laboratório Oak Ridge. A Tabela 4 mostra a tabela RI contendo os índices randômicos calculados pelo laboratório Oak Ridge para matrizes recíprocas quadradas de ordem n . De acordo com Saaty (1991), caso o CR calculado seja inferior ou igual a 0,10, a matriz de juízo é considerada consistente. Caso contrário, a matriz é considerada inconsistente, e o juízo deve ser refeito.

Tabela 4 tabela de índices de consistência aleatória, Saaty (1991)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
R	0,0	0,0	0,5	0,9	1,1	1,2	1,3	1,4	1,4	1,4	1,5	1,4	1,5	1,5	1,5
I	0	0	8	0	2	4	2	1	5	9	1	8	6	7	9

Após verificar a consistência dos julgamentos, realiza-se o cálculo do desempenho global das alternativas. De acordo com Saaty (1991), e tomando como base a estrutura hierárquica do AHP, as prioridades globais calculadas para cada critério correspondem à importância de cada critério em relação ao objetivo principal. Entretanto, no nível das alternativas, a prioridade encontrada ao se multiplicar a prioridade local da alternativa em relação a um determinado foco pela prioridade global deste reflete o impacto da alternativa no objetivo principal, relativo a um único critério. Portanto, para se obter a prioridade global das alternativas, deve-se calcular o somatório das prioridades globais das alternativas calculadas em cada critério. Essa prioridade determinará a contribuição da alternativa para o objetivo principal.

3.2. MÉTODO FUZZY

Um SBRF (Sistema Baseado em Regra *Fuzzy*) possui quatro componentes ou controladores *fuzzy*: um processador de entrada (fuzzificação), uma coleção de regras linguísticas, chamada base de regras, um método de inferência *fuzzy* e na última fase do processo, um processador de saída (defuzzificação), o defuzzificador converte o valor de saída difusa em um valor nítido (Figura 6) (FREITAS; PEIXOTO E VIEIRA, 2013; CABEZALI E SANTOS, 2020).

Base de regras

As regras são definidas em função de resumo do resultado da entrevista no qual a maior porcentagem é escolhida por cada regra. O exemplo da entrevista é: qual será a viabilidade logística Se a Qualidade das Infraestruturas é Regular e a Qualidade dos Serviços é Regular e a Produtividade Equipamentos é Regular e o Custo Logístico das Cargas é Regular? (Regra 1).

O objetivo do uso dessa ferramenta é somente a resolução do problema, para uma saída clara, sem detalhar o modo de utilização do software e os passos a serem seguidos. Portanto, o software deve ser mostrado já com as variáveis de entrada, saída e base de regras já implementadas (Figura 15f).

Tabela 5 Base de regras

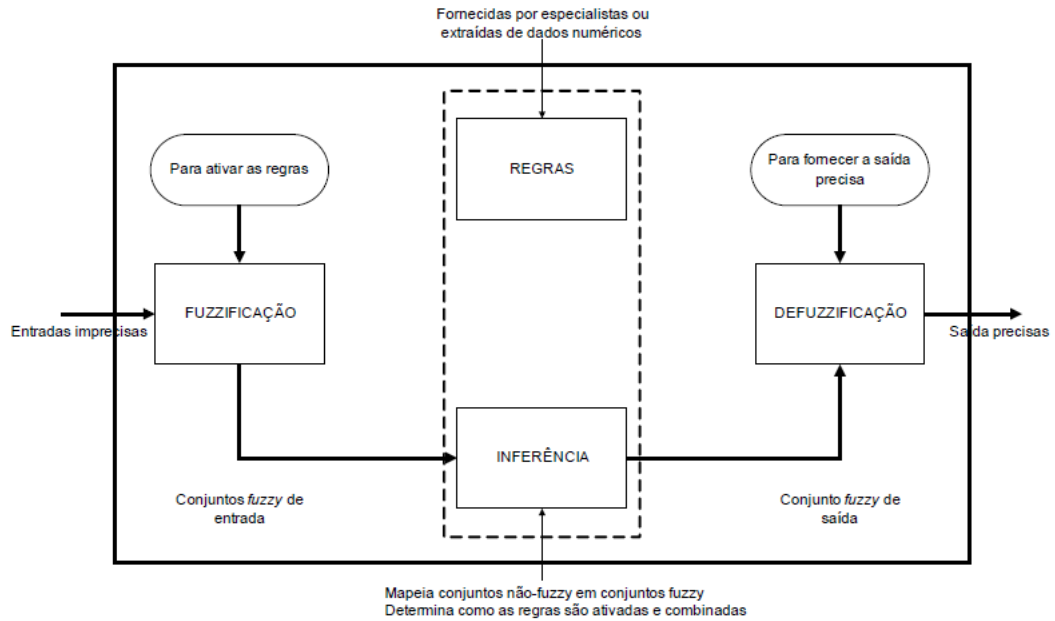
Se	QI	QS	PE	CL	Então	VL
R1	Regular	Regular	Regular	Alto	Então	Médio Prazo
R2	Boa	Boa	Boa	Regular	Então	Médio Prazo
R3	Excelente	Excelente	Excelente	Baixa	Então	Longo Prazo
R4	Excelente	Regular	Excelente	Alto	Então	Longo Prazo
R5	Excelente	Boa	Excelente	Regular	Então	Longo prazo
R6	Regular	Excelente	Regular	Baixo	Então	Médio Prazo
R7	Boa	Excelente	Boa	Baixo	Então	Médio prazo
R8	Regular	Boa	Excelente	Regular	Então	Médio Prazo
R9	Boa	Regular	Boa	Baixo	Então	Médio Prazo
R10	Boa	Excelente	Regular	Regular	Então	Médio Prazo
R11	Boa	Boa	Regular	Regular	Então	Médio Prazo

Fonte: Realização própria

A entrada para o sistema pode ser um valor preciso (quando deriva de um processo de medição) ou um conjunto *fuzzy* (quando provém de um observador humano ou na forma de uma base de dados, como por exemplo, os questionários) (MARIA; GLEICY, 2007). Para adaptar a entrada ao sistema *fuzzy*, o componente de fuzzificação, que é o processo de transformação das variáveis de entrada em graus de pertinência ou de certeza, realiza uma interpretação ou qualificação das mesmas variáveis (Figura 6). Este processo de fuzzificação permite associar um vetor linguístico aos possíveis valores dos parâmetros de entrada para montar um

conjunto *fuzzy* que retrate a imprecisão do problema sob análise, ou seja, realizar um mapeamento dos dados de entrada. No estágio da fuzzificação ocorre também a ativação (ou combinação) das regras de inferência.

Figura 6 Sistema de inferência fuzzy



Fonte: Dos Santos (2011)

O processo de inferência *fuzzy* consiste na integração de parâmetros por meio de regras do tipo **se-então**, definidas em função dos parâmetros a serem utilizados. A interpretação linguística do resultado é suficiente em algumas aplicações, mas em outras, o valor numérico como variável de saída é solicitado. Nos casos em que os resultados numéricos são necessários, o processo de defuzzificação deve ocorrer após a inferência *fuzzy*. A partir das variáveis de saídas são geradas blocos de inferência na forma de variáveis linguísticas.

4. PORTO AUTÔNOMO DE COTONOU (PAC)

O Porto Autônomo de Cotonou, inaugurado em 1965, foi ampliado nos anos 1982, 1992, 2012 e está em novo processo de ampliação desde 2019. O PAC é caracterizado por ser um porto marítimo, bem como uma entidade pública, industrial e comercial com pessoa jurídica e autonomia financeira. Tem corpo d'água com mais de 60 ha na doca e uma área portuária de cerca de 200 ha. Assim como os outros portos do mundo, o PAC está em processo para manter a sua autonomia financeira, sua viabilidade logística a fim de responder às expectativas de seus clientes. Este porto possui um modal rodoviário para atender o norte de países sem litoral, tais como o Burkina Faso, Mali, Níger e Chade e representa ainda o porto de transferência e transbordo mais perto da Nigéria e do Togo.

4.1. SITUAÇÃO ATUAL DO PAC

O PAC, com as infraestruturas atuais, equipamentos envelhecidos, a maioria de 10 a 15 anos (não estão informatizados) e serviços portuários lentos (burocracia) tem dificuldades em atender as demandas da *hinterland*. O PAC não é mais competitivo diante dos portos da África ocidental por causa da alta concorrência existente, sendo citado entre os últimos na lista dos portos da região central e ocidental. Outro agravante desta situação são suas características organizacionais atuais.

O PAC recebeu um número menor de navios nos últimos quatro anos, tem o menor número de berços (11) e a menor profundidade (10 m a 15 m) em comparação ao Porto de Lomé (16,50 m a 17 m), bem como a menor tonelagem (média 10 mil toneladas) movimentada. Assim, este porto não será mais viável no futuro e pode ter impacto direto para a economia do país, já que este gera até 60% do Produto Interno Bruto (PIB) e contribui 80% para a mobilização da receita aduaneira e 45% da receita fiscal (PAC, 2020).

O PAC possui quatro berços (Q1, Q2, Q3, Q4) cada um com 155 m de comprimento; dois berços Q5 e Q6, com 180 m de comprimento, destinados para navios convencionais (Figura 8); um berço Q7 com de 220 m de comprimento, para navios porta-contêineres; um berço Q8 para o uso de navios RO-RO (Figura 8). No cais sul (Figura 7), o posto de petróleo da empresa ORYX representa uma linha de

250 m de comprimento (Q11), 11 m de profundidade. Os dois novos berços (Q9 e Q10) de 600 m de comprimento, 15 m de profundidade, foram concedidos ao Grupo Bolloré em 2012 (Figura 8). O PAC possui também zonas francas para o Níger, Burkina-Faso, Mali e Chade; armazéns; plataformas revestidas; parques de contêineres; áreas de armazenamento de veículos usados e depósitos de gás (Figura 7) e um canal de acesso externo de 4.500 m de comprimento, 200 m de largura e 15 m de profundidade.

Figura 7 Mapa do PAC, mostrando a localização dos diversos terminais, e áreas de armazenagens



Fonte: Realização própria (2020)

Figura 8 Mapa do PAC mostrando a localização dos berços



Fonte: Realização própria (2020)

4.2. SITUAÇÃO FUTURA (PROJETO DE EXPANSÃO E DE DRAGAGEM)

O PAC dispõe de um projeto de ampliação em andamento (2019 - 2023) e é subdividido em três subprojetos: 1- Espigão (Azul leste); 2- Capacidade nos berços dos navios porta contêineres (cais Norte), 3- Extensão da zona de hidrocarbonetos (combustíveis) e de acesso portuário (Azul Oeste) (Figura 9).

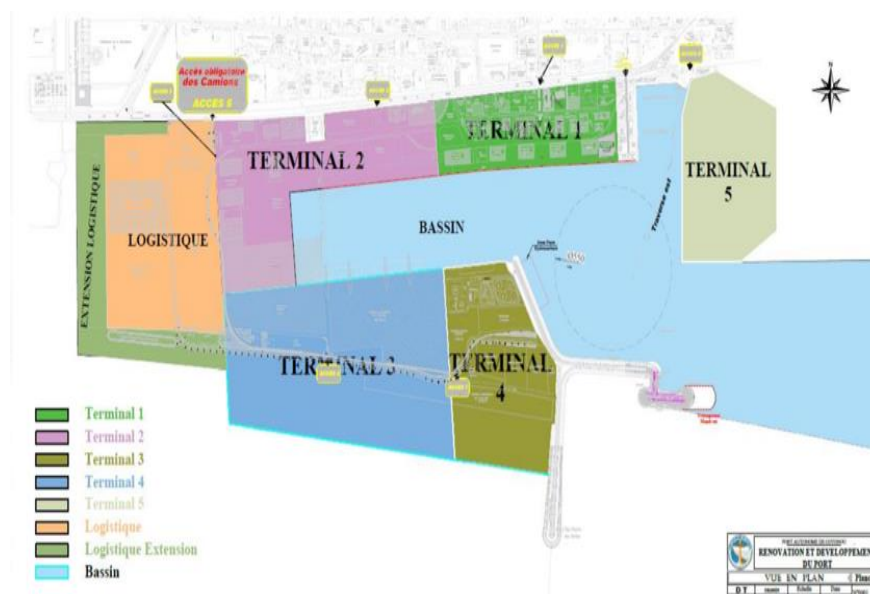
Após as obras, o novo PAC terá como principais características: (1) Infraestrutura antiga substituída, acesso de navios adaptados com demandas do mercado, profundidade de 15 m e comprimento por berço de 340 m (Figura 9); (2) Carga de contêiner, embarcações de 340 m e 14 m de calado (Figura 9), dois operadores equivalentes / concorrência, capacidade de movimentação anual de 1,8 até 2,0 milhão de TEU; (3) Carga geral: terminais modernos adaptados à demanda/dedicados e um aumento da capacidade; (4) Hidrocarbonetos: Aumento da capacidade da embarcação e da capacidade de armazenamento ; (5) O berço Ro-Ro 435 m de comprimento dedicado (Figura 9).

Figura 9 Mapa do PAC mostrando as obras de expansão no Oeste em azul e preto no leste e oeste e os terminais e área da logística, até o ano de 2023



Fonte PAC (2019)

Figura 10 Mapa do Plano Geral do PAC até o ano de 2023, mostrando os terminais, área da logística



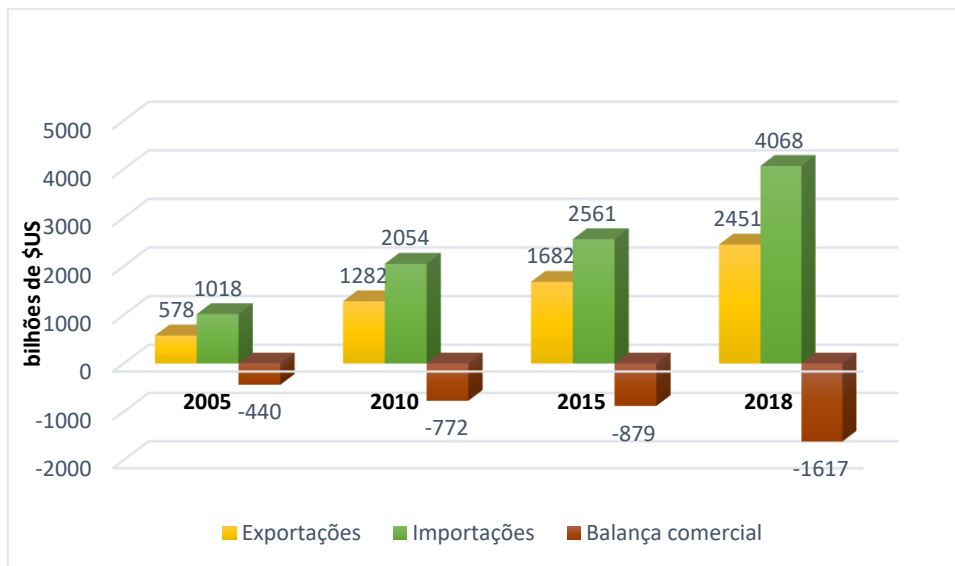
Fonte: PAC, 2019

No final da realização da obra, o PAC será organizado e dividido em 6, tendo 5 terminais (contêineres, cargas gerais, RO-RO, graneleiros e petroleiros) e uma área reservada para a logística (Figura 10). Que seja doca ou canal de entrada do porto, ambos serão dragados a 15 m.

4.3. DEMANDA DE CARGAS (TIPOS, QUANTIDADE, ORIGEM E DESTINO) E PRINCIPAIS ROTAS MARÍTIMAS

No PAC, as cargas são diversificadas em exportação e importação, a açúcar, arroz, matérias de construções, produtos eletrônicos e congelados são mais demandados da Espanha, China, Cingapura, Malásia, França, etc. Em exportação, os produtos que mais ofertados são algodão de (Benim, Mali e Burkina-Faso) e castanha de caju, oleaginosas (karité, manteiga de karité e sementes algodão) (PAC, 2019). Além disso há todos os itens de alimentos, minérios e metais, produtos manufaturados, matérias primas agrícolas, combustíveis e outros, portanto, o PAC sempre recebe mais do que enviar, isto justifica sua balança comercial negativa (Gráfico 1).

Gráfico 1 Comércio das cargas do PAC (bilhões de \$US) no período de 2005 – 2018

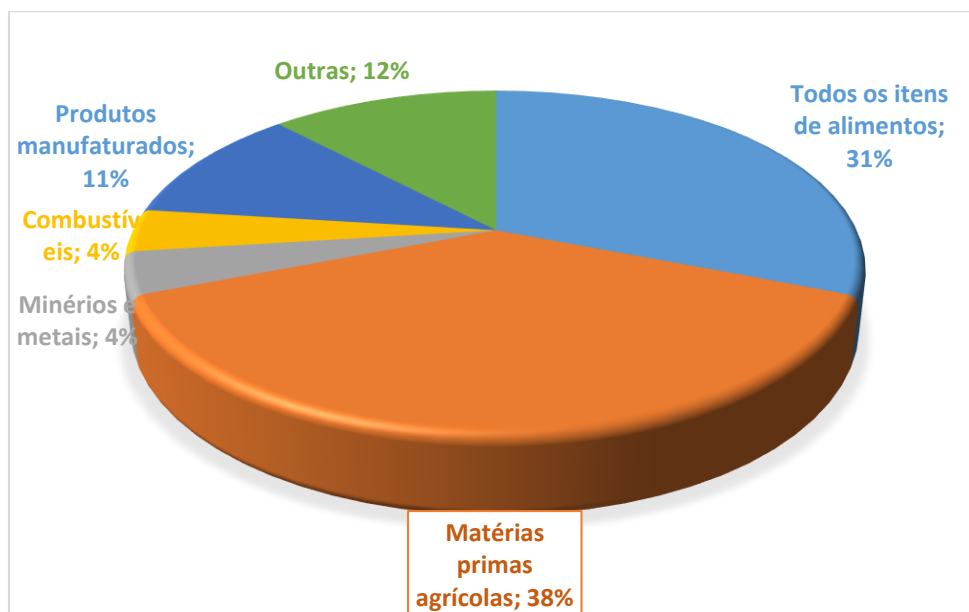


Fonte: (<http://unctadstat.unctad.org>) (2020)

Os valores das exportações e importações são crescentes durante o período 2005 a 2018, porém a balança comercial permanece negativa, ou seja, as importações ultrapassam as exportações. No ano 2018 no qual o porto importou mais, houve um aumento da balança comercial de -1617 em comparação do -879 de ano 2015 (Gráfico 1).

Segundo as estatísticas do PAC, as exportações registradas em 2018 são 1,17 milhões de toneladas e somente os itens de alimentos e matérias primas agrícolas pegaram respectivamente 38% e 31% e os minérios e metais e combustíveis saíram com pequenas porcentagens, ambos com 4% (Gráfico 2).

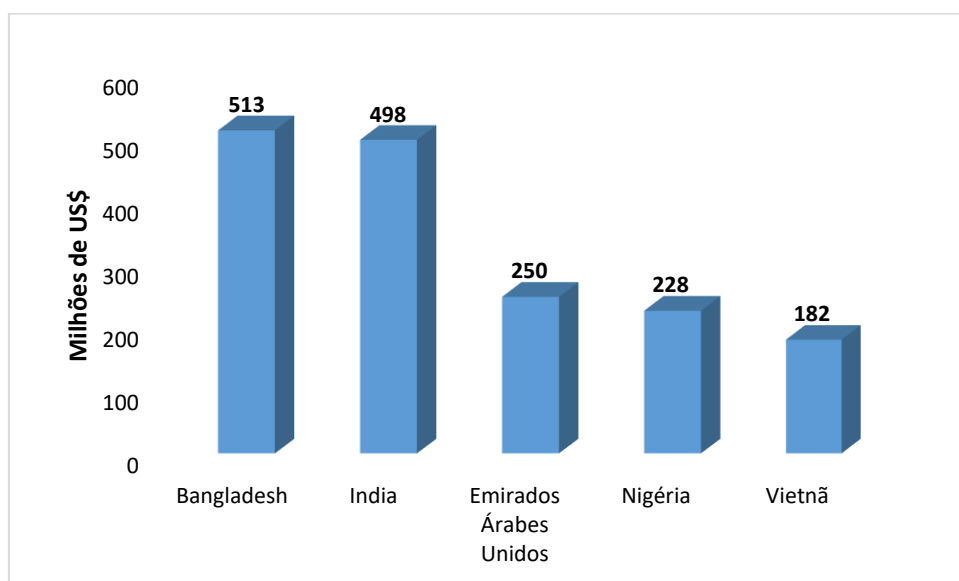
Gráfico 2 Repartição dos produtos exportados em 2018



Fonte: [\(2020\)](http://unctadstat.unctad.org)

Os produtos como alimentos e matérias primas de origem agrícola são os mais exportados e os 5 primeiros países (Bangladesh, Índia, Emiratos Árabes Unidos, Nigéria e Vietnã) de destinos e têm como origem o Benim, Níger, Burkina-Faso, Mali e Chade. Bangladesh e Índia são os dois primeiros clientes do porto que saíram com valores mais altos, respectivamente com 513 e 498 milhões de US dolares (Gráfico 3).

Gráfico 3 Os 5 primeiros clientes do PAC em 2018

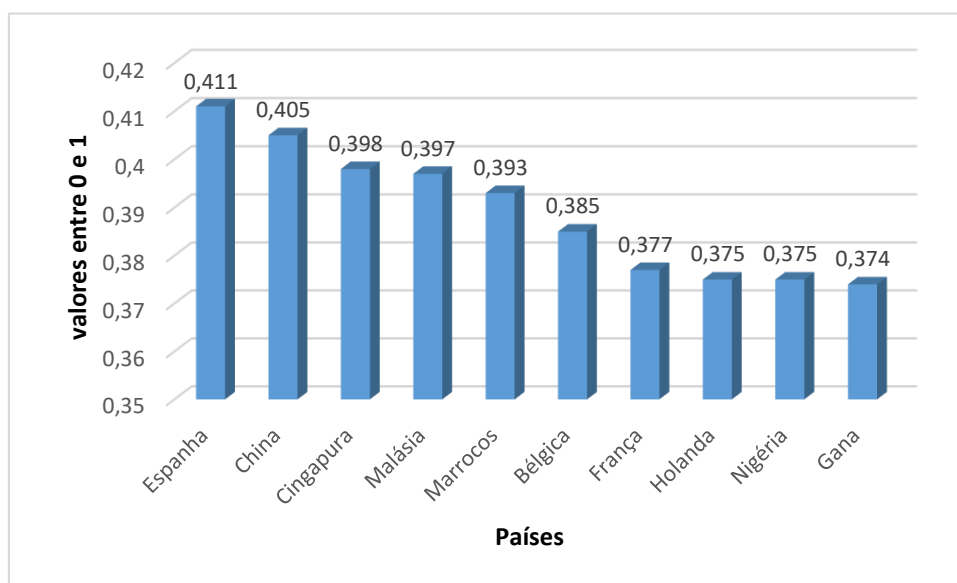


Fonte: [\(2018\)](http://unctadstat.unctad.org)

A maioria das cargas exportadas no PAC são matérias primas ou semi primas agrícolas e enquanto as cargas importadas são produtos prontos para serem usados, ou destinados ao consumo. Os países que mais importam pelos PAC são Níger, Mali, Burkina-Faso e que mais exportam pelo PAC são China, França, Índia, Estados Unidos da América, etc.

Segundo CNUCED (2018), a Espanha e a China ocupam o primeiro e o segundo lugar e a Nigéria e Gana ocupam, os últimos lugares segundo os tops 10 das principais rotas marítimas que frequentam o PAC. Isto significa que a Espanha e a China frequentam mais o PAC, na entrada e saída e Nigéria e Gana são os que frequentam menos o PAC entre os dez países. As linhas regulares do PAC foram listadas pelo *Unctad* (Gráfico 4).

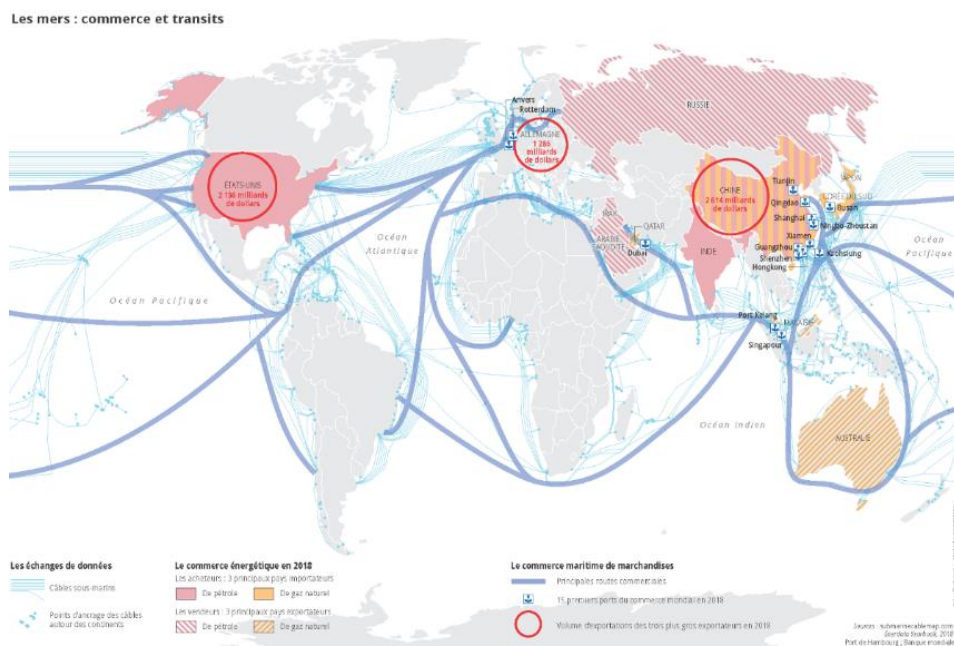
Gráfico 4 Top 10 de conectividade bilateral com o PAC



Fonte: <http://unctadstat.unctad.org> (2018)

A Figura 11 mostra as principais rotas marítimas no mundo, entretanto somente uma rota está sendo direcionada na costa da África ocidental. Os navios, vindo de outros continentes em direção à África ocidental e acessam portos com maior profundidade, tais como da Durban (África do Sul), Tanger Med (Marrocos) e de Lomé (Togo) antes de alimentar outros portos de pequenas profundidades da região (o exemplo: PAC). Porém, os navios de pequeno porte, com calados menores têm linhas diretas, regulares com os portos tais como o PAC.

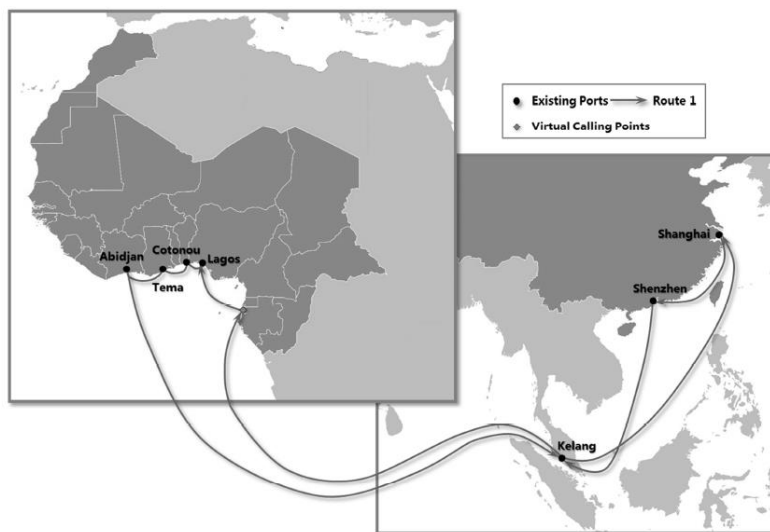
Figura 11 Linhas marítimas que têm conexão com a África ocidental, mostrando as principais rotas marítimas em Azul



Fonte: o mar, comércio marítimo mundial, 2020

Segundo Chen, Xu e Haralambides (2019) Lomé e Abidjan, são os principais portos de alimentações e de transitos, enquanto Cotonou e Lagos são principais portos troncais na região Ocidental (Figura 12). Isso não significa que as rotas são regulares, e mudam em relação ao aumento de cargas e das características dos portos. Na África ocidental, portos de Abidjan (Costa do Marfim) e de Pointe Noire (República do Congo) são os primeiros transitados pelas embarcações chinesas.

Figura 12 Rotas marítimas entre os portos da China e da África ocidental



Fonte: Chen, Xu e Haralambides (2019)

4.4. MODELO DE CUSTO DE TRANSPORTE MARÍTIMO NO PAC

As taxas portuárias, como em qualquer sistema de preços, são compostas de uma base de preços, com fatores relacionados ao serviço prestado, e um nível de preços que represente o equilíbrio de recuperação de custos e preço de mercado (LAVISSIERE, 2018). Na realidade, existem dois principais componentes: taxas portuárias sobre as cargas e taxas portuárias sobre navios. O mesmo autor ressaltou que as taxas portuárias sobre a carga cobrem o berço e seu cais e a linha terrestre da interface que um porto representa. Existem diferentes tipos de navios e todos precisam de uns berços dedicados, portanto, pagaram de uma forma diferente em termos de recuperação de custos. Ela tem um valor específico e é vista de maneira diferente tanto para o país quanto para o próprio porto, o que releva da sua sobrevivência.

Bandara et al. (2013) descobriram que 72% dos 119 portos em quatro continentes utilizam Tonelagem Bruta Registrada (GRT) e 21% utilizam Comprimento Sobre Todo (LOA) do navio. Além disso, o estudo não mencionou o sistema do metro cúbico que é a alternativa para a abordagem GRT/LOA, e é usado em muitos países de pico francês, particularmente na África. O Benim é um país de língua francesa cujo porto usa o metro cúbico como os outros portos da África ocidental, enquanto países como Marrocos usam ambos (GT e Metro Cúbico). A GT (Tonelagem Bruta), substituindo o GRT, é o sistema de medição de tonelagem universal introduzido pela Convenção Internacional sobre Medição de Tonelagem de Navios, adotada pela IMO em 1969, o qual entrou em vigor em julho de 1982 (LAVISSIERE 2018). Ademais, a GT é uma medida não linear do conjunto de volume interno do navio.

O sistema métrico calcula o volume cúbico em que o casco imerso de um navio caberia. Tal volume da embarcação é estabelecido usando a fórmula: $V = L \times b \times Te$, onde: V é expresso em metros cúbicos; L , b e Te representam respectivamente o comprimento total do navio, sua largura máxima e seu calado máximo de verão, e são expressos em metros e decímetros. O calado máximo não pode ser de jeito nenhum inferior do que $0,14 \times \sqrt{(L \times b)}$, ou seja $Te \geq 0,14 \times \sqrt{(L \times b)}$.

No PAC, as prestações de serviços são obrigatórias para todos os navios com volume acima de 1000 m³, exceto navios militares e de serviços.

Custos sobre navios

Todos os navios que chegam no PAC estão sujeitos a várias taxas que podem ser obrigatórias ou opcionais, diretas ou indiretas. Pode-se citar:

- Taxa de abrigo;
- Taxa de Praticagem;
- Taxa de atracação e desatracação;
- Taxa de reboque;
- Taxa de vigilância de segurança (por hora indivisível);
- Taxa de segurança portuária (ISPS):

A taxa é cobrada de acordo com a embalagem da carga. Cargas de transbordo e containers vazios não estão sujeitos a esta taxa. Os navios militares estão isentos do pagamento da taxa ISPS. A taxa é devida para cada período de permanência (tempo entre a chegada do navio no porto e sua partida) de 60 dias. Será cobrada uma taxa mínima para cada período de estadia;

- Fornecimento de água doce para navios (por m³ ou por tonelada);
- Transbordo de cargas (onshore e offshore): o transbordo onshore/onshore é gratuito. Somente o transbordo a bordo é cobrado;
- Containers vazios carregados e descarregados (manuseadores);
- Aluguéis diversos: O período de aluguel vai do momento em que o equipamento é colocado à disposição do cliente até o momento em que é entregue ou devolvido. As horas são indivisíveis;
- Taxas para combater a pirataria marítima;
- Outras taxas: Provisão de pessoal, Diverso (por homens), Assistência às caleiras (preço fixo por operação);

As taxas sobre as cargas são relativas para cada porto, baseadas nos vários modelos de custo. Em primeiro lugar, o custo de transporte marítimo de cargas no porto está relacionado ao tipo de carga transportada. Em segundo lugar, é calculado por contêiner ou por unidade de veículos, ou outro material rolante; por tonelada para outras cargas não em containerização; e por metro cúbico para cargas volumosas. As taxas são fixadas, classificadas e conhecidas pelos transportadores para determinadas cargas e calculadas em relação ao tamanho, volume e peso no

momento de passagem. Várias taxas são aplicadas em importação ou em exportação, e podem ser diretas ou indiretas.

Impostos diretos aplicados sobre cargas

Dentre elas, as mais aplicadas são:

- DA (Direito de Alfandegários) De acordo com a aplicação dos tipos de impostos de importação incluídos na Tarifa Externa Comum (TEC) (CEDEAO) , os bens gerais enquadram-se em cinco (5) grandes rubricas, nomeadamente: 1. Bens Sociais Essenciais (0%), 2. Matérias-primas e bens de capital (5%), 3. Produtos intermediários (10%), 4. Bens de consumo finais (20%), 5. Desenvolvimento de bens específicos para economia (35%).

- IVA (Imposto sobre o Valor Acrescentado) é aplicável sobre bens e serviços, o seu objetivo é a geração de receitas fiscais benefício de país ou da comunidade.

- TDU (Taxa de Desenvolvimento Urbano), ela é cobrada no cordão aduaneiro à taxa de 0,5% ad valorem sobre todas as cargas sujeitas ao regime de liberação para consumo, exceto para necessidades básicas, como açúcar, leite e produtos farmacêuticos.

- TE (Taxa Estatística), é estabelecida pela Tarifa Externa Comum da Comunidade Econômica dos Estados da África Ocidental (CEDEAO) a uma taxa de 1% ad valorem. Ela é cobrada especialmente sobre as cargas importadas sujeitas ao regime de liberação para consumo, declaradas para o trânsito ou para a reexportação.

- TSC (Taxa de solidariedade comunitária)

Taxas aplicadas sobre cargas

Outras taxas aplicadas sobre cargas são:

- Taxas sobre cargas importadas, transitadas, exportadas e transbordadas.

Taxas indiretas

- Taxa de estacionamento por tempo indeterminado;
- Penalidade de violação;
- Taxa de acesso à área portuária;
- Taxa de domínio;
- Outras taxas (cessões, aluguéis, penalidades e serviços diversos).

5. INSERÇÃO DO PAC NA ÁFRICA OCIDENTAL

O aumento da concorrência portuária e a busca por maior eficiência exigem uma redução no papel do País, tanto no planejamento quanto no gerenciamento de infraestrutura, para melhor integração em uma economia global mais competitiva.

5.1. A LOGÍSTICA DE TRANSPORTE NO PAC

Desde a década de 1980, o Benim abriu mão das atividades de remessa e trânsito portuário, concentradas nas mãos da Empresa Nacional de Trânsito e Consignação (SONATRAC) e da Empresa de Trânsito e Consignação de Benim (SOTRACOB). O porto é responsável pela manutenção e operação das instalações do Porto de Cotonou, gerenciando o domínio portuário e realizando trabalhos de melhoria e ampliação do porto.

Da mesma forma, as atividades de manuseio do porto estavam concentradas na ODAMAP, SOBEMAP e são exercidas atualmente por diferentes operadores:

- Empresa Beninense de Movimentação Portuária SOBEMAP (granel e contêineres);
- Filial de Cotonou Manutenção do Grupo AP MOELLER (contêineres);
- Benim BOLLORE Terminal do grupo (contêineres);
- Terminal RORO do Grupo GRIMALDI (veículos usados e, alternativamente, contêineres);
- ORYX BENIM do grupo ORYX / ADDAX (produtos de petróleo e gás);
- Empresa Nacional de Comercialização de Produtos Petrolíferos (SONACOP) (produtos de petróleo e gás) e outras.

O PAC represente a interface das empresas de logística. Assim cada empresa possui seus equipamentos de logística afim de responder as expectativas dos clientes. No PAC, existem vários equipamentos que servem de apoio ao manuseio das cargas, no momento de carregamento e de descarregamento.

A área portuária é caracterizada principalmente pela alta intensidade administrativa intensidade das formalidades administrativas e movimento limitado de cargas. Os principais atores são: os serviços aduaneiros, a autoridade portuária operador de terminal, agente marítimo, agente de frete e transportador (rodoviário ou

ferroviário). As formalidades incluem a troca de vários documentos incluindo o manifesto, a declaração, a autorização de trânsito, licença de saída (BAE), licença de entrega (BAD), a marcação para a coleta das cargas e a licença de saída do porto.

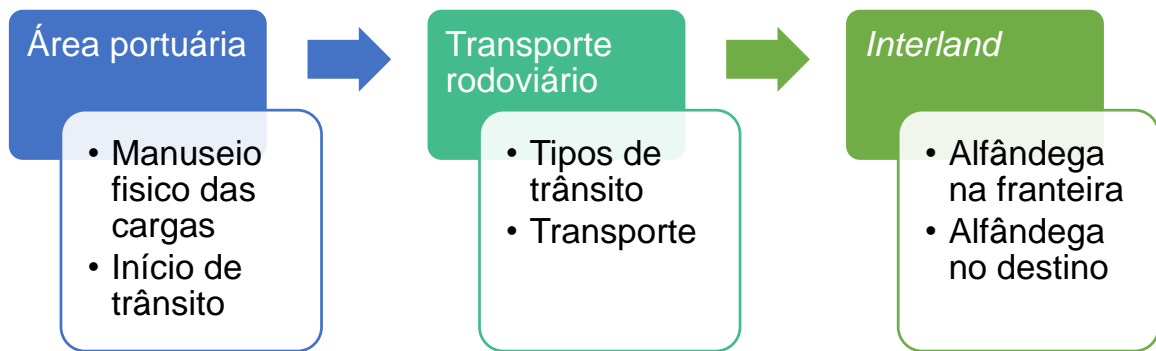
Figura 13a Atores da área portuária



Fonte: Elaboração própria

A logística atual das cargas é o conjunto dos equipamentos para movimentação das cargas (portêineres, guindastes, spreaderes, torre sugadora, reach stacker, transtêiner, empilhadeiras, esteira de carga, straddle carrier ou straddle truck, forklift ou empilhadeira de pequeno porte, paleteira e equipamentos de amarração ou de içamento) bem como outros meios de facilitar a saída ou entrada rápida e econômica das cargas (serviços, infraestruturas e organização de fluxo de cargas no porto). Cada empresa de logística coloca à disposição seus meios logísticos para determinados tipos de serviços ou de manuseio. Após as formalidades e serviços de manuseio, as cargas saiam e seguem para destino final (interior do país ou Níger, Burkina-Faso, Mali, Chade, Nigéria).

Figura 14b Trânsito para *Interland*



Fonte :Realização própria

5.2. COMPETIÇÃO PORTUÁRIA NA ÁFRICA OCIDENTAL

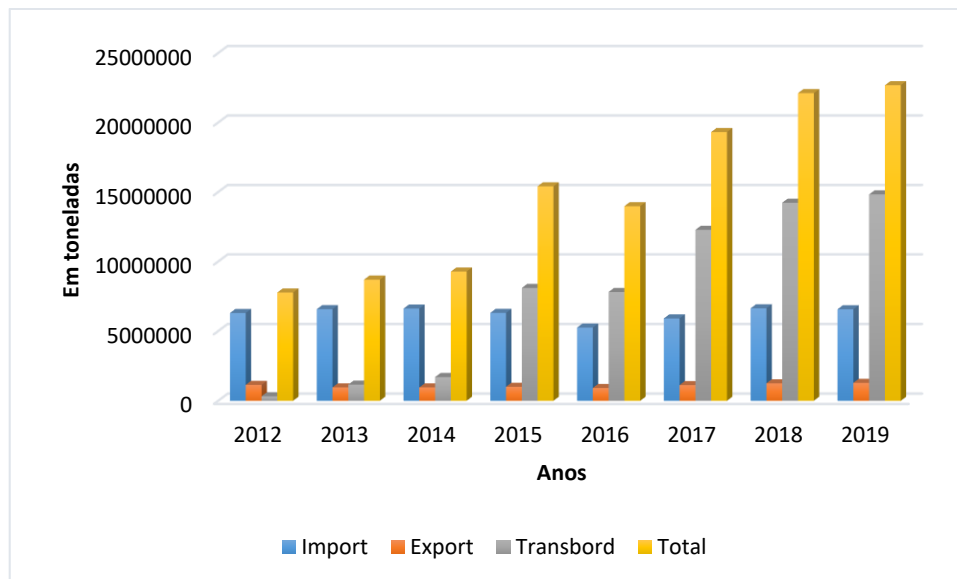
Na África ocidental, a concorrência entre os principais portos é alta, tais como os de Lomé (Togo) Abidjan (Costa do Marfim), Lagos (Nigéria), Cotonou (Benim), Tema (Gana) e Dakar (Senegal). O PAC viu crescer levemente suas cargas entre os anos 2000 e 2014; já entre 2015 e 2016, teve uma queda que desequilibrou a tal evolução exponencial, entretanto outro crescimento iniciou-se em 2017, mas caiu em seguida em 2019. A movimentação total das cargas (importação, exportação e transbordo) no PAC apresenta uma taxa de importação sempre mais alta do que a de exportação, no período de 2000 a 2019, tais como os demais portos da África Ocidental; isto justifica sua balança comercial negativa (Figura 14).

Figura 15 Estatísticas anuais do PAC entre 2000 e 2019, em tonelagem, mostrando as importações (azul), exportações (laranja), transbordo (amarelo) e totais (preto)



Fonte: PAC 2020

Gráfico 5 Movimentação total de cargas (importação, exportação e transbordo) no Porto de Lomé, no período de 2012 e 2019

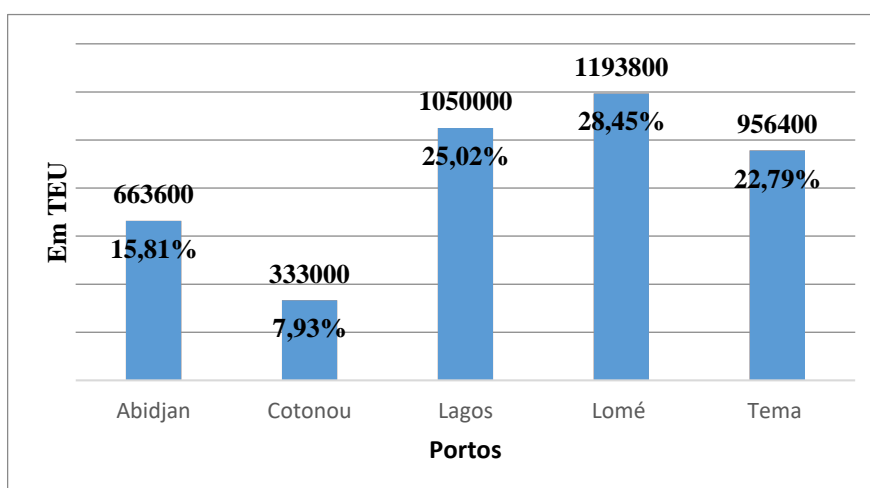


(Fonte: Porto de Lomé, 2020)

No período de 2017 e 2019, o Porto de Lomé registrou uma alta quantidade de transbordo e uma baixa quantidade de importação e de exportação. A alta quantidade de transbordo no Porto de Lomé pode ser justificada por sua profundidade (17 m), pela qualidade de seus serviços e pelas suas taxas portuárias competitivas.

Em relação à movimentação total de contêineres na região, Lomé está na liderança com 1,4 milhões de TEU á frente de Tema (1,01 milhões de TEU), de Pointe-Noire (739 000 TEU) e de Cotonou com 333.000 TEU. Com exceção do porto de Lagos, que não tem quase nenhuma relação com a *hinterland* por causa da sua distância com o Norte, os restantes tentam conquistar o Burkina-Faso e Níger através de seus marketings e investimentos portuários. Então, para os portos vizinhos (geograficamente próximos), as variáveis sob o controle dos gestores portuários (investimento portuário, marketing) podem ser usadas para competir e aumentar sua demanda de infraestrutura portuária (GALLEGO; SÁNCHEZ; MILLÁN, 2020). Em 2017, o PAC é o nono porto dentre os 13 portos de contêineres da região e último entre os 5 vizinhos (Gráfico 6).

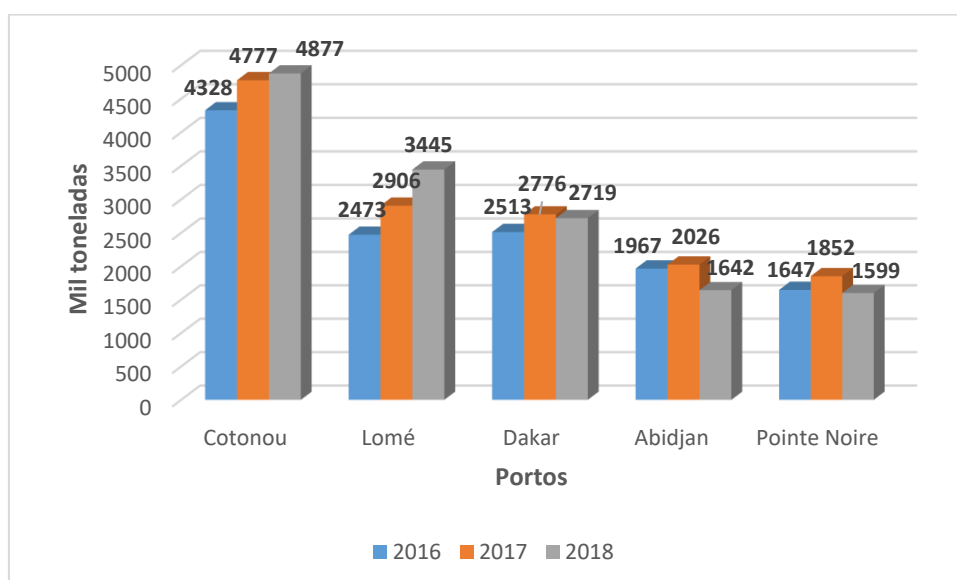
Gráfico 6 Movimentações de contêineres em TEU de 2017 entre os portos vizinhos



Fonte: Elaboração própria (2020)

A geolocalização do PAC é uma vantagem para tornar-se o melhor porto de trânsito. Em 2016, 2017 e 2018 este foi o melhor porto de trânsito na frente de Lomé, Dakar, Abidjan e Pointe-Noire (Gráfico 7). Um volume grande de carga geral atravessou do PAC para *hinterland* por causa da distância e tempo para alcançar o Norte do país e da sua qualidade das infraestruturas rodoviárias.

Gráfico 7 Trânsito pelos portos da África ocidental mostrando posições dos anos 2016 (Azul), 2017(Laranja) e de 2018 (Cinza)



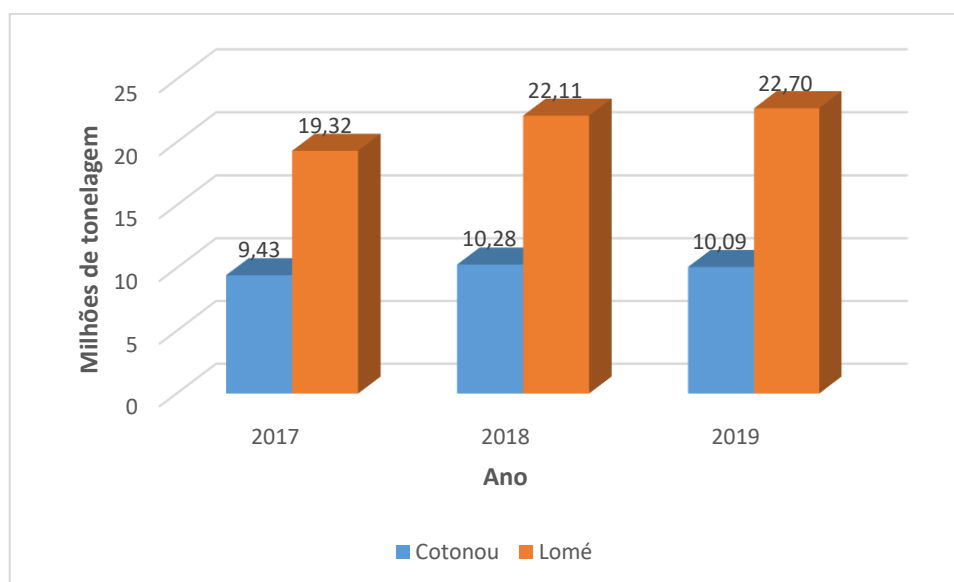
Fonte: *Fondation African Ports Awards* (2018)

As movimentações totais do porto de Lomé estão sempre em alta, (Gráfico 8), isto mostrou que o Lomé recebe mais navios, e movimenta mais cargas. O resultado

de um porto comercial é sempre derivado das suas capacidades de satisfazer as expectativas dos clientes. As capacidades resumidas em infraestruturas adequadas, equipamentos em quantidade suficiente e em qualidade, serviços e taxas portuárias competitivos.

Ao comparar as movimentações totais (importação, exportação e transbordo) do PAC com as do porto de Lomé (Togo) entre 2017, 2018 e 2019, percebe-se que o porto de Lomé movimentou mais de 2 vezes a carga total do PAC.

Gráfico 8 Comparação de movimentação total (importação, exportação e transbordo) entre Cotonou (Benim) e Lomé (Togo) em 2017, 2018 e 2019



Fonte: Realização própria (2020)

Os portos de Lagos e de Lomé são os que têm maior tonelagem média movimentada na África Ocidental nos últimos 4 anos (Tabela 5). O porto de Lagos, apesar de ter o menor calado (15 m) do que o de Lomé (17 m) e a menor movimentação de média de navios (95) do que Lomé (115) registrou a maior tonelagem média movimentada, isto pode ser justificado pelos recursos minérios e petrolíferos disponibilizados no país (<https://nigerianports.gov.ng/>). O porto de Abidjan é o único por enquanto, que opera em águas profundas por causa de sua infraestrutura *offshore*. Este porto deve sua existência ao canal de Vridi, com 2.700 m de comprimento e 370 m de largura (<http://www.portabidjan.ci/>). O porto de Tema é o maior de Gana e está situado na costa Leste do país. Este tem 16m de calado, o maior no porto, 19 m do canal do acesso, 18 berços e tonelagem média

movimentada de 22.000.000 (<https://www.ghanaports.gov.gh/>). O porto de Lomé (Togo) está situado estrategicamente, sendo o único porto na costa da África Ocidental, a partir do qual várias cidades podem ser alcançadas por estrada em um dia. Este porto oferece a vantagem de acomodar navios da nova geração (até 14.500 contêineres) e movimentar cargas dentro de um prazo razoável a um custo muito competitivo. O porto de Lomé é a força motriz da economia togolesa, movimentando mais de 80 % do fluxo comercial (www.togo-port.net).

Tabela 6 Características do Porto de Cotonou e da África ocidental

Países	Portos	Profundidade (m)	Canal do acesso (m)	Nº de berços	Duração da estadia das cargas (dias)	Nº médio/ mês de navios	Tonelagem média movimentada/4 últimos anos
Benim	Cotonou	10 a 15	15	11	-	85	10.000.000
Costa do marfim	Abidjan	13,5 a 16	18	21	15,70	160	22.500.000
Gana	Tema	9; 11,50 a 16	18,2 a 19	18	18	129	22.000.000
Nigéria	Lagos	15	-	-	25	95	41.000.000
Togo	Lomé	16,50 a 17	18	13	-	115	30.000.000
Senegal	Dakar	9 a 13	13,5	20	-	-	18.000.000

Fonte: Realização própria (2020)

6. RESULTADOS

6.1. LÓGICA FUZZY

O método *fuzzy*, utilizou-se de SBRF (Sistema Baseado em Regra Fuzzy) para análise de viabilidade logística do PAC, aplicando a característica de Mamdani para modelar a qualidade das infraestruturas e dos serviços, produtividade dos equipamentos e do custo logístico das cargas no porto. Oliveira Junior et al. (2007); Manuela (2018) apresentam uma forma interessante de representar os controladores baseados em lógica *fuzzy* por meio de Matlab, uma ferramenta bastante apropriada para a construção de sistema matemáticos e simulações de conceitos computacionais. O desenvolvimento de sistema baseado em lógica *fuzzy* entra com quatro variáveis e sai com uma variável, inicializado no ambiente *fuzzy* na ferramenta Matlab (por meio da lógica *fuzzy* na janela de comando).

O problema a ser resolvido neste trabalho é: como avaliar a viabilidade logística de um porto marítimo levando em conta as características como: a qualidade das infraestruturas, a produtividade dos equipamentos, a qualidade dos serviços portuários e o custo logística das cargas no porto.

Com o objetivo de realizar uma análise de viabilidade logística portuária, é necessário introduzir o problema em entrevista para os Professores da área portuária, da Logística, os profissionais que atuam no Porto ou na Logística Portuária e os gerentes do Porto (pelo menos com 5 anos de atuação). Diante disso, deve-se introduzir a proposta para que sejam definidos os termos linguísticos “curto prazo” “médio prazo” ou “longo prazo” através da relação entre as quatro variáveis escolhidas.

Então, a partir dos resultados da entrevista sobre qual seria a viabilidade logística de um porto, levando em consideração essas quatro características, pode-se introduzir o conceito da base de regras, incluindo as quatro variáveis apresentadas para análise de viabilidade.

Na tabela 7, são apresentadas as variáveis de entradas e de saída, sendo cada variável é avaliada num universo. A diferença entre o conjunto clássico e o conjunto fuzzy cria-se os conjuntos fuzzy das variáveis. A qualidade das infraestruturas, a produtividade dos equipamentos, a qualidade de serviços, o custo logístico (em dólar USA) e a viabilidade logística do porto estão representando respectivamente [0; 0; 0; 100; 1] como mínimo e [10; 50; 10; 1000; 25] como

máximo, nos quais o [0; 0; 0; 100; 1] significam uma baixa classificação e [10; 50; 10; 1000 e 25] significam a melhor classificação de cada uma das variáveis.

O universo de avaliação de produtividade de equipamentos foi definido de acordo com o movimento por hora MPH de um equipamento de manutenção portuária dos navios portes contêineres na África, onde é raro alcançar a meta de 50 MPH de um equipamento (guindaste ou portêiner). Segundo Lourdes, Maria e Juan (2013), o número de movimentos de contêineres por hora na África é entre 10 e 20, em comparação com 25 a 30 nos principais portos mundiais ou ainda pior quando eles usam equipamentos de navios com apenas 7 e 10 movimentos por hora. Mas hoje em dia, esses números são ultrapassados, por enquanto, será mantida a meta 50 MPH de um equipamento.

Um universo de avaliação da variável qualidade de serviços e de custo, respectivamente [0, 10] e [100, 1000] foram definidos para avaliar os serviços portuários.

O universo de avaliação da variável de saída viabilidade logística foi definido em relação com o tempo da amortização das infraestruturas e dos equipamentos. Segundo o Council “Metropole” de 04 março de 2016, as infraestruturas portuárias têm uma duração de amortização de 30 anos. Portanto, a amortização dos equipamentos é menor de 30 anos, cujo intervalo varia de 1 a 25 anos.

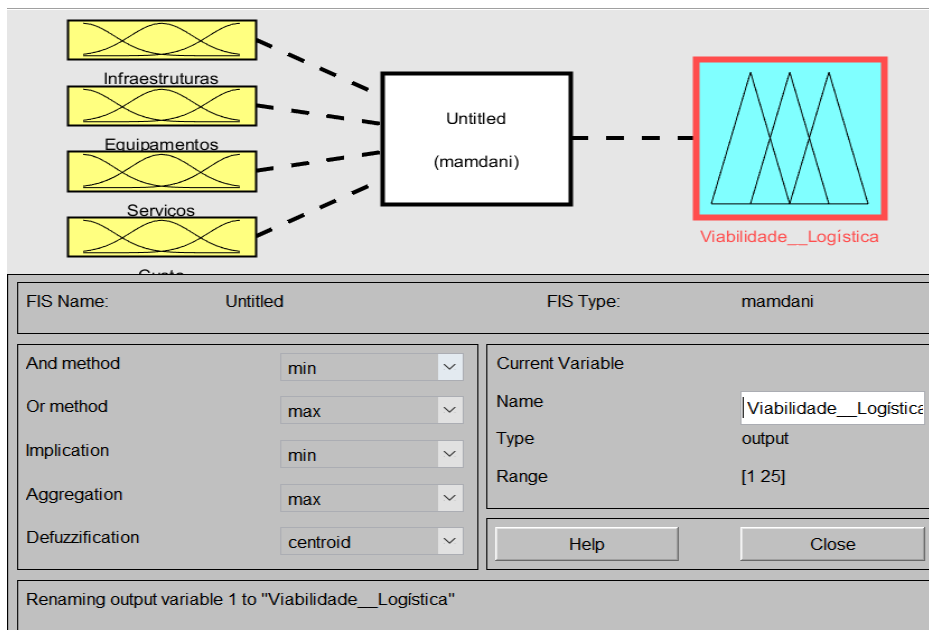
Tabela 7 Variáveis linguísticas, universo de avaliação, termos linguísticos

Situação	Variáveis	Universo de avaliação	Termos linguísticos
Entradas (antecedentes)	Qualidade das Infraestruturas (QI)	[0; 10]	[Regular,Boa, Excelente]
	Produtividade Equipamento por hora (MPH)	[0; 50]	[Regular,Boa, Excelente]
	Qualidade de serviços (QS)	[0;10]	[Regular,Boa, Excelente]
	Custo Logístico (CL)	[100;1000]	[Baixo,Regular, Alto]
Saída (consequente)	Viabilidade Logística (VL)	[1, 25]	[Longo Prazo, Médio Prazo, Curto Prazo]

Fonte: Realização própria (2020)

Na figura15a é apresentada a visão geral da estrutura de lógica fuzzy, tanto como as entradas, o módulo de regras, de inferência e de saída. Nas figuras 15b, 15c, 15d, 15e, 15f são apresentadas detalhadamente as características de cada entrada, base de regras e de saída.

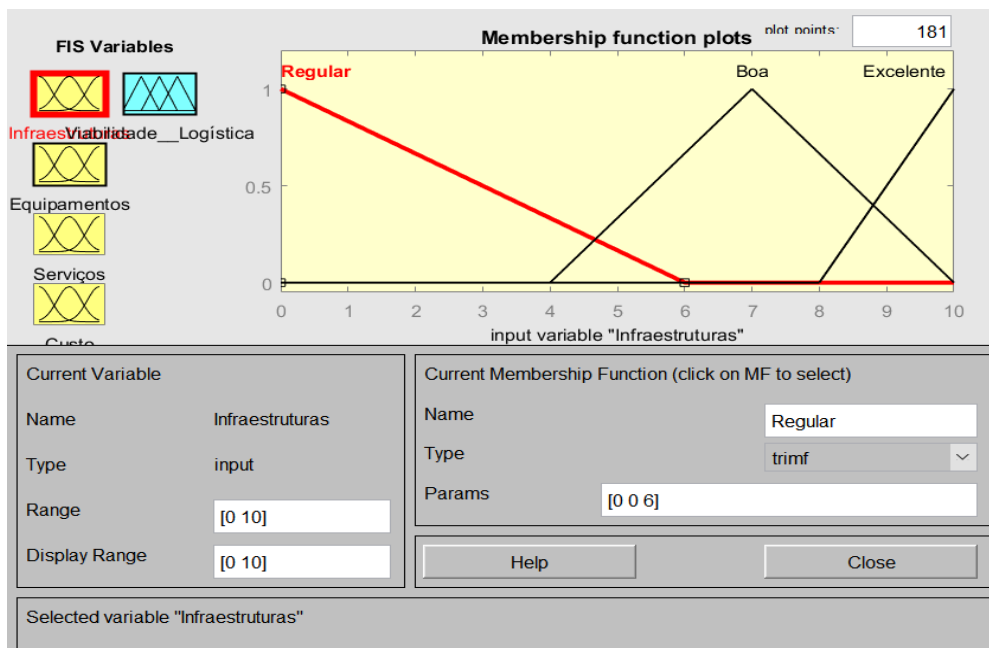
Figura 16a Estrutura da lógica fuzzy com as variáveis de entrada (amarelo): qualidade das infraestruturas, produtividade dos equipamentos, qualidade dos serviços, custos logísticos e variável de saída (azul) (Figura elaborada no MATLAB)



Fonte: Realização própria (2021)

Entre a entrada (parte amarelos) e a saída (parte azul) é citada a existência de um algoritmo baseado nas regras criadas e analisadas em conjunto, sem grande aprofundamento, apresentando os detalhes das regras na figura 15a.

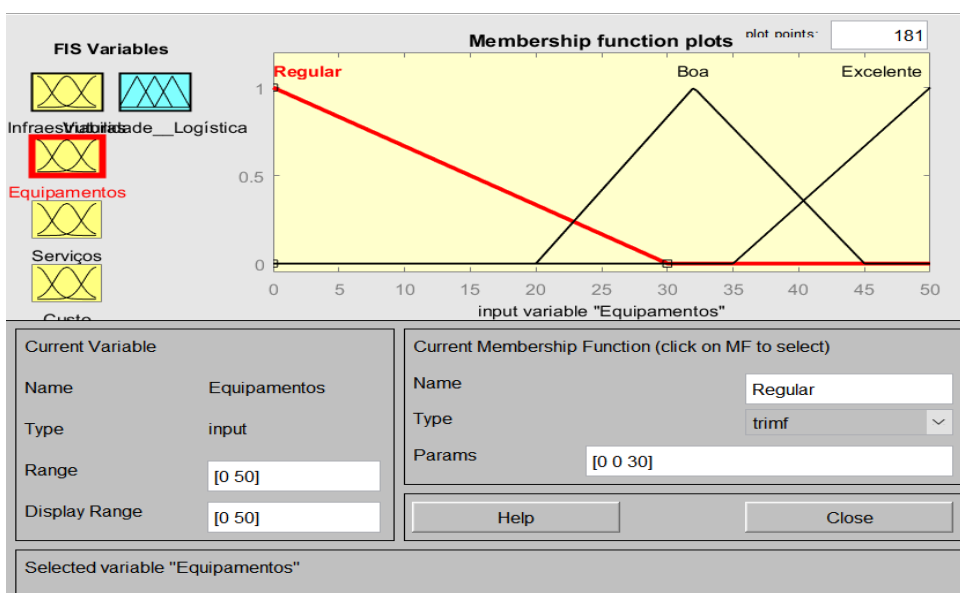
Figura 17b Variável da qualidade de infraestruturas (elaborada no MATLAB)



Fonte: Realização própria (2021)

A variável produtividade de equipamentos é considerada regular, quando o universo de avaliação fica entre $[0, 22.5]$, boa quando ele fica entre $[22.5, 40]$ e a partir de 41 ela pode ser considerada excelente. Entre o 30 e 35; o grau de pertinência do conjunto boa é máxima, ou seja, entre um MPH máximo de 50, se um equipamento alcançasse um MPH de 32,5 o grau de pertinência é 100% boa. O 40 MPH é o ponto no qual ocorre a nebulosidade máxima entre boa e excelente, a partir de 41 MPH, o grau de pertinência excelente é maior do que boa e pode ser qualificado a partir daí, uma excelente produtividade por hora por equipamento.

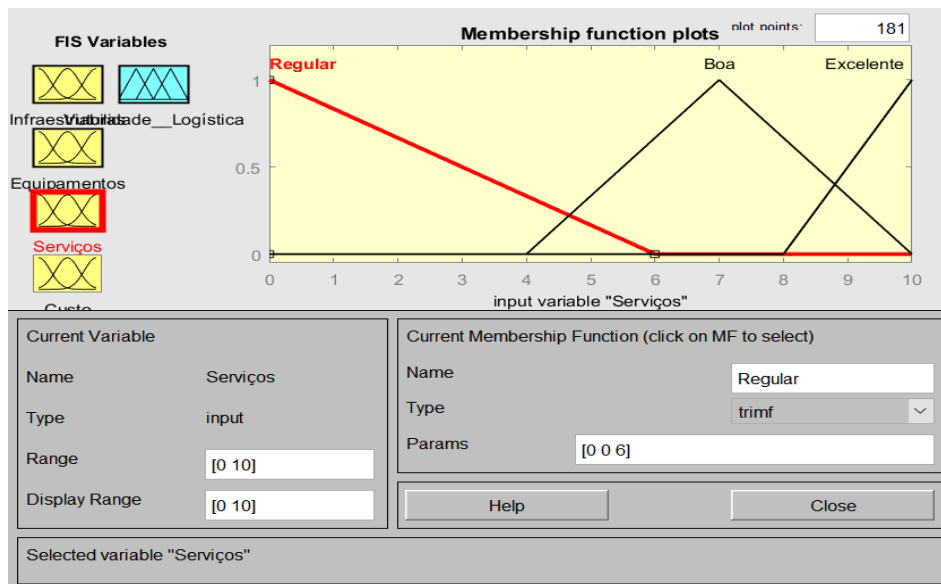
Figura 18c Variável da produtividade de equipamentos (elaborada no MATLAB)



Fonte: Realização própria (2021)

Assim como a qualidade de infraestruturas e produtividade de equipamentos, a qualidade de serviços possui 3 termos linguísticos é considerada regular quando o universo de avaliação é cumprido entre 0 e 4,9; boa a partir de 5 até 8,7 na qual muda para excelente.

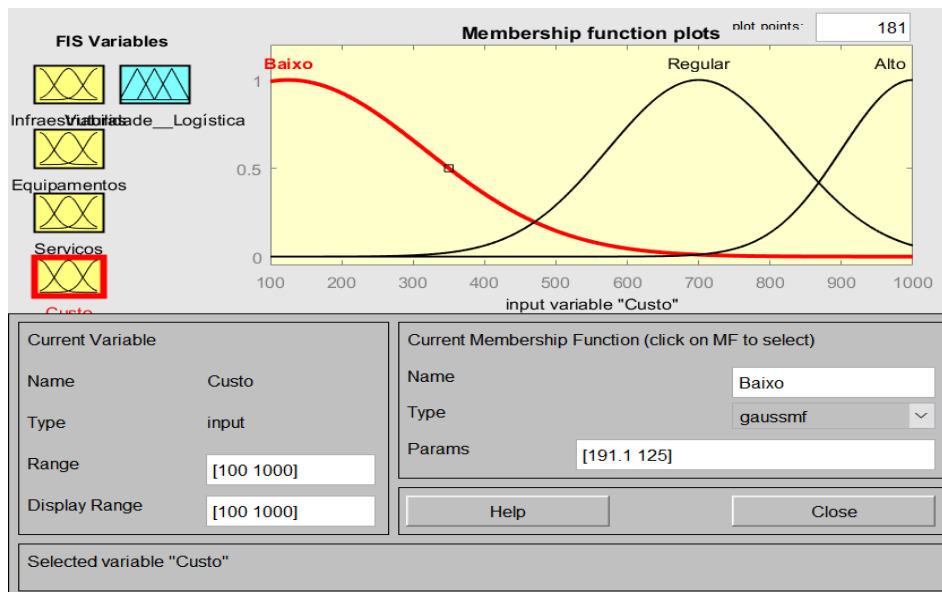
Figura 19d Variável da qualidade de serviços (elaborada no MATLAB)



Fonte: Realização própria (2021)

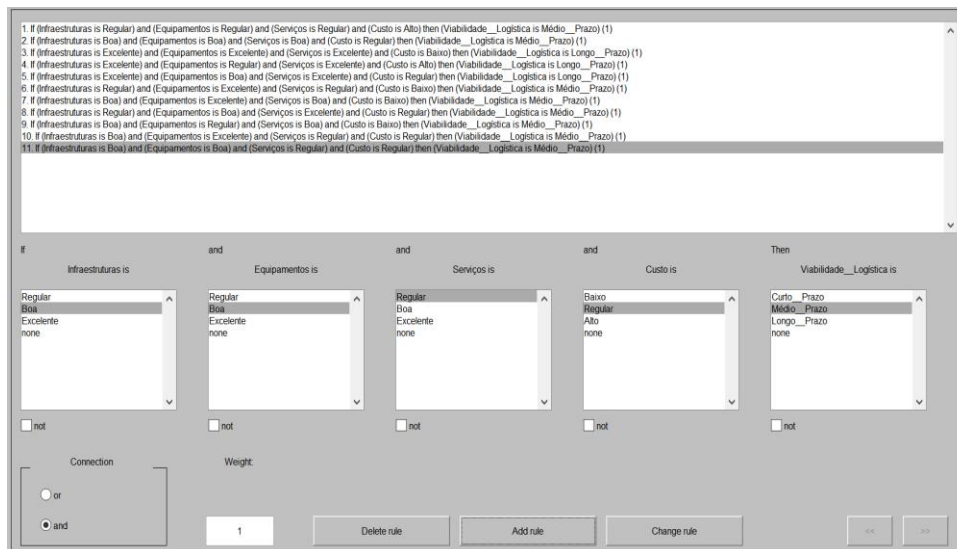
Veja o universo de avaliação de variável custo logístico das cargas que vare de \$100 (o mínimo valor possível de custo logístico por cargas) e \$1000 (o máximo valor possível de custo logístico por cargas). Este valor permite a avaliação de custo logístico de cargas.

Figura 20e Variável do custo logístico das cargas (Elaborada no MATLAB)



Fonte: Realização própria (2021)

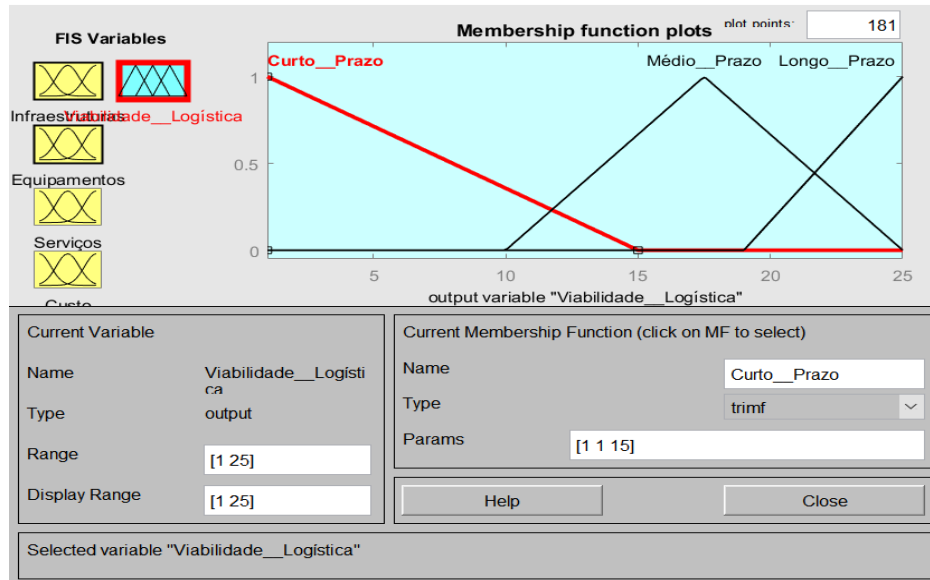
Figura 21f Método de inferência fuzzy



Fonte: Realização própria (2021)

Como saída, os conjuntos de variável de viabilidade logística são apresentados na figura 15g, no qual “1” é o mínimo da qualificação de viabilidade logística de curto prazo e “25” é o máximo da qualificação de viabilidade logística de longo prazo. A viabilidade logística é considerada de curto prazo quando o universo de avaliação pertence ao intervalo de 1 a 11 anos e 11 a 21 anos médio prazo, muda para longo prazo quando anos ultrapassa de 21 anos.

Figura 22g Variável de viabilidade logística (Elaborada no MATLAB)

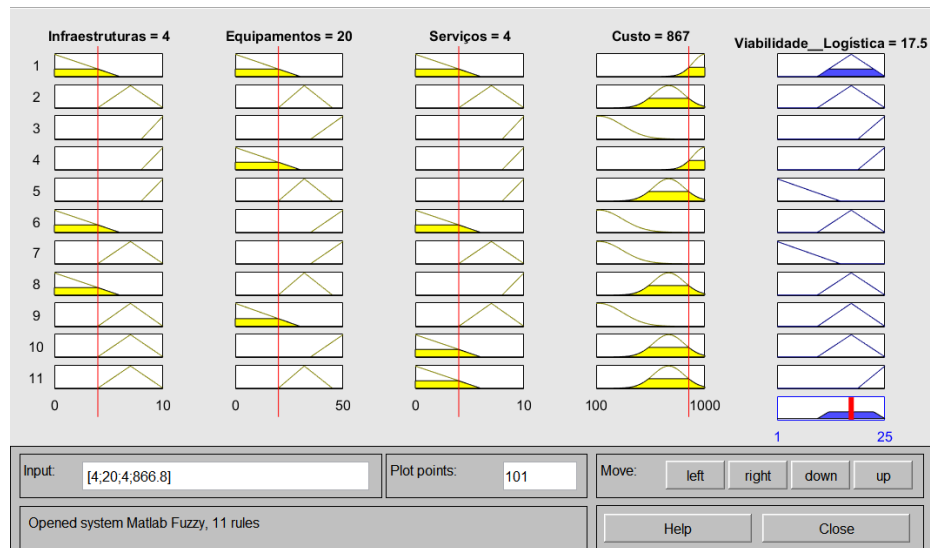


Fonte: Realização própria (2021)

Após todos os dados serem adicionados ao software (tanto os conjuntos fuzzy de entrada e de saída como a base de regras), é feita a inclusão dos dados da simulação das variáveis com o universo de avaliação equivalentes de cada variável. Com esta inserção de dados feita, é possível qualificar a viabilidade logística do PAC de acordo com os dados que se tenha para as quatro variáveis, apresentadas na figura 16a, a regra R1 da tabela 5 de base de regras.

Os cursores vermelhos da figura 16a mostram em cada coluna, a qualidade de infraestruturas portuárias “regular” (valendo 4), a produtividade de equipamentos de manuseio “regular” (valendo 20), a qualidade de serviços portuários “regular” (valendo 4) e o custo logístico das cargas “alto” (valendo 867). Logo a viabilidade logística portuária saiu com “médio prazo”, correspondente a “17.5”.

Figura 23a Regra 1 (Elaborada no MATLAB)



Fonte: Realização própria (2021)

Semelhantemente na figura 16b de regra 10; a qualidade de infraestruturas é “boa” (equivalente a 7), a qualidade de produtividade é “boa” (equivalente a 30), a qualidade de serviço é “boa” (equivalente a 7) e o custo logístico é “regular” (equivalente a 450), logo a qualidade da viabilidade logística é “médio prazo” com valor correspondente a “17.5”.

Figura 24b Regra 10 (Elaborada no MATLAB)

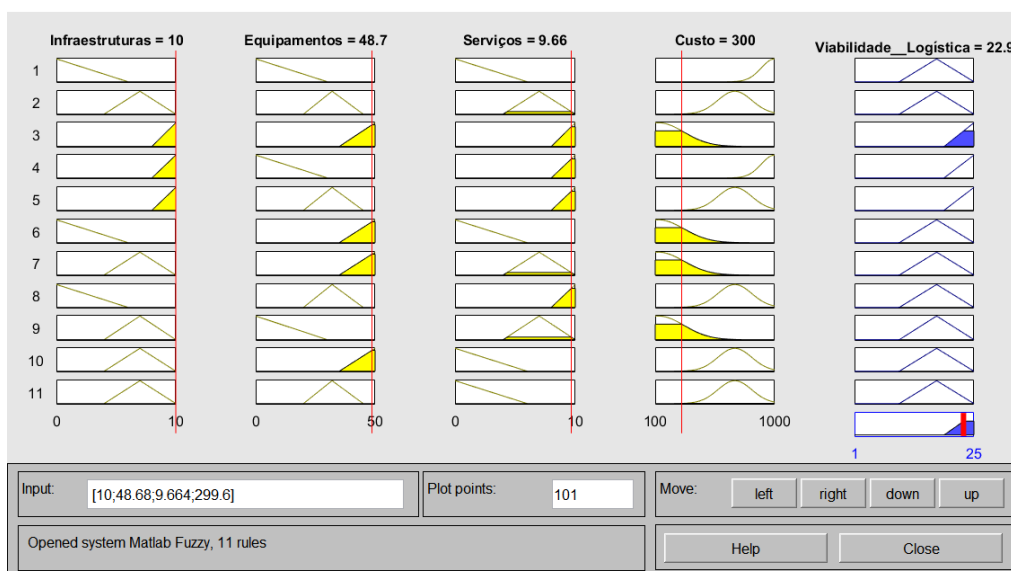


Fonte: Realização própria (2021)

Agora veja na figura 16c de regras 3 quando a qualidade de infraestruturas é excelente (equivalente a 10), a produtividade de equipamentos é excelente

(equivalente a 48,7), a qualidade de serviços é excelente (equivalente a 9,66) e o custo é baixo (equivalente a 300), a qualidade de viabilidade logística portuária saiu com longo prazo, corresponde a 22,9 (sinalizado pelo cursor vermelho da quinta coluna).

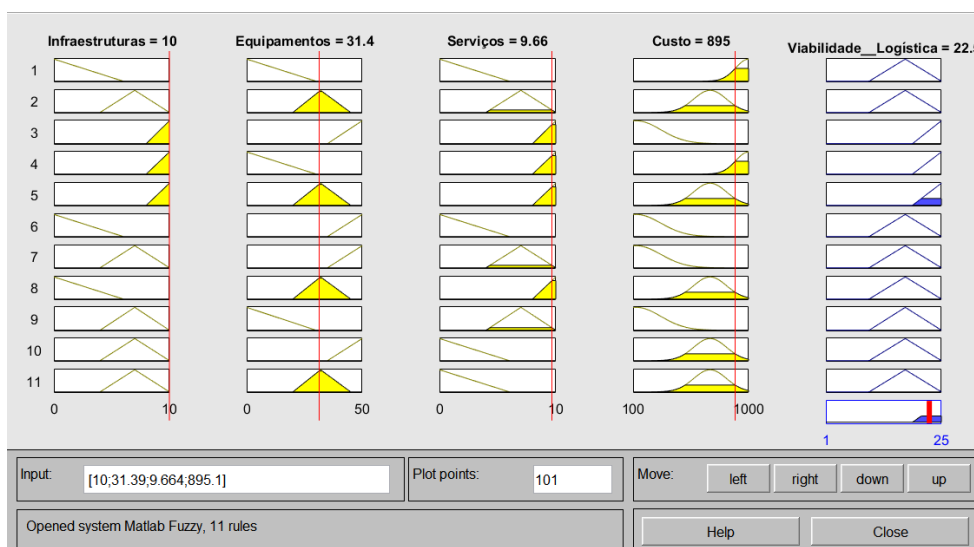
Figura 25c Regra 3 (Elaborada no Matlab)



Fonte: Realização própria (2021)

A qualidade de viabilidade logística é também de longo prazo com valor corresponde a 22.5 na figura 16d de regra 4, quando a qualidade de infraestruturas é excelente (equivalente a 10), produtividade de equipamentos é boa (equivalente a 31,4), a qualidade de serviços é excelente (equivalente a 9,66) e o custo logística é alto (equivalente a 895) sinalizado pelos cursores vermelhos em cada coluna.

Figura 26d Regra 4 (Elaborada no Matlab)



Fonte: Realização própria (2021)

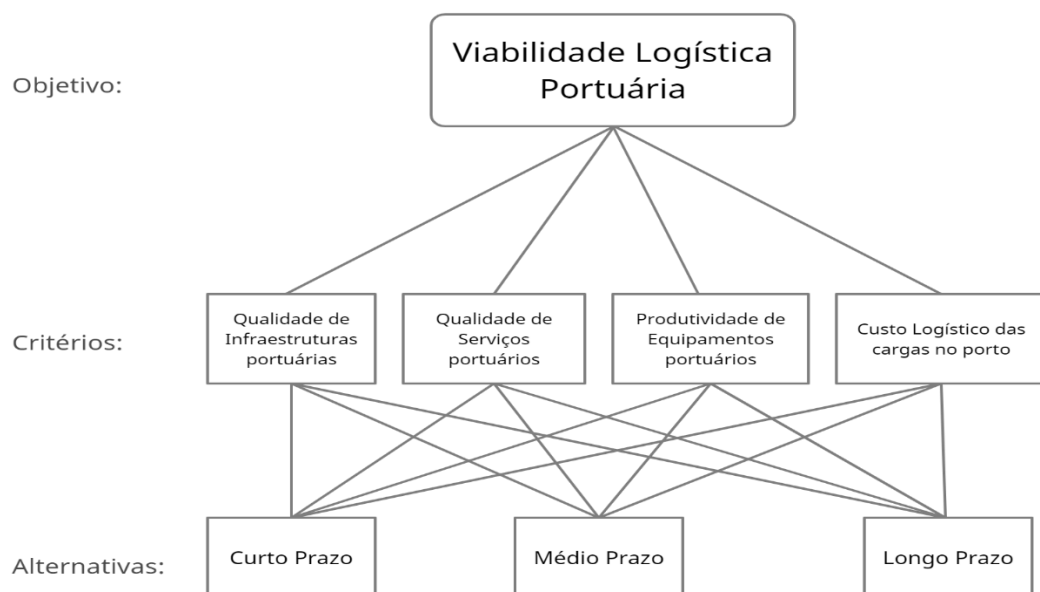
As regras *fuzzy* no modelo baseado em lógica *fuzzy* são traduzidas após a modelagem em números reais. Quando as entradas foram reais, esperava-se ter saídas também reais.

6.2. AHP

6.2.1. Estruturação dos critérios na hierarquia do AHP

Baseando-se em consulta documental, em entrevistas e em revisão bibliográfica, os principais critérios foram identificados. No total, quatro critérios (a qualidade de infraestruturas portuárias, a qualidade de serviços portuários, a produtividade de equipamentos portuários e o custo logístico de cargas no porto).

Figura 27 Estrutura dos critérios na hierarquia do AHP



Fonte: Realização própria (2021)

6.2.2. Coleta de julgamento dos critérios, cálculo das prioridades e consistência

A matriz de comparação par a par para os critérios (Qualidade de Infraestruturas portuárias (QI), Qualidade de serviços portuários (QS), Produtividade de equipamentos portuários (PE) e Custo Logístico das cargas no (CL)) com relação ao objetivo segundo o resultado de entrevista se apresenta na tabela 8 como a matriz é de ordem 4, o total de comparações par a par é 6 obtido pela seguinte fórmula:

$$\frac{n(n-1)}{2} \quad (9)$$

Onde n é o número de critérios.

Tabela 8 Matriz de Julgamento dos critérios

	QI	QS	PE	CL
QI	1	8	3	7
QS	1/8	1	1/3	1/2
PE	1/3	3	1	5
CL	1/7	2	1/5	1
Total	1,60	14,00	4,53	13,50

Fonte: Realização própria (2021)

6.2.3. Cálculo das prioridades e consistência dos critérios

Em seguida, a tabela 9 é normalizada dividindo o valor de cada célula pela soma da respectiva coluna.

Tabela 9 Matriz normalizada

Matriz normalizada					Prioridade	Prioridade global
QI	QS	PE	CL			
QI	0,62	0,57	0,66	0,52	0,59	59%
QS	0,08	0,07	0,07	0,04	0,07	7%
PE	0,21	0,21	0,22	0,37	0,25	25%
CL	0,09	0,14	0,04	0,07	0,09	9%
Total					1	100%

Fonte: Realização própria (2021)

Com a matriz normalizada, foi obtido o vetor de prioridades dos critérios calculando a média dos valores de cada critério. Por exemplo, para o critério de infraestruturas portuárias, tem-se: $(0,62 + 0,57 + 0,66 + 0,52) / 4 = 0,59$.

Agora tem-se o ranqueamento dos critérios e sabe-se que o critério de infraestruturas portuárias é mais importante (0,59 ou 59% da importância total) em seguida do critério equipamento portuário (0,25 ou 25% da importância total), em terceiro lugar, o critério custo (0,09 ou 9% da importância total) e o menos importante nesta análise é o critério serviços portuários (0,07 ou 7% da importância total).

O AHP calcula uma razão de consistência (CR) comparando o índice de consistência (CI) da matriz com nossos julgamentos, com o índice de consistência de uma matriz aleatória (RI).

Saaty (1991) fornece o valor calculado do RI para matrizes de diferentes tamanhos.

Em seguida, cada valor na primeira coluna da matriz de comparação é multiplicado pela prioridade do primeiro critério, cada valor na segunda coluna da matriz é multiplicado pela prioridade do segundo critério e assim por diante. Os valores em cada linha são adicionados para obter um conjunto de valores chamado soma ponderada. Em seguida, os elementos de vetor de soma ponderada (obtidos pela etapa anterior) são divididos pela prioridade correspondente de cada critério.

Tabela 10 Pesos da matriz

	QI	QS	PE	CL	Soma de pesos	prioridade	peso/prioridade
QI	0,59	0,56	0,75	0,63	2,53	0,59	4,288135593
QS	0,07	0,07	0,08	0,05	0,27	0,07	3,886904761
PE	0,20	0,21	0,25	0,45	1,11	0,25	4,426666668
CL	0,08	0,14	0,05	0,09	0,36	0,09	4,047619048
					Total	1	16,64932607

Fonte: Realização própria (2021)

A média de valores é chamada Lambda máxima λ_{max} .

$$\lambda_{max} = \sum \left(\frac{\text{Peso}}{\text{Prioridade}} \right) / 4$$

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Tabela 11 Lambda máxima, CI e CR

λ_{max}	CI	CR
4,162	0,054	0,060

Fonte: Realização própria (2021)

Então a razão de consistência está bem abaixo de 0,1 tolerado por Saaty e Vargas (2012), ou seja, a matriz de julgamento está validada.

6.2.4. Escala de classificação dos critérios

Ao invés de comparar as alternativas, criou-se uma escala de classificação para cada critério e as alternativas serão pontuadas de acordo com cada critério desta escala. As mesmas pontuações já foram aplicadas na sequência da lógica fuzzy com os mesmos critérios e alternativas.

Tabela 12a Escala para critério de infraestruturas

Escala para critério de Infraestruturas		
Infraestrutura	Escala	Valor
1-4,6	Regular	3
4,7-8,6	Boa	5
8,7-10	Excelente	7

Fonte: Realização própria (2021)

Tabela 13b Escala para critério de serviços portuários

Escala para critério de Serviços portuários		
Serviços	Escala	Valor
1-4,6	Regular	3
4,7-8,6	Bom	5
8,7-10	Excelente	7

Fonte: Realização própria (2021)

Tabela 14c Escala para critério de equipamentos portuários

Escala para critério de Equipamentos portuários		
Equipamento	Escala	Valor
1-23	Regular	3
24-40	Bom	5
41-50	Excelente	7

Fonte: Realização própria (2021)

Tabela 15d Escala para critério de custo logístico

Escala para critério de Custo logístico		
Custo	Escala	Valor
100-460	Baixo	7
461-860	Regular	5
861-1000	Alto	3

Fonte: Realização própria (2021)

Após criadas as escalas, foram classificadas as alternativas de modo verbal e depois foram substituídos os rótulos das escalas pelos respectivos valores.

Tabela 16e As alternativas

Alternativas	Infraestrutura	Serviço	Equipamento	Custo
Peso dos critérios	0,59	0,07	0,25	0,09
Curto prazo	Regular	Regular	Regular	Alto
Médio prazo	Boa	Regular	Bom	Regular
Longo prazo	Excelente	Bom	Excelente	Baixo

Fonte: Realização própria (2021)

Então foram calculadas as prioridades gerais das pontuações. Para expressar esses totais como prioridade gerais, foi normalizada a coluna de totais (ou seja, dividir cada valor pela soma de totais).

Tabela 17f Alternativas normalizadas

Alternativas	Infraestrutura	Serviço	Equipamento	Custo	total	Prioridades gerais
Peso dos critérios	0,59	0,07	0,25	0,09		
Curto prazo	3	3	3	3	3	0,20
Médio prazo	5	3	5	5	4,86	0,33
Longo prazo	7	5	7	7	6,86	0,47
	Soma				14,72	1

Fonte: Realização própria (2021)

$$\text{Para curto prazo: } (0,59 \cdot 3) + (0,07 \cdot 3) + (0,25 \cdot 3) + (0,09 \cdot 3) = 3$$

$$\text{Para médio prazo: } (0,59 \cdot 5) + (0,07 \cdot 3) + (0,25 \cdot 5) + (0,09 \cdot 5) = 4,86$$

$$\text{Para longo prazo: } (0,59 \cdot 7) + (0,07 \cdot 5) + (0,25 \cdot 7) + (0,09 \cdot 7) = 6,86$$

Em outras palavras, dada a importância que foi atribuída para cada critério de viabilidade logística portuária (infraestrutura, serviço, equipamento, custo). A viabilidade logística de longo prazo (0,47 ou 47% da prioridade total) é preferível à viabilidade logística de médio e de curto prazo respectivamente com 33% e 20%.

7. DISCUSSÃO

A logística portuária é uma das principais atividades relevantes no cargo portuário que indica a posição e a eficiência de um porto, tornando-o um elo indispensável na cadeia de atividades portuárias, ou seja, um layout ideal de espaço e do desenvolvimento coordenado do porto. A metodologia *fuzzy* é uma boa ferramenta de análise e de tratamento de decisões imprecisas. Rahmawati e Sarno (2018); Wanke e Falcão (2017); Akyuz, et al. (2020); Allahviranloo e Afandizadeh (2008); Loh et al. (2017); Onut et al. (2011), Manuela (2018), entre outros, obtiveram resultados satisfatórios com a aplicação da lógica *fuzzy*. Da mesma maneira, o AHP também é uma boa ferramenta multicritério de tomada de decisões complexas. Paulo (2015), André (2014), Thiago (2016), Changsheng e Gang (2021) conseguiram resultados satisfatórios com a aplicação do AHP. AHP e *Fuzzy* demonstraram bons resultados com Laura e David (2021), Taylan et al. (2016).

A análise da viabilidade logística do PAC através da lógica *fuzzy* baseada em regras *fuzzy* e modelada no MATLAB Toolbox apresenta resultados a escolher em múltipla aparência. Estes resultados mostram a ligação de viabilidade logística com as variáveis qualidade de infraestruturas, qualidade de serviços, produtividade de equipamentos e custo logístico de cargas no porto.

Conferindo ao objetivo deste trabalho, o PAC precisa ter uma viabilidade logística de longo prazo, antes de ser competitivo. Por isso, a aplicação da lógica *fuzzy* mostrando nas figuras 16c e 16d, quando a qualidade da infraestrutura é excelente, a produtividade dos equipamentos boa (regra 3) e quando a qualidade da infraestrutura é excelente, a produtividade dos equipamentos é excelente (regra 4) tem-se uma viabilidade de longo prazo. Quer dizer, as infraestruturas portuárias e os equipamentos de movimentação portuário têm uma influência positiva sobre o futuro de um porto. Elas apresentam uma boa perspectiva, um bom desempenho.

O resultado do método hierárquico AHP mostra que os critérios infraestruturas portuárias e equipamentos portuários são mais priorizados com respectivamente 59% e 25% da prioridade global na frente dos serviços portuários e do custo logístico das cargas no porto. A alternativa viabilidade logística de longo prazo (0,47 ou 47% da prioridade total) é preferível à viabilidade logística de médio prazo e de curto prazo respectivamente com 33% e 20%. Um porto que tem 59% de prioridade para sua infraestrutura e 25% de prioridade para seus equipamentos de

movimentações terá uma forte probabilidade de encarar uma viabilidade logística de longo prazo.

Comparando o resultado dos dois métodos (AHP e Lógica *Fuzzy*), ambos mostram que os critérios infraestruturas portuárias e equipamentos portuários têm mais importância que os demais critérios portuários. Que sejam na aplicação da lógica *fuzzy* e do AHP, a hipótese 1 (A produtividade baixa do PAC está relacionada com as infraestruturas portuárias) da pesquisa está confirmada, pois, em ambos os métodos o critério infraestrutura portuária tem mais importância e mais priorizada.

Opinião do autor:

O PAC deve investir na sua reestruturação física e operacional em geral e nas infraestruturas portuárias, nos equipamentos e nas tecnologias avançadas em particulares. O canal de acesso deve ser dragado para 22 m, a profundidade do porto também para 18 m ou 20 m, e assim, pode permitir acesso aos navios com grande porte e calado maior, de até 20 m. Por outro lado, os equipamentos portuários mais modernos são muitos úteis para eficiência do porto, isto é, prever aquisição dos equipamentos, para reduzir o tempo de escala e de parada no porto e atrair muitos navios. Embora os armadores procurem a redução de seu tempo de parada nos portos, isto reduz os custos operacionais da embarcação e melhora a rentabilidade de sua escala no porto. A otimização dos tempos de escala poderia, no futuro, incentivar os armadores a priorizar os serviços do PAC nas rotações dos navios maiores que servem vários portos da região.

Segundo Hsu, Lian e Huang (2020), além da distância, contendo tanto oceânica quanto terrestre, os atributos importantes que os transportadores marítimos consideram a decidir em qual porto escalas são infraestrutura geral, tarifas portuárias, eficiência portuária, disponibilidade e tamanho de berços. A geolocalização do PAC é favorável tanto oceânica quanto terrestre para os transportadores. O PAC deve informatizar seus procedimentos administrativos para os clientes, melhorar a qualidade dos serviços e estabelecer novas taxas para ser mais competitivo.

Nos casos de dificuldades de reforma no PAC, por causa da infraestrutura atual, seria melhor propor um novo projeto para um segundo porto, especializado para navios de porta-contêineres (mais aconselhada), com instalação de equipamentos mais modernos. Como consequência, aumento a chance do PAC a

ter maior participação na economia Beninense, competitividade na África Ocidental e estabelecer uma viabilidade logística de longo prazo. Assim, a hipótese 2 (A reestruturação física e operacional do Porto Autônomo de Cotonou aumentará a sua competitividade no âmbito da CEDEAO (Comunidade Econômica Dos Estados da África Ocidental), com impacto positivo na economia do Benim.) do trabalho está confirmada.

8. CONCLUSÃO

Foi possível executar a presente análise, utilizando as metodologias propostas. A pertinência de cada uma das variáveis analisadas foi modelada utilizando a lógica *fuzzy*, no Matlab *fuzzy* Toolbox e os critérios foram analisados com o AHP. A análise da viabilidade logística do PAC utilizando o método da lógica *fuzzy*, mostra três possibilidades de conjunto difuso para o porto, curto, médio e longo prazo.

Os resultados da lógica *fuzzy* mostram que a viabilidade logística portuária é influenciada e ligada á variáveis infraestruturas e equipamentos portuários. Foi o caso da regra 3 quando a variável infraestrutura é excelente e a produtividade dos equipamentos portuários também é excelente, a viabilidade logística portuária ficou caracterizada de longo prazo. Igualmente na regra 4 quando infraestrutura é excelente e equipamento é boa tem-se uma viabilidade logística de longo prazo. A experiência realizada nas figuras 16a e 16b das regras 1 e 10, respectivamente quando as variáveis são regulares exceto variável custo logística que é alto e quando elas são boas exceto variável custo logística que é regular, tem-se nos ambos das regras uma viabilidade logística portuária de médio prazo.

O resultado do método AHP mostra que o critério de infraestrutura portuária é mais importante com 59% da importância total, em seguida do critério equipamento portuário, o critério custo e o menos importante nesta análise é o critério serviços portuários. A razão de consistência está bem abaixo de 0,1 tolerado por Saaty (2012) e a matriz de julgamento está validada. Após da classificação dos critérios por escala e a importância que foi atribuída para cada critérios de viabilidade logística portuária (infraestrutura, serviço, equipamento, custo), a viabilidade logística de longo prazo é preferível com 47% da prioridade total, seguido de médio e de curto prazo, respectivamente com 33% e 20%.

Comparando os resultados dos dois métodos, foi percebida uma convergência de que as variáveis infraestrutura portuária e equipamentos portuários do método da lógica *fuzzy* são influenciadores para ter uma viabilidade logística portuária de longo prazo. Os critérios infraestruturas e equipamentos portuários do método AHP são priorizados respectivamente e a viabilidade logística portuária de longo prazo é preferível. Em outra palavra, que seja a lógica *fuzzy* ou método AHP, as infraestruturas portuárias e equipamentos portuários são os que precisam de

mais investimentos e de reestruturação para que o porto seja viável longamente e vem em terceiro e quarto lugar o custo logístico das cargas e os serviços portuários.

O Porto Autônomo de Cotonou (PAC) bem como os demais portos do mundo, precisam de um alto investimento em infraestruturas e equipamentos portuários de movimentações, um custo logístico competitivo e um serviço bem flexível que resultam em uma viabilidade de longo prazo. O PAC deve escolher entre reconstruir ou construir infraestruturas de qualidade e adquirir novos equipamentos modernos, informatizados e de últimas gerações, reduzir ou até excluir algumas taxas sobre logísticas das cargas, reduzir filas dos navios e dos caminhões nas entradas do porto pela via marítima e terrestre excluindo os procedimentos burocráticos. Estas escolhas atrairiam atenção do resto do mundo que atua em comércio exterior, assim o PAC poderia se tornar o *hub* da África Ocidental.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUARÓN J., ESCOBAR M.T., MORENO-JIMÉNEZ J.M. Reduzindo a inconsistência medida pelo índice de consistência geométrica no processo de hierarquia analítica. *EUR. J. Oper. Res.* (2020).

AKYUZ, E., KARAHALIOS, H., CELIK, M., Assessment of the maritime labour convention compliance using balanced scorecard and analytic hierarchy process approach. *Marit. Pol. Manag.* 42 (2) (2015), 145–162.

ALEXANDRE LAVISSIERE; Vessel Port Dues: An Influence from Path Dependency rather than Geography of Ports, 34(2) (2018) 061-070.

ALVES, J. R. X. ET ALVES, J. M. (2015), “Definição de localidade para instalação industrial com o apoio do método de análise hierárquica (AHP)”, *Production*, Vol.25 No.1, pp.13-26, disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-65132014005000023>.

ANDRÉ DE BRITO ARUEIRA, Aplicação do Método AHP para Avaliação de Transportadores, dissertação de mestrado, 2014, Rio de Janeiro.

AXEL MERKEL , JOHAN HOLMGREN; Dredging the depths of knowledge: Efficiency analysis in the maritime port sector. *Transport Policy* 60 (2017) 63–74 ;

BARFOD M.B., HONERT R. V. D, SALLING K.B. Modelagem de percepções de grupo usando simulação estocástica, dimensionando questões no AHP multiplicativo. *Int. J. Inf. Technol. Decis. Mak.*, 15 (2) (2016), pp. 453 – 474.

BARROS, LAÉCIO, CARVALHO; BASSANEZI, RODNEY CARLOS. **Introdução à teoria fuzzy: aplicações em biomatemática**. Campinas: Imecc-Unicamp, 2010. 48p.

BASAK I. Teste para a classificação das prioridades das alternativas no método da escala de razão de saaty. *European J. Oper. Res.*, 48 (1) (1990), pp. 148 – 152.

BAYAZIT O, KARPAK B. O. Aplicativo AHP na seleção de fornecedores. Procedimento do Simpósio Internacional sobre o Processo de Hierarquia Analítica ISAHP. 2005, Honolulu, 2005:1-24.

BEATRIZ MOLINA-SERRANO, NICOLETTA GONZ_ALEZ-CANCELAS, FRANCISCO SOLER-FLORE. Analysis of the port sustainability parameters through Bayesian networks 2665-9727. 2020.

CABEZALI M. M.; FERNANDEZ-CREHUET SANTOS J. M., Application of a fuzzy-logic based model for risk assessment in additive manufacturing r&d projects, belém, *Computers & Industrial Engineering* (2020).

CDEAO, PORTOS E CORRIDORES, <https://portsetcorridors.com/2019/ports/afrique-de-louest-le-portuaire-joue-la-carte-de-la-solidarite-avec-les-pays-enclaves/> 2019.

CHANG, Y.T., 2013. Environmental efficiency of ports: a data envelopment analysis approach. *Marit. Policy Manag.* 40 (5), 467–478.

CHANGSHENG LIN E GANG KOU. A heuristic method to rank the alternatives in the AHP synthesis, *Applied Soft Computing*, Volume 100, March 2021, 106916.

CHAPITRE 5: SITUATION ACTUELLE DES PORTS INTERNATIONAUX, La Collecte des Données relatives au Trafic des Ports Internationaux et des Corridors Transfrontaliers en Afrique de l'Ouest;

CHEN, K., XU, S., HARALAMBIDES, H., Determining hub port locations and feeder network designs: The case of China-West Africa trade, *Transport Policy* (2020).

CHRISTOPHER, M. (2016). *Logistics & supply chain management*. UK: Pearson. March.

CLARK, X., DOLLAR, D., AND MICCO, A. Maritime transport costs and port efficiency, Development Research Group, Macroeconomics and Growth. The World Bank Group : Washington D.C., USA. (2002), (No. 2781).

CNUCED. developments in international seaborne trade; 2018.

CSATÓ L. Uma caracterização do método dos mínimos quadrados logarítmicos. *European J. Oper. Res.*, 276 (1) (2019), pp. 212 – 216.

DA SILVA M. F. **uma proposta de aplicação da lógica fuzzy no ensino médio**, dissertação; Manaus, 2018.

DIREÇÃO ADUANEIRO DO PORTO DE COTONOU. <http://douanes-Benim.net/index.php/2017/07/29/procedure-de-dedouanement-et-denlevement-des-marchandises-au-port-de-cotonou/>. 2019.

DONG Y., LI C., CHICLANA F., HERRERA-VIEDMA E. Medição de consistência de caso médio e análise de relações de preferência recíprocas com valores de intervalo. *Sistema baseado em conhecimento*. 114 (2016), pp. 108 – 117.

DOS SANTOS G. Q. **Aplicação de uma metodologia da lógica fuzzy a gestão de estaques: um estudo de caso em uma instituição pública**. Dissertação. Belém. 2011.

DUC NHA LE, HONG THI NGUYEN, PHUC HOANG TRUONG. Port logistics service quality and customer satisfaction: Empirical evidence from Vietnam. 2019.

EKUOBASE G.O. & OLUYAYO V. A. Fuzzy Analytical Hierarchical Process Model and ICT Maturity Model of SMES for ICT Maturity Measurement of Nigerian Service Firms, *African Journal of Computing & ICT* Vol 8. No. 3 – September, 2015.

ELE HARALAMBIDES, Concorrência, excesso de capacidade e preços da infraestrutura portuária *Int. J. Maritime Econ*, 4 (4) (2002), pp. 323 – 347.

ELNAZ IRANNEZHAD, CARLO G. PRATO, MARK HICKMAN (2019) An intelligent decision support system prototype for hinterland port logistics.

EMRE AKYUZ., A hybrid accident analysis method to assess potential navigational contingencies: The case of ship grounding. Volume 79, November 2015, Pages 268-276.

ENAMUL H. BOWEN C. ORHAN A., YAN L. Integrated remote sensing and GIS approach using Fuzzy-AHP to delineate and identify groundwater potential zones in semi-arid Shanxi Province, China. Volume 134, December 2020, 104868.

ESMER, S., NGUYEN, H. O., BANDARA, Y. M., and YENI, K. (2016), "Non-price competition in the port sector: A case study of ports in Turkey." *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, Vol. 32, No. 1, pp.3-11.

F. ALRUKAIBI, S. ALKHEDER, N. ALMASHAN. Sustainable port management in Kuwait: Shuwaikh port system. (2020) 20–33.

FEDI, L., AND LAVISSIÈRE, A. "Les réformes des autorités portuaires en méditerranée : enjeux et limites des nouveaux modèles de gouvernance." *Annales de l'Institut Méditerranéen des Transports Maritimes*. Marseille (2013).

FELIPO B. modelos de predição utilizando logica *fuzzy*: uma abordagem inspirada na inferência bayesiana, dissertação, Unicamp, 2012.

FOSTER, V., BRICEÑO-GARMENDIA, C. Ports and Shipping: Landlords Needed. Africa's Infrastructure: a Time for Transformation. The International Bank for Reconstruction and Development. The World Bank. 2010.

FERNIE, J., & SPARKS, L. (Eds.). Logistics and retail management: Emerging issues and new challenges in the retail supply chain. Kogan Page publishers. November. (2018).

GLEICY; MARIA. A lógica *fuzzy* na avaliação de desempenho ambiental de sistemas de transportes públicos. 2007.

GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S. Tomada de decisão gerencial – enfoque multicritério. 5.ed. São Paulo: Editora Atlas S.A. 2014.

HALES, D.N., LAM, J.S.L., CHANG, Y.T., 2016. The balanced theory of port competitiveness. *Transport. J.* 55 (2), 168–189.

HARALAMBIDES, H. E., CARIOU, P., and BENACCHIO, M. (2002), "Costs, benefits and pricing of dedicated container terminals." *International Journal of Maritime Economics*, Vol. 4, No. 1, pp. 21-34.

HAUSER D., TADIKAMALLA P. O processo de hierarquia analítica em um ambiente incerto: uma abordagem de simulação. *European J. Oper. Res.*, 91 (1) (1996), pp. 27 de – 37.

HUGOS, M. H. (2011), *Essentials of supply chain management*. John Wiley & Sons: New York.

JALAO E.R., WU T., DAN S. Uma metodologia de tomada de decisão AHP estocástica para preferências imprecisas. *Informar. Sci.*, 270 (270) (2014), pp. 192 – 203.

JAN HAVENGA, ZANE SIMPSON, LEILA GOEDHALS-GERBER; International trade logistics costs in South Africa: Informing the port reform agenda; RTBM-00249; No of Pages 13;

JASMINE SIU LEE LAM, KEVIN X. LI 2019 Green port marketing for sustainable growth and development.

JASSBI, J. J., SERRA, P. J., RIBEIRO, R. A., & DONATI, A. A comparison of mandani and sugeno inference systems for a space fault detection application. In *2006 World Automation Congress* (pp. 1-8). IEEE. (2006, July).

JI MING-JUN, CHU YAN-LING, Optimization for Hub-and-Spoke Port Logistics Network of Dynamic Hinterland 33 (2012) 827 – 832

JOSÉ, E. de O. T. Mensuração e Avaliação da Capacidade Inovativa de Micro, Pequenas e Médias Empresas: aplicação de métodos multicritério fuzzy de apoio à decisão. 2016. Dissertação de Mestrado em metrologia, PUC-Rio de Janeiro.

KAHRAMAN, C., AND KAYA, I. A, fuzzy multicriteria methodology for selection among energy alternatives, *Expert Syst Appl*, 2010, 37, (9), pp. 6270-6281.

KOU G. , ERGU D. , SHANG J. Melhorar a consistência dos dados na matriz de decisão: Adaptando o modelo hadamard para mitigar a contradição de julgamento. *European J. Oper. Res.* , 236 (1) (2014) , pp. 261 – 271.

LAURA COFFEY E DAVID CLAUDIO In defense of group fuzzy AHP: A comparison of group fuzzy AHP and group AHP with confidence intervals, *Expert Systems With Applications* , Volume 178, 15, September 2021, 114970.

LÉANDRE EDGARD NDJAMBOU ; Comércio marítimo e isolamento na África Ocidental: o caso dos portos de Abidjan e Cotonou, 226-227 | Avril-Septembre 2004: Afriques; P 233-258;

LI Y., ZHANG H., DONG Y. O processo iterativo de obtenção de consenso com o custo mínimo e incerto na tomada de decisão em grupo. *Appl. Soft Comput.*, 60 (2017), pp. 202 – 212.

LIN C., KOU G. Revisão bayesiana das matrizes de comparação de pares individuais sob consenso em AHP-gdm. *Appl. Soft Comput.*, 35 (C) (2015), pp. 802 – 811.

LIPOVETSKY S., TISHLER A. Estimativa de intervalo de prioridades no AHP. *European J. Oper. Res.*, 114 (1) (1999), pp. 153 – 164.

LOURDES. T, MARIA M. G; 1, JUAN L. J. An overview on the reform process of African ports (2013).

LOURDES T. ; M. M. GONZALEZ , J. L. JIMENEZ ; An overview on the reform process of African ports. ; sd,) p 12e22, *Utilities Policy* 25 ; 2013.

M. LUO, L. LIU, F. GAO, Expansão da capacidade do porto de contêineres pós-entrada *Transp. Res. Parte B: Metodol*, 46 (1) (2012), pp. 120 – 138.

MARIA C. C. R. R., ALEX S. A. Aplicação do método analytic hierarchy process (ahp) com a mensuração absoluta num problema de seleção qualitativa; Instituto Federal Fluminense, Universidade de São Paulo, 2016.

MATTEO Balliauw, PETER M. Kort, ANMING Zhang; Capacity investment decisions of two competing ports under uncertainty: A strategic real options approach. *Transportation Research Part B* 122 (2019) 249–264 ;

MATTEO Balliauw, Hora de construir: uma análise de opções reais de investimentos em expansão de capacidade portuária sob incerteza *Research in Transportation Economics*, 17 July 2020.

MB Malchow, A. Kanafani, Uma análise desagregada da seleção de portas *Transp. Res. Parte E: Logista. Transp. Rev.*, 40 (4) (2004), pp. 317 – 337.

MELLO, A. F. P. Monitoramento e avaliação da regulamentação sobre recolhimento de alimentos no Brasil: proposição de indicadores e métricas. 185p. Rio de Janeiro, 2015. Dissertação Pós Graduação Metrologia para Qualidade e Inovação, Pontifícia Universidade Católica – Rio de Janeiro.

MIKHAILOV L. Deriving priorities from fuzzy pairwise comparison judgments. *Fuzzy Sets and Systems*, 2003;134(3):365-385.

NOTTEBOOM, T. and YAP, W. Y. (2012), “Port competition and competitiveness.” *The Blackwell Companion to Maritime Economics*, pp.549- 570.

O. TAYLAN et AL. / *Energy Conversion and Management* 117 (2016) 501–512.

OLIVA G. , SETOLA R. , SCALA A. **Processo de hierarquia analítica esparsa e distribuída**. *Automatica* (2017).

OLIVEIRA J et AL, *Inteligência computacional: aplicada a administração, economia e engenharia em Matlab*, São Paulo: Thomson learning, (2007).

PAULO CEZAR FREIRE DE MENEZES. Sistemas lógicos paraconsistentes aplicados aos modelos hierárquicos para tomadas de decisão: Estudo realizado em gestão de projetos. Dissertação de mestrado, 2015, universidade santa Cecília, São Paulo.

PORTO AUTÔNOMO DE COTONOU, <http://www.portcotonou.com/index.php/qui-somme-nous/presentation>, 2019

PORTO DE TEMA, GANA, <https://www.ghanaports.gov.gh/Files/MaximumPermissibleDraughtAtBerthsInTemaPort.pdf> 2019.

PORTO DE ABIDJAN, COSTA DO MARFIM, <http://www.portabidjan.ci/fr/le-port-dabidjan/installations-et-activites> 2019.

PORTO DE LAGOS, NIGERIA, <http://nigerianports.gov.ng/lagos-port/berth-characteristics/> 2019.

S. Wu, K.X. Li, W. Shi, Z. Yang, Influência do governo local no investimento portuário: implicações do sistema descentralizado de governança portuária da China Gestão da Política Marítima, 43 (7) (2016), pp. 777 – 797.

S. HEMALATHA, LINGARAJU DUMPALA, B BALAKRISHNA Service Quality Evaluation and Ranking of Container Terminal Operators through Hybrid Multi-Criteria Decision-Making Methods, 34(2) (2018) 137-144.

SAATY T.L. O processo de hierarquia analítica: planejamento, definição de prioridades, alocação de recursos, NY: McGrawHill, 1980:437.

SAATY, T. L. (1991), “Método de Análise Hierárquica”, Tradução de Wainer da Silveira e Silva, McGraw-Hill, Makron, São Paulo, SP.

SAATY, T. L. Principia mathematica decernendi, Mathematical principles of decision making; Pittsburg. PA: RWS Publications, 2010.

SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process. 2^a ed. New York: Springer. 2012.

SANGHYUN CHEON, DAVID E. DOWALL, DONG-WOOK SONG; avaliando os impactos das reformas institucionais nas mudanças de eficiência portuária: propriedade, estrutura corporativa e mudanças na produtividade total dos fatores dos portos mundiais de contêineres, Transportation Research, Part E 46 (2010) 546–561.

SANTOS, A. V. N.; FELIX, L. B; VIEIRA, J. G. V. Estudo da logística de distribuição física de um laticínio utilizando lógica *fuzzy*. **Revista Produção**, São Paulo, v.22, n. 4, p.576-583, 2012.

SAVELSBERGH, M., & VAN WOENSEL, T. (2016). 50th anniversary invited article – Citylogistics: Challenges and opportunities. Transportation Science, 50(2), 579–590.

SORAYA HIDALGO-GALLEGO, RAMÓN NÚÑEZ-SÁNCHEZ, E PABLO COTO-MILLÁN, Interdependência estratégica na expansão da capacidade: uma análise espacial para serviços de infraestrutura portuária, Pesquisa de Transporte Parte A: Política e Prática, 143 (2020), pp. 14-29.

SOUZA, M. P. Utilização de logica fuzzy no apoio á decisão multicritério. 2006.81f. Dissertação (Mestrado em engenharia Civil), COPPE/UFRJ, Rio de janeiro.

TAM C.Y.M, TUMMALA V.M.R. An application of the AHP in vendor selection of a telecommunications system. The international Journal of Management Science, 2001; 29 (2):171-182.

TIAGO CAVELAGNA, Estruturação de processo de decisão sobre modelo de gestão de serviços de água e esgoto por ahp (analytic hierarchy process), universidade federal de alfenas, 2016, Minas Geras.

TWRDY ELEN E MARINA ZANNE. Improvement of the sustainability of ports logistics by the development of innovative green infrastructure solutions. **Transportation Research Procedia**. 45 (2020) 539–546.

VARGAS L.G. Matrizes recíprocas com coeficientes aleatórios. Matemática. Modelo. 3 (1) (1982) , pp. 69 – 81.

WEN-KAI K. HSUA, SHU-JUN LIANA, SHOW-HUI S. HUANG. An assessment model based on a hybrid MCDM approach for the port choice of liner carriers; Research in Transportation Business & Management; Volume 34, March 2020.

ZADEH, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and control*, 8(3), 338-35.