

**CATEGORIZAÇÃO DE MUNICÍPIOS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE TERMINAIS NA HIDROVIA  
TOCANTINS-ARAGUAIA:**

**UMA APLICAÇÃO UTILIZANDO O MÉTODO MULTICRITÉRIO ELECTRE TRI**

**CATEGORIZATION OF MUNICIPALITIES FOR THE IMPLEMENTATION OF TERMINALS IN THE  
TOCANTINS-ARAGUAIA HYDROWAY:**

**AN APPLICATION USING ELECTRE TRI MULTICRITERIA METHOD**

**CATEGORIZACIÓN DE MUNICIPIOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE TERMINALES EN LA  
HIDROVÍA TOCANTINS-ARAGUAIA:**

**UNA APLICACIÓN QUE UTILIZA EL MÉTODO MULTICRITERIO ELECTRE TRI**

**João Paulo Silva Lima**

Doutorando em Estruturas e Construção Civil na Universidade de Brasília (UnB)

Mestre em Engenharia Oceânica pela Universidade Federal do Rio Grande (FURG)

Professor e Pesquisador da Graduação em Engenharia de Transportes da Universidade Federal de Goiás (UFG)

Endereço: Rua Mucuri S/N - Setor Conde dos Arcos - Campus Aparecida de Goiânia. CEP: 74.968-755, Aparecida de Goiânia, GO, Brasil

Telefone: (62) 3209-6550

E-mail: joaoplima@ufg.br

**Nadya Regina Galo**

Doutora em Engenharia de Produção pela Universidade de São Paulo

Professora e Pesquisadora da Graduação em Engenharia de Transportes e do Programa e Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Goiás (UFG)

Endereço: Rua Mucuri S/N - Setor Conde dos Arcos - Campus Aparecida de Goiânia. CEP: 74.968-755, Aparecida de Goiânia, GO, Brasil

Telefone: (62) 3209-6550

E-mail: nadyagalo@ufg.br

Artigo recebido em 01/09/2020. Revisado por pares em 25/04/2021. Reformulado em 28/04/2021. Recomendado para publicação em 01/05/2021, por Ademair Dutra (Editor Científico). Publicado em 27/05/2021. Avaliado pelo Sistema *double blind review*.

©Copyright 2021 UNISUL-PPGA/Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios. Todos os direitos reservados. Permitida citação parcial, desde que identificada a fonte. Proibida a reprodução total. Revisão gramatical, ortográfica e ABNT de responsabilidade dos autores.

## RESUMO

Este artigo teve como objetivo categorizar os municípios com potencial de instalação de terminais na Hidrovia Tocantins-Araguaia, visando colaborar com as políticas públicas de investimento. Para tanto, aplicou-se o método ELECTRE TRI para avaliar as alternativas. O método foi implementado utilizando o software MATLAB®. Como resultado, obteve-se um conjunto de municípios que apresentaram maior adequação à implantação de terminais hidroviários. O desempenho do método foi avaliado e os resultados mostraram-se promissores. Espera-se que o modelo proposto possa colaborar com o planejamento dos investimentos em terminais hidroviários na Hidrovia Tocantins-Araguaia e em outros problemas similares.

**Palavras-chave:** Hidrovia Tocantins-Araguaia; Localização de Terminais; ELECTRE TRI.

## ABSTRACT

This paper aimed to categorize municipalities with potential to install terminals on the Tocantins-Araguaia Waterway, in order to collaborate with public investment policies. For that, the ELECTRE TRI method was applied to evaluate the alternatives. The method was implemented using MATLAB® software. As a result, a set of municipalities was found that were more suited to the implementation of waterway terminals. The performance of the method was evaluated and the results were promising. It is expected that the proposed model can collaborate with the planning of investments in waterway terminals on the Tocantins-Araguaia Waterway and other similar problems.

**Keywords:** Tocantins-Araguaia Waterway; Terminal Location; ELECTRE TRI.

## RESUMEN

Este artículo tuvo como objetivo categorizar los municipios con potencial para instalar terminales en la Hidrovía Tocantins-Araguaia, a fin de colaborar con las políticas de inversión pública. Para eso, se aplicó el método ELECTRE TRI para evaluar las alternativas. El método se implementó utilizando el software MATLAB®. Como resultado, se encontró un conjunto de municipios más adecuados para la implementación de terminales fluviales. Se evaluó el desempeño del método y los resultados fueron prometedores. Se espera que el modelo propuesto pueda colaborar con la planificación de inversiones en terminales en la Hidrovía Tocantins-Araguaia y otros problemas similares.

**Palabras clave:** Hidrovía Tocantins-Araguaia; Ubicación de Terminales; ELECTRE TRI.

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui extensa costa marítima, além de diversos rios caudalosos em seu território, propícios à navegação (POMPERMAYER; CAMPOS NETO; DE PAULA, 2014). De acordo com o Ministério da Infraestrutura, são 42 mil quilômetros de rios potencialmente navegáveis, dos quais 19 deles são economicamente navegáveis (BRASIL, 2017). No entanto, o transporte hidroviário não é o mais utilizado no país para a movimentação interna de cargas (POMPERMAYER; CAMPOS NETO; DE PAULA, 2014). De acordo com a Confederação Nacional do Transporte (CNT), em 2018, 61,1% de todo o transporte de carga do país foi realizado pelas rodovias, 20,7% por ferrovias, 13,6% por hidrovias, 4,2% por dutos e 0,4% por via aérea, o que evidencia um desequilíbrio na participação modal do transporte nacional (CNT, 2018). Para Santos, Sproesser e Batalha (2018), o desequilíbrio da rede de transportes de carga no Brasil é reflexo de decisões históricas, em que o modo de transporte rodoviário foi priorizado em relação aos demais. Devido à sua extensão territorial, a maior participação do modal rodoviário no transporte de carga contribui para a ineficiência logística do Brasil e agrava problemas de natureza ambiental, devido às altas emissões de CO<sub>2</sub>, e social, pela grande ocorrência de acidentes (FRIEND; LIMA, 2011; GARCIA *et al.*, 2019).

O transporte de carga é um componente essencial para garantir a movimentação eficiente e a disponibilidade oportuna de matérias-primas e produtos acabados dentro cadeia de suprimentos (CRAINIC, 2003). A demanda por transporte de carga é resultado da necessidade de interligar produtores e consumidores que estão geograficamente separados uns dos outros. Neste sentido, as vias navegáveis interiores são um importante meio de transporte, pois permitem entregar grandes quantidades de carga por longas distâncias, com custos significativamente mais baixos (MARTINS; PESTANA; DROGUETT, 2020). No entanto, de acordo com ANTAQ (2019), em 2019, menos de 3,6% de movimentação longitudinal de cargas deu-se por vias interiores. No Brasil, os rios, pelas suas dimensões, podem acomodar a expansão do transporte hidroviário interior. No entanto, segundo o Plano Hidroviário Estratégico (PHE, 2013) e Jaimurzina *et al.*, (2017), o maior obstáculo está na escassez geral de infraestrutura para o transporte hidroviário interior (THI), o que se torna um grande impedimento à expansão do THI em algumas regiões. No leito natural do rio, o custo de implementação e manutenção tende a ser baixo, no entanto, em alguns casos, pode aumentar

Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios, Florianópolis, v.14, Edição Especial 1, 2021.

em função da necessidade de infraestrutura adicional no rio (MARTINS; PESTANA; DROGUETT, 2020).

Santos, Sproesser e Batalha (2018) apontam a necessidade de equilibrar a matriz de transporte para possibilitar a transferência de carga por diversos modos, promovendo o transporte intermodal ou multimodal. A utilização de dois ou mais modos de transporte possibilita uma melhoria na eficiência do escoamento de produtos, resultando em uma redução de custos, além de possibilitar o aumento da capacidade e do alcance da rede logística, assim como tempos de trânsito mais competitivos (KIM; VAN WEE, 2011; ISHFAQ; SOX, 2011). Por definição, o transporte intermodal ou multimodal caracteriza-se pelo transporte de carga utilizando duas ou mais modalidades de transporte, desde a origem até o destino, priorizado o modo mais eficiente (LIN; CHIANG; LIN, 2014; SAEEDI *et al.*, 2017). Embora o uso do transporte intermodal e multimodal permita a obtenção dos benefícios individuais de cada modalidade, de acordo com Ishfaq e Sox (2011), o desenho de redes de transporte torna-se mais complexo do que para a logística de modo único. O motivo principal da complexidade se dá pela necessidade de pontos de transbordo para a transferência dos modos, que só pode ser feita em um ponto específico, denominado terminal. Segundo Sörensen e Vanovermeire (2013), os terminais existem entre qualquer par de modos de transporte, permitindo uma distribuição rápida de mercadorias.

No que tange ao transporte rodoviário, as vias férreas e as vias de navegação interiores são consideradas alternativas atraentes para substituí-lo em grande parte e/ou para integrar-se a ele. Neste sentido, Pompermayer, Campos Neto e De Paula (2014) avalia o transporte aquaviário como o modo de transporte mais econômico e de maior eficiência energética, sendo considerado o mais indicado para mover grandes volumes em grandes distâncias. Isto destaca a importância do desenvolvimento de infraestrutura para ampliar a utilização das hidrovias em sistemas multimodais ou intermodais. Para Lin, Chiang e Lin (2014), os transportes intermodal e multimodal são ambientalmente corretos, possibilitam a redução do congestionamento e são altamente acessíveis ao comércio global. Neste sentido, a utilização de diferentes meios e modos de transporte combinados, para o transporte de cargas e de produtos agropecuários, seja para o processamento industrial local ou para portos de

exportação, surge como uma alternativa razoável não apenas para reduzir os custos, como também para reduzir os impactos sociais e ambientais (SANTOS; SPROESSER; BATALHA, 2018).

Apesar de o Brasil ser rico em malha fluvial, com grandes rios de potencial navegável, o transporte hidroviário ainda é pouco utilizado, se comparado ao rodoviário. De acordo com a ANTAQ (2019), apesar do crescimento do transporte hidroviário nos últimos anos, não se conseguiu aproveitar ao máximo o extenso sistema de vias naturalmente navegáveis em contexto nacional. Para Jaimurzina *et al.* (2017), isso dificulta a inclusão deste modal como parte integrante da rede de transportes do país para atender à crescente e significativa demanda de movimentação de cargas e pessoas. Investimentos na infraestrutura das vias navegáveis são necessários, como a construção de eclusas e terminais, para atender às limitações da infraestrutura (PHE, 2013). Além disso, a maioria dos terminais em operação são privados; terminais públicos em geral não estão em boas condições (PHE, 2013). Neste cenário, estudos no setor poderiam colaborar com a orientação dos investimentos públicos em terminais hidroviários.

De acordo com Lin, Chiang e Lin (2014), a literatura sobre transporte multimodal e intermodal é multifacetada, tendo abordado questões como seleção de rotas, análise de custos, bem como política de transportes e a tomada de decisão intermodal. No entanto, quando se trata do transporte hidroviário, os problemas fundamentais sobre essas questões estão relacionados ao número e localização de terminais, pois eles constituem a base de uma rede de transporte multimodal ou intermodal. A análise do número e da localização de terminais pode envolver uma série de características naturais, físicas e socioeconômicas no processo de tomada de decisão, que caracterizaria a busca por múltiplos objetivos. Para Keeney (1982), a consideração de múltiplos objetivos e a dificuldade em identificar boas alternativas contribuem para o aumento da complexidade das decisões. Neste cenário, abordagens multicritério podem colaborar com a identificação das melhores alternativas diante de muitas opções.

Um modelo de tomada de decisão multicritério é caracterizado por uma situação em que o tomador de decisão deve escolher uma ou mais alternativas a partir da avaliação de dois ou mais critérios (DYER *et al.*, 1992). De acordo com Roy e Slowinski (2013), o tipo de

resultado produzido diferencia os métodos de tomada de decisão, podendo ser divididos entre: métodos de escolha, de ordenação e de categorização. Métodos de escolha almejam a melhor solução que justifique a eliminação das demais, enquanto os métodos de ordenação proporcionam a ordenação das alternativas. Os métodos de categorização geram uma classificação das alternativas dentro de categorias, ordenadas ou não. Neste contexto, decisões sobre a localização de terminais hidroviários poderiam considerar o uso de métodos multicritério de categorização, por meio da criação de categorias de desempenho, com as características que são importantes para a instalação desse tipo de instalação.

Assim, diante de todas estas questões, o objetivo deste artigo é obter uma categorização dos municípios candidatos à implementação de terminais hidroviários na Hidrovia Tocantins-Araguaia, por meio do uso de um método de análise multicritério, para orientar políticas públicas de investimento em hidrovias. No que tange aos problemas categorização das alternativas, o método ELECTRE TRI tem sido aplicado e positivamente aceito pela literatura de tomada de decisão multicritério. Dessa maneira, com o uso do ELECTRE TRI, categorias e parâmetros foram criadas e possibilitaram a categorização dos municípios (alternativas), a partir da análise do desempenho dos mesmos em critérios pré-definidos.

As próximas seções são designadas para a apresentação da proposta. Assim, a seção 2 apresenta a literatura e os dados sobre a Hidrovia Tocantins-Araguaia, que é o objeto de estudo deste artigo. Na seção 3 são apresentados os conceitos e os pressupostos do método aplicado ao problema. Na seção 4 estão os procedimentos metodológicos, bem como os resultados e análises. Por fim, na seção 5 estão as considerações finais do artigo.

## **2 A HIDROVIA TOCANTINS-ARAGUAIA E OS CORREDORES LOGÍSTICOS ESTRATÉGICOS**

A hidrovia do Tocantins-Araguaia é uma das principais vias de transporte do corredor Centro-Norte brasileiro, com potencial para se transformar em uma das mais importantes vias de águas navegáveis do País (TEIXEIRA *et al.*, 2018). Segundo ANTAQ (2013), de uma extensão total de 2.250 quilômetros, consideram-se aproximadamente 1.300 quilômetros de potencial navegável nesta hidrovia, apresentados na Figura 1. Três dos diversos rios pertencentes à

Bacia do Tocantins-Araguaia caracterizam a navegabilidade da região, sendo: Rio Tocantins, Araguaia e o Rio das Mortes (ANTAQ, 2013).

De acordo com o Ministério dos Transportes, Portos e Aviação – atual Ministério da Infraestrutura – os principais fluxos de carga inter-relacionados com a oferta de malha viária de transporte atual, possibilitaram delimitar os Corredores Logísticos Estratégicos, ou seja, os sistemas compostos de rotas modais e intermodais, por meio dos quais ocorrem as movimentações de cargas do complexo de soja e milho (BRASIL, 2017). A Figura 2 evidencia o posicionamento destes corredores, que em grande parte estão nas proximidades da Hidrovia Tocantins-Araguaia.

Apesar do posicionamento dos Corredores Logísticos Estratégicos do complexo de soja e milho estarem próximos das áreas de influência da Hidrovia Tocantins-Araguaia, ao se observar a região compreendida pela hidrovia verifica-se a predominância do transporte rodoviário na mesma região (Figura 2). De acordo com Santos, Sproesser e Batalha (2018), os desafios no transporte de carga aumentam quando as áreas produtoras de grãos avançaram para áreas distantes e remotas na região Centro-Oeste do país, onde as infraestruturas logísticas não atingiram um nível adequado de desenvolvimento.

Figura 1 – Hidrovia Tocantins Araguaia

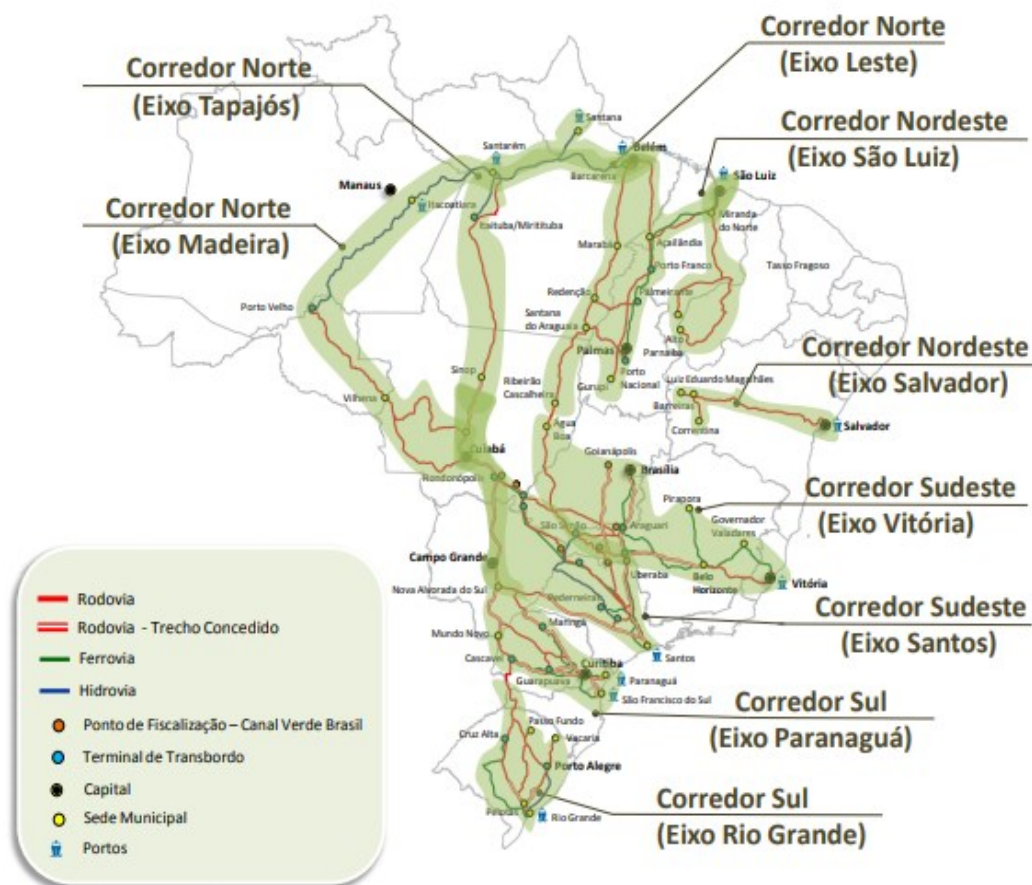


Fonte: Elaborado pelos autores a partir do Google Earth (2020).

Neste cenário, o investimento em redes logísticas, tais como as redes intermodais e multimodais, compostas por outros modos de transporte, como as hidrovias, poderiam colaborar com o desenvolvimento das infraestruturas logísticas e o aumento da eficiência do transporte de carga. Segundo a ANTAQ (2013), se realizadas as obras de melhoria e viabilidade necessárias (construção de eclusas e terminais, sinalização, além de dragagens e derrocamentos em alguns trechos), a Hidrovia Tocantins-Araguaia poderia ligar o Brasil Central aos portos de Belém (PA) e Vila do Conde (PA), além de Itaqui (MA) e Ponta da Madeira (MA) por meio da Estrada de Ferro Carajás (EFC).



Figura 2 – Corredores Logísticos Estratégicos para a Exportação de Soja e Milho



Fonte: Ministério dos Transportes, Portos e Aviação (BRASIL, 2017).

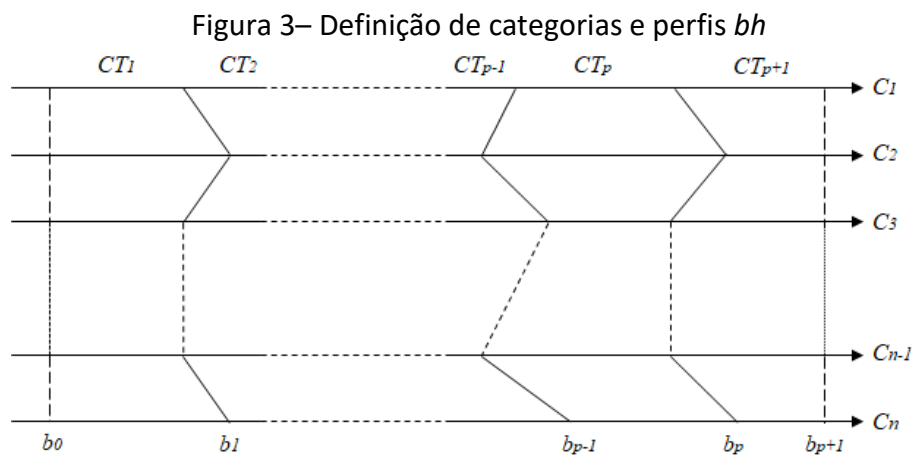
No que tange aos terminais, destaca-se a necessidade de ampliar o número de instalações, conforme apontado pelo Plano Hidroviário Estratégico, especialmente por serem condicionantes do transporte por vários modos (PHE, 2013). Deste modo, com relação ao posicionamento dos terminais ao longo da Hidrovia em estudo, as próximas seções abordam uma breve revisão sobre método utilizado, bem como o procedimento metodológico, os resultados e as considerações finais.

### 3 O MÉTODO ELECTRE TRI

Os métodos da família ELimination Et Choix Traduisant la Réalité - Eliminação e Escolha Expressando a Realidade (ELECTRE) surgiram em meados de 1965 (FIGUEIRA; GRECO; EHRGOTT, 2016) e podem ser utilizados para os três principais tipos de problema definidas por Roy e Slowinski (2013), dos quais pode-se destacar: ELECTRE I, ELECTRE Iv e ELECTRE IS para escolha; ELECTRE II e ELECTRE III para ordenação; e ELECTRE TRI-B (originalmente Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios, Florianópolis, v.14, Edição Especial 1, 2021.

chamado de ELECTRE TRI) e ELECTRE TRI-C para a categorização (FIGUEIRA; GRECO; EHRGOTT, 2016). O ELECTRE TRI trata da designação das alternativas para classes predefinidas e ordenadas (CERTA *et al.*, 2017; FIGUEIRA *et al.*, 2013; MOUSSEAU; SLOWINSKI; ZIELNIEWICZ, 2000; MOUSSEAU; FIGUEIRA; NAUX, 2001) e tem como principais vantagens o fato de não permitir a compensação entre os critérios e de lidar com escalas heterogênicas, sem a necessidade de normalização (FIGUEIRA *et al.*, 2013).

Para classificar as alternativas, por meio do método ELECTRE TRI, as categorias ordenadas são definidas com limites inferiores e superiores, que são ajustados para cada critério, conforme a Figura 3. Para cada critério  $C_j (j = 1, 2, \dots, n)$ , a categoria  $CT_{h+1}CT_{h+1}$  possui um limite inferior  $b_h$  e um limite superior  $b_{h+1}$ . Deste modo, para designar uma alternativa  $a$  para uma categoria  $CT_{h+1}$ , é necessário compará-la com os perfis  $b_h (h = 1, 2, \dots, p)$ , que definem os limites de cada categoria (FONTANA; NEPOMUCENO, 2017; MOUSSEAU; SLOWINSKI; ZIELNIEWICZ, 2000). Este tipo de comparação proposta pelo método ELECTRE TRI permite a construção de uma relação de sobreclassificação  $S$ , quando a afirmação de que  $aSb_h$  pode ser validada, que significa que “ $a$  é pelo menos tão boa quanto  $b_h$ ” (MOUSSEAU; SLOWINSKI; ZIELNIEWICZ, 2000; MOUSSEAU; FIGUEIRA; NAUX, 2001).



Fonte: Mousseau, Slowinski e Zielniewicz (2000) e Mousseau, Figueira e Naux, (2001).

A validação (ou invalidação) da afirmação de que  $aSb_h$  e  $b_hSa$ , depende de um parâmetro conhecido como índice de credibilidade ( $\sigma(a,b_h)$  e  $\sigma(b_h,a)$ ). O cálculo do índice de credibilidade requer a definição de outros parâmetros, sendo eles o peso  $w_j$  dos critérios, a avaliação do desempenho nos critérios  $g_j(a) \forall a (a = \{1, 2, \dots, A\})$ ; os limiares de preferência

Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios, Florianópolis, v.14, Edição Especial 1, 2021.

$p_j(b_h)$ , indiferença  $q_j(b_h)$  e o veto  $v_j(b_h)$  (CERTA *et al.*, 2017). O limiar de preferência  $p_j(b_h)$  especifica a maior diferença  $g_j(a) - g_j(b_h)$  para manter a preferência de  $a$  em relação a  $b_h$  no critério  $g_j$ ; o limiar de indiferença  $q_j(b_h)$  representa a menor diferença  $g_j(a) - g_j(b_h)$  em que se mantém a indiferença entre  $a$  e  $b_h$  no critério  $g_j$ ; e o limiar veto  $v_j(b_h)$  representa a menor diferença  $g_j(b_h) - g_j(a)$  que anula completamente a afirmação de que  $aS_{b_h}S_{b_h}$  (CERTA *et al.*, 2017; MOUSSEAU; SLOWINSKI; ZIELNIEWICZ, 2000). Além disso, para definir o grau de credibilidade é necessário calcular os índices de concordância parcial, o índice de concordância global e o índice de discordância, conforme os passos a seguir (MOUSSEAU; FIGUEIRA; NAUX, 2001):

Passo 1: Obter os índices de concordância parcial  $c_j(a, b_h) \forall j \in F$ , usando a Equação (1).

$$c_j(a, b_h) = \begin{cases} 0, & \text{se } g_j(b_h) - g_j(a) \geq p_j(b_h) \\ 1, & \text{se } g_j(b_h) - g_j(a) \leq q_j(b_h) \\ \frac{p_j(b_h) + g_j(a) - g_j(b_h)}{p_j(b_h) - q_j(b_h)}, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (1)$$

Passo 2: Obter o índice de concordância global  $C(a, b_h)$ , por meio da Equação (2).

$$C(a, b_h) = \frac{\sum_{j=1}^n w_j \times c_j(a, b_h)}{\sum_{j=1}^n w_j} \quad (2)$$

Passo 3: Obter o índice de discordância  $d_j(a, b_h) \forall j \in F$ , por meio da Equação (3).

$$d_j(a, b_h) = \begin{cases} 0, & \text{se } g_j(b_h) - g_j(a) \leq p_j(b_h) \\ 1, & \text{se } g_j(b_h) - g_j(a) > v_j(b_h) \\ \frac{g_j(b_h) - g_j(a) - p_j(b_h)}{v_j(b_h) - p_j(b_h)}, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (3)$$

Passo 4: Obter o índice de credibilidade  $\sigma(a, b_h)$  da relação de sobreclassificação, por meio da Equação (4).

$$\sigma(a, b_h) = c(a, b_h) \times \prod_{j \in F} \frac{1 - d_j(a, b_h)}{1 - c(a, b_h)} \quad (4)$$

$$\text{Onde } F = \{j \in F : d_j(a, b_h) > c(a, b_h)\}$$

Após o cálculo do grau de credibilidade, introduz-se um nível de corte  $\lambda$  (com  $\lambda \in [0.5, 1]$ ) que indica o menor grau de credibilidade  $\sigma(a, b_h)$ , que permite afirmar que a alternativa supera o limite de uma categoria. As relações de preferência e indiferença são estabelecidos por meio das seguintes comparações entre os valores de  $\sigma(a, b_h)$ ,  $\sigma(b_h, a)$  e  $\lambda$  (MOUSSEAU; FIGUEIRA; NAUX, 2001):

- a) Se  $\sigma(a, b_h) \geq \lambda$  e  $\sigma(b_h, a) \geq \lambda$ ;  $aSb_h$  e  $b_hSa$ , isto é,  $a$  é indiferente a  $b_h$  ( $aIb_h$ );
- b) Se  $\sigma(a, b_h) \geq \lambda$  e  $\sigma(b_h, a) < \lambda$ ;  $aSb_h$  e não  $b_hSa$ , isto é,  $a$  é preferível a  $b_h$  ( $aSb_h$ );
- c) Se  $\sigma(a, b_h) < \lambda$  e  $\sigma(b_h, a) \geq \lambda$ ;  $aSb_h$  e  $b_hSa$ , isto é,  $b_h$  é preferível a  $a$  ( $b_hSa$ );
- d) Se  $\sigma(a, b_h) < \lambda$  e  $\sigma(b_h, a) < \lambda$ ;  $aRb_h$  e não  $b_hRa$  isto é,  $a$  é incomparável a  $b_h$  ( $aRb_h$ ).

Estabelecidas as relações de preferência e indiferença, finalmente pode-se categorizar as alternativas por meio de dois procedimentos, sendo eles: (1) procedimento pessimista; (2) procedimento otimista. O procedimento pessimista consiste em comparar cada alternativa sucessivamente com os limites  $b_i$ , sendo  $i = p, p - 1, \dots, 0$ , de modo que,  $b_h$  sendo a primeira fronteira encontrada tal que  $aSb_h$ , deve-se atribuir a alternativa na categoria  $C_{h+1}$  (CERTA *et al.*, 2017; MOUSSEAU; SLOWINSKI; ZIELNIEWICZ, 2000; MOUSSEAU; FIGUEIRA; NAUX, 2001). Quando se usa tal procedimento com  $\lambda = 1$ , a designação de uma alternativa à categoria  $C_h$  ocorrerá somente se  $g_j(a)$  for igual ou maior que  $g_j(b_h)$  em todo critério analisado (MOUSSEAU, *et al.*, 2000). O procedimento otimista compara a alternativa sucessivamente com os limites  $b_i$ , sendo  $i = 1, 2, \dots, p + 1$ , de modo que,  $b_h$  sendo o primeiro limite encontrado tal que  $b_h > a$ , deve-se atribuir a alternativa na categoria  $C_h$  (CERTA *et al.*, 2017; MOUSSEAU; SLOWINSKI; ZIELNIEWICZ, 2000; MOUSSEAU; FIGUEIRA; NAUX, 2001). Quando se usa tal procedimento com  $\lambda = 1$ , uma alternativa  $a$  poderá ser atribuída à categoria  $C_{h-1}$  somente quando  $g_j(b_h)$  excede  $g_j(a)$  em pelo menos um critério (MOUSSEAU; SLOWINSKI; ZIELNIEWICZ, 2000).

#### 4 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Para categorizar os municípios candidatos à implantação de terminais hidroviários, inicialmente definiram-se os critérios de avaliação. Na definição dos critérios essenciais para a análise dos municípios da região hidrográfica Tocantins-Araguaia, considerou-se os aspectos

físicos de navegabilidade e manobrabilidade da hidrovia, sendo eles: a profundidade mínima (C1), a largura mínima (C2) e a sinuosidade (C3). Estes dados foram extraídos do Plano Hidroviário Estratégico, a partir da planilha de condições físicas e socioambientais das hidrovias brasileiras (PHE, 2013).

De acordo com o PHE (2013), a profundidade diz respeito às profundidades mínimas em cada trecho no decorrer do ano, em função do regime hidrológico ao longo do traçado do rio; a largura mínima é a mensuração da menor distância, verificada para cada trecho de rio, entre as margens do canal principal; e a sinuosidade é a relação entre o comprimento do talvegue do trecho de rio e o menor comprimento, em linha reta, entre os pontos extremos do mesmo trecho de rio. Segundo Thoresen (2014) e Alfredini e Arasaki (2019), esses três parâmetros hidroviários são importantes para a análise de instalações de terminais. Além disso, tais parâmetros estão diretamente ligados às características geométricas das embarcações (calado (D), boca (B) e comprimento (L)) quando se trata de navegabilidade. Desta maneira, para colaborar com a análise dos presentes critérios, realizou-se um levantamento das características geométricas da atual frota de transporte longitudinal de cargas nas hidrovias da Bacia Tocantins-Araguaia, por meio do Anuário ANTAQ, conforme dados apresentados na Tabela 1 (ANTAQ, 2019).

**Tabela 1 – Frota das embarcações de transporte de carga na Hidrovia Tocantins-Araguaia**

Valores de Calado		Valores de Boca		Valores de Comprimento	
D (m)	Total de Embarcações	B(m)	Total de Embarcações	L (m)	Total de Embarcações
> 0,00 ≤ 1,00	166	>0,00 ≤ 8,00	761	>00,00 ≤ 20,00	627
> 1,00 ≤ 02,00	812	>8,00 ≤ 16,00	1625	>20,01 ≤ 40,00	366
>2,00 ≤ 03,00	550	>16,00 ≤ 24,00	271	>40,01 ≤ 60,00	497
>03,00 ≤ 04,00	596	>24,00 ≤ 32,00	22	>60,01 ≤ 80,00	1170
>04,00 ≤ 05,00	274	>32	3	>80,01 ≤ 100,00	43
>05,00	30			>100,01	15

Fonte: ANTAQ (2019).

Além dos aspectos físicos, foi levantado o PIB Agropecuário e Industrial de cada município, de acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, para identificar aqueles com maior possibilidade de demanda por transporte de carga, Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios, Florianópolis, v.14, Edição Especial 1, 2021.

considerando os aspectos econômicos (IBGE, 2016). Deste modo, para selecionar o conjunto de alternativas em que as atividades agropecuária e industrial são mais intensas, utilizou-se como candidatos à instalação de terminais os 25 municípios que possuíam a maior soma do PIB Agropecuário com o PIB Industrial. A Tabela 2 apresenta os dados de todos os municípios, considerados como alternativas, assim como os aspectos físicos apontados pelo PHE (2013).

Na Tabela 2, cada valor obtido corresponde à avaliação  $gj(a)$  para cada alternativa  $a$  (município), em cada critério  $C_j$ . A distribuição espacial destes municípios ao longo das hidrovias é evidenciada pela Figura 4.

Para categorizar os municípios da Figura 4, de acordo com a adequação para a instalação de terminais hidroviários, foram criadas três categorias de desempenho, sendo elas: Totalmente Aptos (CT1); Aptos com Restrições (CT2); e Não Aptos (CT3). Estas categorias foram delimitadas pelos limites  $b_2$  e  $b_1$ , de modo que  $b_2$  representa o limite entre as categorias Não Aptos (CT1) e Aptos com Restrições (CT2); e  $b_1$  representa o limite entre as categorias Totalmente Aptos (CT1) e Aptos com Restrições (CT2) e são descritos na Tabela 3.

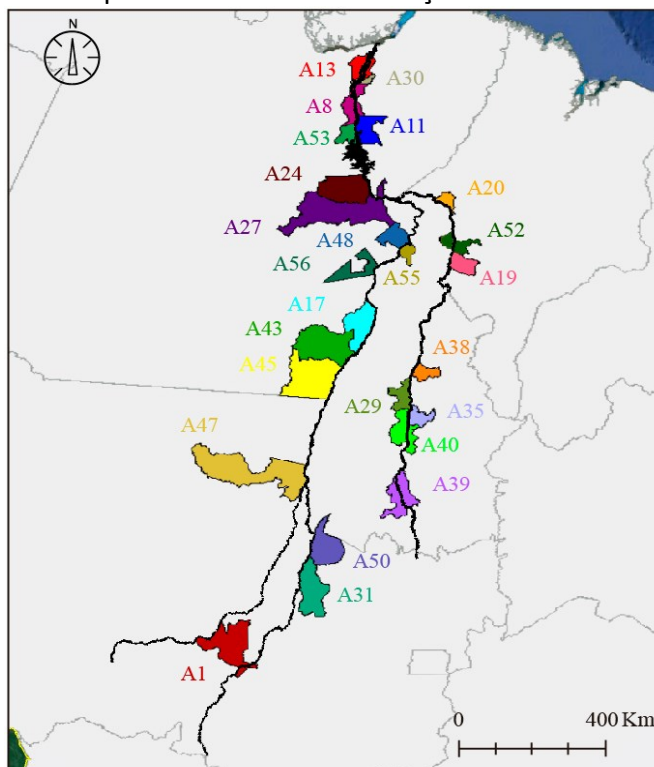
**Tabela 2 – Dados dos municípios candidatos à instalação de terminais hidroviários**

Municípios	Alternativas	Profundidade (C1)	Largura (C2)	Sinuosidade (C3)	PIB R\$ (Milhões)
Aragarças (GO) / Barra do Garças (MT)	A1	1,2	169,00	1,15	427,93
Baião (PA)	A8	2,0	968,00	1,03	126,88
Breu Branco (PA) - Vila Murú	A11	2,0	758,00	1,03	181,61
Cametá (PA)	A13	2,0	2334,00	1,15	404,02
Conceição do Araguaia	A17	1,0	1619,00	1,18	134,14
Estreito (MA)	A19	5,0	104,00	1,08	370,76
Imperatriz (MA)	A20	1,5	413,00	1,10	1902,99
Itupiranga (PA)	A24	1,5	1048,00	1,30	214,41
Marabá (PA)	A27	1,5	762,00	1,30	3006,92
Miracema do Tocantins (TO)	A29	1,5	326,00	1,06	411,20
Mocajuba (PA)	A30	2,0	1078,00	1,16	111,01
Nova Crixás (GO) - Bandeirantes	A31	1,2	462,00	1,23	204,41
Palmas (TO)	A35	3,5	7736,00	1,02	967,98

Municípios	Alternativas	Profundidade (C1)	Largura (C2)	Sinuosidade (C3)	PIB R\$ (Milhões)
Pedro Afonso (TO)	A38	1,5	277,00	1,09	257,52
Peixe (TO)	A39	1,5	168,00	1,04	388,34
Porto Nacional (TO)	A40	3,5	672,00	1,15	362,54
Santa Maria das Barreiras (PA)	A43	1,2	2062,00	1,09	173,70
Santana do Araguaia (PA)	A45	1,2	918,00	1,14	308,52
São Felix do Araguaia (MT)	A47	1,2	348,00	1,36	367,04
São Geraldo do Araguaia (PA)	A48	1,5	1198,00	1,54	158,23
São Miguel do Araguaia (GO)	A50	1,2	239,00	1,15	159,73
Tocantinópolis (TO)/ Porto Franco (MA)	A52	1,5	462,00	1,10	171,76
Tucuruí (PA)	A53	2,0	1075,00	1,03	3275,21
Xambioá (TO)	A55	1,0	1237,00	1,11	149,22
Xinguara (PA)	A56	1,0	1785,00	1,05	447,53

Fonte: Dados extraídos de PHE (2013) e IBGE (2016).

Figura 4 – Municípios candidatos à instalação de terminais hidroviários



Fonte: Elaborado pelos autores a partir do Google Earth (2020).

Para a definição dos parâmetros  $b_2$  e  $b_1$ , que compõem os limites entre as categorias do método ELECTRE TRI e estão descritos na Tabela 3, é necessário entender qual o desempenho mínimo, em cada critério (C1, C2 e C3), que uma alternativa deve atender para pertencer a uma dada categoria. Assim, conduziu-se a análise de aspectos técnicos em relação às características físicas, como é descrita a seguir:

- a) A análise da profundidade (C1) requerida pela embarcação, segundo PIANC (2014), considera uma somatória de aspectos. Com relação a estes aspectos, segundo Alfredini e Arasaki (2019), para hidrovias interiores desprezam-se os efeitos de onda e maré local na embarcação, porém, deve-se considerar a somatória do calado estático, bem como da folga sob a quilha. De acordo com PIANC (2014), a folga sob a quilha é a mínima lâmina d'água à qual se mantém o controle de navegação, que depende do tipo de embarcação, carga transportada e densidade de tráfego. A folga sob a quilha recebe um valor mínimo de 0,5 m podendo ser estendido até 1,0 m, para grandes consequências de toque com o fundo. Sendo assim, adotou-se como limite inferior  $b_2$  a média do calado estático mínimo, das pequenas embarcações da frota analisada (1,0 m), acrescida de um mínimo valor de folga sob a quilha (0,50 m), fazendo-se  $b_2 = 1,50$  m. Para o limite superior  $b_1$ , considerou-se a média do calado estático médio, das grandes embarcações em maior número na frota (3,0 m), acrescida de um mínimo valor de folga sob a quilha (0,50 m), fazendo-se  $b_1 = 3,5$  m.
- b) Para a análise da largura (C2) do trecho hidroviário, considerou-se uma medida mínima para implementação de um canal de navegação, uma bacia de evolução e uma bacia de berço (THORESEN, 2014; ALFREDINI; ARASAKI, 2019). Quanto à largura mínima do canal de navegação, Alfredini e Arasaki (2019) afirmam que a mesma é obtida pela multiplicação de 4,4 vezes a boca da embarcação, quando permite cruzamento e ultrapassagem; e 2,2 vezes a boca para canais de via singela. Estes valores representam um somatório de fatores (PIANC, 2014). Para a bacia de evolução, Thoresen (2014) apresenta os valores de um diâmetro de quatro vezes o comprimento da embarcação para evolução sem rebocadores; e de duas vezes o comprimento da embarcação para utilização de rebocadores. Para a bacia de berço, Thoresen (2014) aponta um valor variando entre 1,25 e 1,5 vezes a boca da embarcação como largura do berço. Dessa



maneira, considerou-se como limite inferior  $b_2$  a média de boca mínima, das pequenas embarcações da frota analisada (10,00 m), navegando em um canal de mão simples (largura 22 m), acrescida de uma largura de berço (15 m) e de uma bacia de evolução (120 m), considerando o comprimento médio das pequenas embarcações de maior número na frota, fazendo-se  $b_2 = 157$  m. Para o limite superior  $b_1$ , considerou-se um comboio de empurra de 30 m de boca e 70 m de comprimento, navegando em um canal de mão dupla (largura 132 m), uma largura de berço (45 m) e de uma bacia de evolução (280 m), fazendo-se  $b_1 = 457,0$  m.

- c) Por fim, a sinuosidade (C3), de acordo com Alfredini e Arasaki (2014) representa o comprimento da linha central do talvegue do rio dividido pelo comprimento da linha central do vale. No presente estudo, baseando-se nas classificações do PHE (2013), considerou-se que a sinuosidade acima de dois representa um cenário crítico e indesejável, mediante condições de manobrabilidade e extensão demasiada da rota deslocada. Sendo assim, definiu-se como limite inferior  $b_1 = 2$ , de modo que, trechos acima dessa sinuosidade não devem ser categorizados como Totalmente Aptos (CT1) e Aptos com Restrições (CT2). Da mesma forma, com base nas classificações do PHE (2013), o limite superior  $b_2$  foi estabelecido como sendo  $b_2 = 1,25$  m.

Tabela 3 – Tabela de parâmetros para a aplicação do método ELECTRE TRI

Parâmetros	Profundidade Mínima (C1)	Largura Mínima (C2)	Sinuosidade (C3)
$b_1$	1,50	157,00	2,0
$b_2$	3,50	457,00	1,20
$q_j(b_h)$	0,25	76,50	0,20
$p_j(b_h)$	0,50	85,50	0,30
$v_j(b_h)$	1,00	106,50	0,50
$w_j$	0,25	0,50	0,25

Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

Para aplicação do método, foram também definidos os limiares de preferência, indiferença e veto, além dos limites e das categorias do modelo, conforme Tabela 3. Para a escolha dos limiares em relação à profundidade, consideraram-se os padrões de folga sob a quilha, descritos por Alfredini e Arasaki (2019) como parâmetro de análise. Desta maneira, fez-se  $q_1 = 0,25$  m,  $p_1 = 0,50$  m e  $v_1 = 1,0$  m. Na largura, considerou-se um somatório da Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios, Florianópolis, v.14, Edição Especial 1, 2021.

diferença entre os limites de largura de berço (0,25 vezes a boca da embarcação), bem como a diferença entre os limites de diâmetro das bacias, com e sem rebocador (duas vezes o comprimento da embarcação), propostas por Thoresen (2014).

Além disso, uma terceira parcela é acrescida mediante a fração de largura do canal de navegação, de acordo com o método de dimensionamento proposto por Pianc (2014), sendo 0,3 vezes a boca da embarcação no limiar indiferença ( $q_2 = 76,50$ ), o qual se refere ao valor médio de influência de um único fator de dimensionamento; 0,6 vezes a boca da embarcação para o limiar de preferência ( $p_2 = 85,50$ ); além de 1,3 vezes o valor da boca da embarcação em relação à faixa básica de manobrabilidade no limiar de veto ( $v_2 = 106,50$ ). Por fim, por meio da análise proposta por PHE (2013), considera-se indiferente uma variação de 20% na extensão total da hidrovia ( $q_3 = 0,2$ ), uma preferência  $p_3 = 0,3$  e um veto  $q_3 = 0,5$ . O próximo passo corresponde à aplicação do método ELECTRE TRI, que foi implementando utilizando o software MATLAB®.

#### 4.1 APLICAÇÃO DOS MÉTODOS E RESULTADOS OBTIDOS

Seja A o conjunto de alternativas a serem avaliadas pelo método ELECTRE TRI, que é dado por  $A = \{A1, A8, A11, A13, A17, A19, A20, A24, A27, A29, A30, A31, A35, A38, A39, A40, A43, A45, A47, A48, A50, A52, A53, A55, A56\}$ . A categorização destas alternativas é obtida a partir da avaliação  $g_j(a)$  de cada critério  $C_j$ , que é dado por:  $C_j = \{\text{Profundidade Mínima (C1), Largura Mínima (C2) e Sinuosidade (C3)}\}$ , conforme dados da Tabela 2. Deste modo, utilizando o software MATLAB®, inicialmente, calculou-se o índice de concordância parcial e global, conforme a Equação (1) e a Equação (2), além do índice de discordância, conforme a Equação (3), para finalmente obter o índice de credibilidade, como na Equação (4). A obtenção destes índices requer o uso de limites  $b_h$  que foram estabelecidos para os critérios  $C_j$ , além dos limiares de concordância e discordância e veto, conforme dados da Tabela 3. A partir dos valores obtidos para o índice de credibilidade, foi possível estabelecer as relações de preferência entre alternativas e perfis de cada categoria.

Finalmente, pode-se categorizar cada alternativa, utilizando o procedimento pessimista e o procedimento otimista, descritos na Seção 2. Para categorização com o uso do método ELECTRE TRI foi necessário identificar as relações de preferência, a partir da Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios, Florianópolis, v.14, Edição Especial 1, 2021.

comparação dos graus de credibilidade  $\sigma(a,bh)$ ,  $\sigma(bh,a)$  com o nível de corte  $\lambda$ . O Quadro 1 apresenta os resultados da categorização das alternativas, para um nível de corte rigoroso  $\lambda = 1$  e para um nível de corte mais flexível  $\lambda=0,8$ .

Quadro 1 – Resultados da categorização utilizando o ELECTRE TRI

Categorias	Resultados do Procedimento Pessimista com $\lambda = 1$	Resultados do Procedimento Otimista com $\lambda = 1$	Resultados do Procedimento Pessimista com $\lambda = 0,8$	Resultados do Procedimento Otimista com $\lambda = 0,8$
CT1	A35, A40	A8, A11, A13, A17, A19, A24, A27, A29, A30, A35, A39, A40, A43, A45, A48, A53, A55, A56	A35, A40	A8, A11, A13, A17, A19, A24, A27, A30, A35, A40, A43, A48, A53, A55, A56
CT2	A8, A11, A13, A19, A20, A24, A27, A29, A30, A38, A39, A48, A52, A53	A1, A20, A31, A38, A47, A50, A52	A1, A8, A11, A13, A19, A20, A24, A27, A29, A30, A31, A38, A39, A43, A45, A47, A48, A50, A52, A53	A1, A20, A29, A31, A38, A39, A45, A47, A50, A52
CT3	A1, A17, A31, A43, A45, A47, A50, A55, A56	-	A17, A55, A56	-

Fonte: Resultado da aplicação do método ELECTRE TRI em MATLAB®.

#### 4.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Em termos gerais, os resultados apresentados no Quadro 1 mostraram uma categorização ligeiramente diferente quando  $\lambda = 1$  e  $\lambda = 0,8$ . Quando  $\lambda = 1$ , a categorização com o procedimento pessimista se mantém mais rigorosa e consistente. Isso ocorre, pois, conforme descrito por Mousseau, Slowinski e Zielniewicz (2000), no procedimento pessimista com  $\lambda = 1$ , as alternativas analisadas só serão alocadas para uma determinada categoria se o desempenho em todos os critérios for pelo menos igual aos limites bh. No entanto, quando o nível de corte é reduzido, não se pode garantir que todos os critérios superam os limites bh. Outro aspecto geral a ser destacado são os diferentes resultados entre o procedimento otimista e pessimista. Como dito na seção 3, o procedimento pessimista compara cada alternativa sucessivamente com os limites de cada categoria, iniciando pela menor categoria, neste caso CT3. Quando se usa tal procedimento com  $\lambda = 1$ , a designação de uma alternativa à categoria Ch ocorrerá somente se todas as avaliações das alternativas forem iguais ou maiores que o valor do limite da categoria. Por outro lado, no procedimento otimista não se

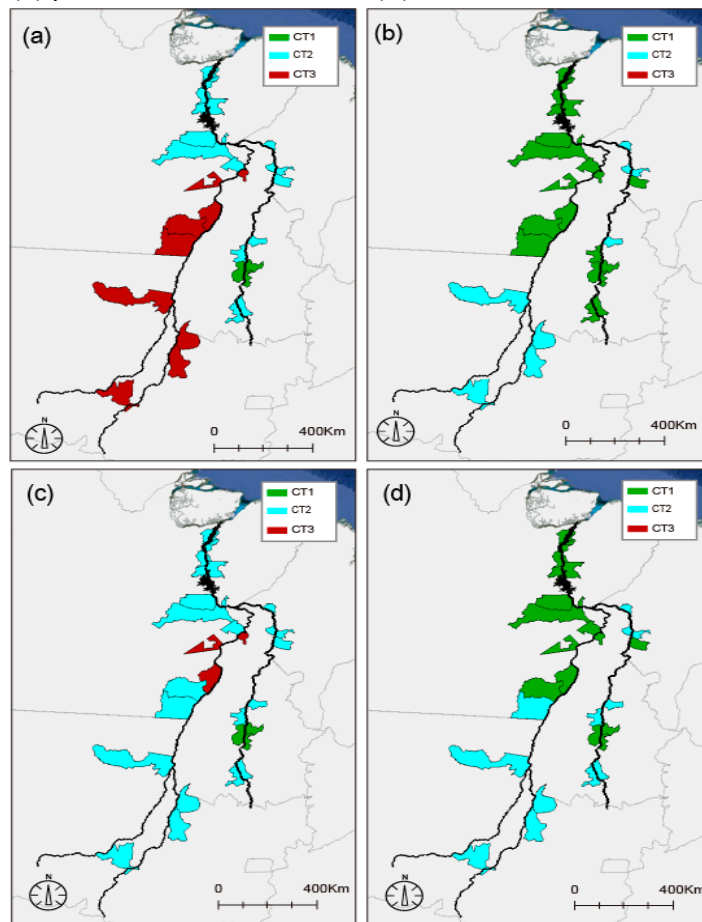
Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios, Florianópolis, v.14, Edição Especial 1, 2021.

pode ter esta garantia, mesmo com  $\lambda = 1$ . Por meio da Figura 5, é possível analisar as divisões das categorias CT1, CT2 e CT3 distribuídas espacialmente ao longo da região hidroviária Tocantins-Araguaia.

Em termos mais específicos, percebe-se que as alternativas A35 e A40 ficaram na primeira categoria (CT1) e as alternativas A8, A11, A13, A19, A20, A24, A27, A29, A30, A38, A39, A48, A52, A53 na segunda categoria (CT2), no procedimento pessimista com  $\lambda = 1$ . Ao passo que, no procedimento otimista, com o mesmo nível de corte, as alternativas A8, A11, A13, A17, A19, A24, A27, A29, A30, A35, A39, A40, A43, A45, A48, A53, A55, A56 ficaram na primeira categoria (CT1) e as alternativas A1, A20, A31, A38, A47, A50, A52 na segunda categoria (CT2).

Quando se atribuiu ao nível de corte o valor de  $\lambda = 0,8$ , as mesmas alternativas permaneceram na categoria (CT1), no procedimento pessimista. Já as alternativas A1, A8, A11, A13, A19, A20, A24, A27, A29, A30, A31, A38, A39, A43, A45, A47, A48, A50, A52, A53 na segunda categoria (CT2), no procedimento pessimista. No procedimento otimista, com o nível de corte  $\lambda = 0,8$ , as alternativas A8, A11, A13, A17, A19, A24, A27, A30, A35, A40, A43, A45, A48, A53, A55, A56 ficaram na primeira categoria (CT1) e as alternativas A1, A20, A29, A31, A38, A39, A47, A50, A52 na segunda categoria (CT2).

Figura 5 – Distribuição espacial da categorização obtida: (a) pessimista com  $\lambda = 1$ , (b) otimista com  $\lambda = 1$ , (c) pessimista com  $\lambda = 0,8$  e (d) otimista com  $\lambda = 0,8$ .



Fonte: Elaborado pelos autores a partir do Google Earth (2020) e dos resultados da pesquisa.

As alternativas não citadas se enquadraram na categoria Não Aptos (CT3) e não seriam indicadas para implementação de terminais, uma vez que não irão apresentar condições físicas de profundidade, largura e/ou sinuosidade para garantir condições mínimas de navegabilidade. Sabendo que os resultados do procedimento otimista estão suscetíveis a realizar classificações equivocadas em CT1 devido às relações de incomparabilidade, por questões de rigor, as análises a seguir se basearam apenas no procedimento pessimista, com  $\lambda = 1$  e com  $\lambda = 0,8$ .

Para o procedimento pessimista com  $\lambda = 1$  e com  $\lambda = 0,8$ , as alternativas com melhores condições são A35 (Palmas - TO) e A40 (Porto Nacional - TO). Avaliando-se os trechos na situação atual da hidrovia, de acordo com o PHE (2013), pode-se afirmar que os municípios A35 (Palmas - TO) e A40 (Porto Nacional - TO) não apresentam empecilhos naturais à

navegação. Com relação aos empecilhos físicos, ressalta-se apenas a presença da ponte na TO-040, para a alternativa A40, que se trata de um empecilho não limitante (classe 2). No entanto, o inconveniente deste resultado está na proximidade entre as cidades (distância inferior a 60 km), que poderia tornar inviável a criação de dois terminais tão próximos. Deste modo, decisões futuras poderiam considerar a escolha de apenas um entre os dois municípios.

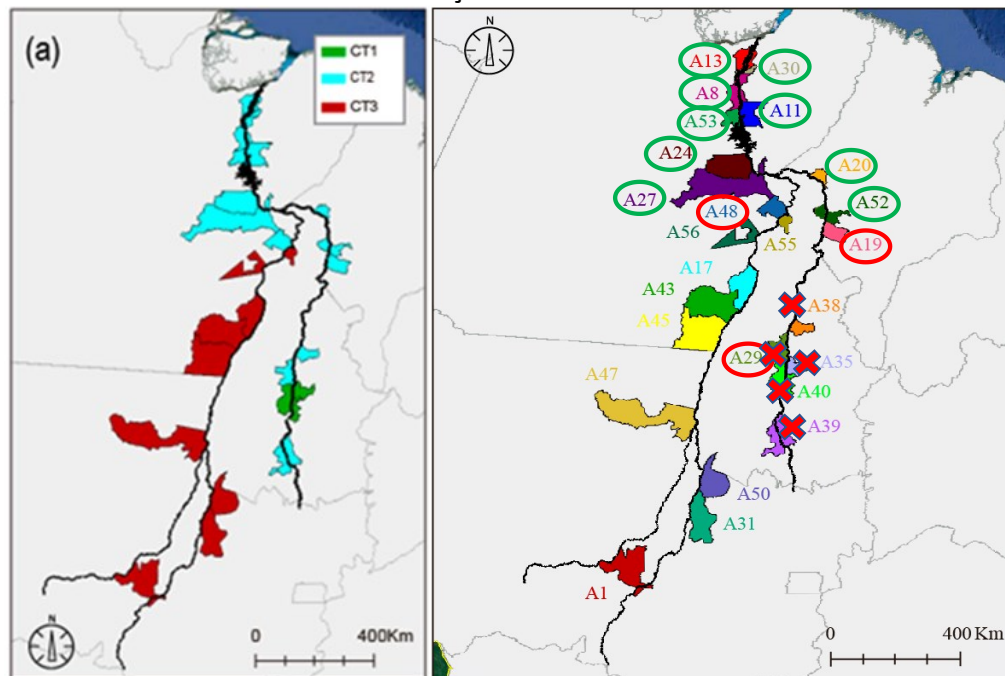
Por outro lado, considerando as alternativas que atendem aos requisitos mínimos, classificadas como CT2 no procedimento pessimista com  $\lambda = 1$ , há outros municípios candidatos, sendo eles: A8 (Baião - PA), A11 (Breu Branco - PA), A13 (Cametá - PA), A19 (Estreito - MA), A20 (Imperatriz - MA), A24 (Itupiranga - PA), A27 (Marabá - PA), A29 (Miracema do Tocantins - TO), A30 (Mocajuba - PA), A38 (Pedro Afonso - TO), A39 (Peixe - TO), A48 (São Geraldo do Araguaia - PA), A52 (Tocantinópolis - TO/ Porto Franco - MA), A53 (Tucuruí - PA). No caso da classe CT2, os limiares e parâmetros foram definidos nos padrões mínimos exigidos, deste modo, os municípios desta classe que foram obtidos pelo procedimento pessimista com  $\lambda=0,8$  não seriam recomendados, pois este nível de corte não garante o atendimento das características físicas mínimas.

De acordo com a classificação do PHE (2013), dentro das classes de empecilhos físicos e naturais, somente aqueles com classificação 4 e 5 oferecem obstáculos que tornam a navegabilidade e manobrabilidade ruins. Neste cenário, na Hidrovia Tocantins-Araguaia são detectados os seguintes empecilhos relevantes:

- a) A alternativa A19 (Estreito - MA) apresenta empecilhos físicos classe 5 (UHE de Estreito sem eclusa e Pontes da BR-230 e ferroviária);
- b) A alternativa A25 (Lajeado - TO) apresenta um empecilho físico classe 5 (UHE Lajeado);
- c) A alternativa A48 (São Geraldo do Araguaia - PA) apresenta um empecilho natural classe 5 (corredeiras).
- d) Por questões de localização geográfica, os empecilhos físicos da alternativa A19 (Estreito - MA), condicionam a seleção dos municípios A35 e A40, além de A29, A38, A39 e A52, à necessidade de adequação para permitir a navegabilidade. Da mesma forma, o empecilho físico de Lajeado - TO (A25) condiciona a seleção

dos municípios A35, A40 e A39. Por fim, o empecilho natural de São Geraldo do Araguaia - PA (A48) não condiciona nenhum dos municípios apontados como alternativas adequadas (categoria CT1 e CT2) para a instalação de terminais. Esses resultados podem ser melhor visualizados na Figura 6, em que os municípios aptos estão circulados em verde, os municípios com empecilhos estão circulados em vermelho e aqueles que foram geograficamente limitados pelos empecilhos estão demarcados com um “x” em vermelho.

Figura 6 – Distribuição espacial da categorização (a) pessimista com  $\lambda = 1$  e municípios candidatos à instalação de terminais hidroviários



Fonte: Elaborado pelos autores a partir do Google Earth (2020) e dos resultados.

Os demais empecilhos físicos verificados na Hidrovia Tocantins-Araguaia são de classe 2 ou inferior (sem impacto à navegabilidade). Outros municípios apresentam empecilhos naturais razoáveis, de classe 3, em sua maioria pela presença de assoreamentos/afloramentos. Porém, estes podem ser considerados de menor impacto, se comparados com os empecilhos de classe 4 e 5.

Assim, dentre as alternativas sem restrições iniciais e que foram categorizadas como CT1 e CT2, destacam-se: A8, A11, A13, A20, A24, A27, A30 e A53. Tais alternativas representam os municípios mais adequados à instalação de terminais hidroviários. Os demais

Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios, Florianópolis, v.14, Edição Especial 1, 2021.

municípios necessitam de maiores investimentos para serem viáveis do ponto de vista técnico. Por outro lado, investimentos em obras de infraestrutura nos municípios A19 e A25 possibilitam a instalação de terminais ao longo de todo o Rio Tocantins. Quanto ao número de terminais, recomenda-se que os órgãos de planejamento e/ou que pesquisas futuras conduzam uma avaliação do distanciamento geográfico ideal para atender à demanda de transporte de carga na região.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Um dos principais problemas em relação ao desenvolvimento do transporte hidroviário trata da definição do número e da localização de terminais hidroviários e, por este motivo, este artigo propôs o estudo das características dos municípios que possuem trechos da Hidrovia Tocantins-Araguaia. O estudo foi conduzido com o objetivo de categorizar os municípios candidatos à implementação de terminais hidroviários, por meio do uso de um método de análise multicritério, o ELECTRE TRI. Para este estudo, foram considerados critérios de navegabilidade e manobrabilidade, além de dados econômicos, tais como o PIB agropecuário e industrial, que permitiram uma pré-classificação dos municípios com maior demanda de transporte de carga. Deste modo, obteve-se a categorização dos municípios que estariam aptos para a implantação dos terminais hidroviários. Esta categorização foi criticamente analisada, considerando os empecilhos físicos e naturais da hidrovia apontados pelo relatório do PHE (2013).

Embora as categorias obtidas sejam coerentes, investigações futuras poderiam considerar o detalhamento dos aspectos socioeconômicos e de viabilidade financeira, investigando individualmente todas as atividades de cada município para compreender aquelas que demandam maior transporte multimodal ou intermodal. Além disso, investigações futuras poderiam considerar um estudo dos trechos para também categorizá-los em relação à navegabilidade e manobrabilidade. Espera-se que estes resultados possam orientar políticas públicas de investimento em terminais hidroviários na região hidrográfica Tocantins-Araguaia e em problemas similares.



## REFERÊNCIAS

- ALFREDINI, P.; ARASAKI, E. **Engenharia portuária**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2019.
- ANTAQ. **Anuário ANTAQ**. Brasília, 2019. Disponível em: <http://web.antaq.gov.br/Anuario/>. Acesso em: 05 jul. 2019.
- ANTAQ. **Bacia do Tocantins-Araguaia**: relatório técnico. Brasília, DF, 2013. Disponível em: <http://web.antaq.gov.br/Portal/PNIH.asp>. Acesso em 18 nov. 2018.
- BRASIL. Ministério da Infraestrutura. **No dia mundial dos rios, Brasil comemora aumento de 11% no transporte por hidrovias**. Brasília, DF: Ministério da Infraestrutura, 2017. Disponível em: <http://transportes.gov.br/ultimas-noticias/5294-no-dia-mundial-dos-rios,-brasil-comemora-aumento-no-transporte-por-hidrovias.html>. Acesso em: 17 maio 2020.
- BRASIL. Ministério dos Transportes Portos e Aviação Civil. **Corredores logísticos estratégicos: complexo de soja e milho**. Brasília, DF: Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil, 2017. Disponível em: [https://www.cnabrazil.org.br/assets/arquivos/pesquisas/relatorio\\_corredores\\_logisticos\\_vol\\_umei\\_versaoi\\_soja\\_milho\\_0.20792800%201514918415.pdf](https://www.cnabrazil.org.br/assets/arquivos/pesquisas/relatorio_corredores_logisticos_vol_umei_versaoi_soja_milho_0.20792800%201514918415.pdf). Acesso em: 23 ago. 2020.
- CERTA, A. *et al.* ELECTRE TRI-based approach to the failure modes classification on the basis of risk parameters: an alternative to the risk priority number. **Computers and Industrial Engineering**, v. 108, p. 100–110, Jun. 2017.
- CNT. **Boletins CNT**. Brasília, DF, 2018. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/boletins>. Acesso em: 18 mar. 2019.
- CRAINIC, T. G. Long-haul freight transportation. *In*: HALL, Randolph W. (ed.) **Handbook of transportation science**. 2th ed. Boston: Springer, 2003. p. 451–516.
- DYER, J. S. *et al.* Multiple criteria decision making, multiattribute utility theory: the next ten years. **Management Science**, Catonsville, v. 8, n. 5, p. 645–654, 1992.
- FIGUEIRA, J. R. *et al.* An Overview of ELECTRE Methods and their Recent Extensions. **Journal of Multi-criteria Decision Analysis**, v. 20, p. 65–85, 2013.
- FIGUEIRA, J. R.; GRECO, S.; EHRGOTT, M. **Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys**. 2. ed. New York: Springer, 2016.
- FONTANA, M. E.; NEPOMUCENO, V. S. Multi-criteria approach for products classification and their storage location assignment. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 88, p. 3205–3216, 2017.
- FRIEND, J. D.; LIMA, R. S. Impact of transportation policies on competitiveness of Brazilian and U.S. soybeans: From field to port. **Transportation Research Record: journal of the transportation research board**, [Thousand Oaks], v. 2238, p. 61–67, 2011.
- Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios, Florianópolis, v.14, Edição Especial 1, 2021.

GARCIA, B. T. G. *et al.* Analysis of the performance of transporting soybeans from Mato Grosso for export: A case study of the Tapajós-Teles Pires Waterway. **Sustainability (Switzerland)**, v. 11, p. 1–26, 2019.

GOOGLE EARTH. **América do Sul e Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia (Brasil). Coordenadas: 9.28°S 50.55°O.** 2020. Acesso em: 23 ago. 2020.

IBGE. **IBGE cidades.** Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 21 abr.2020.

ISHFAQ, R.; SOX, C. R. Hub location–allocation in intermodal logistic networks. **European Journal of Operational Research**, v. 210, n. 2, p. 213–230, 2011.

JAIMURZINA, A. *et al.* **Joint paper on inland waterways classification for South America.** Santiago: Printed at United Nations; ECLAC, 2017.

KEENEY, R. L. Feature article decision analysis: an overview. **Operations Research**, v. 30, n. 5, p. 803–838, 1982.

KIM, N. S.; VAN WEE, B. The relative importance of factors that influence the break-even distance of intermodal freight transport systems. **Journal of Transport Geography**, v. 19, n. 4, p. 859–875, 2011.

LIN, C-C; CHIANG, Y-I; LIN, S-W. Efficient model and heuristic for the intermodal terminal location problem. **Computers & Operations Research**, v. 51, p. 41–51, 2014.

MARTINS, M. R.; PESTANA, M. A.; DROGUETT, E. A. L. A Methodology for assessing the probability of occurrence of undesired events in the Tiete–Paraná Inland Waterway Based on Expert Opinion. **Risk Analysis**, v. 40, n. 6, p. 1279–1301, 2020.

MOUSSEAU, V.; FIGUEIRA, J. R.; NAUX, J. P. Using assignment examples to infer weights for ELECTRE TRI method: Some experimental results. **European Journal of Operational Research**, v. 130, n. 2, p. 263–275, 2001.

MOUSSEAU, V.; SLOWINSKI, R.; ZIELNIEWICZ, P. A user-oriented implementation of the ELECTRE-TRI method integrating preference elicitation support. **Computers and Operations Research**, v. 27, p. 757–777, 2000.

PHE. **Plano Hidroviário Estratégico- PHE.** Brasília, DF, 2013. Disponível em: <http://www.dados.gov.br/dataset/plano-hidroviario-estrategico-phe>. Acesso em: 21 abr. 2020.

PIANC. **Harbour approach channels Design guidelines.** Bruxelas: PIANC, 2014. (PIANC report n°121. Maritime Navigation Commission. v.1).

POMPERMAYER, F. M.; CAMPOS NETO, C. A. S.; DE PAULA, J. M. P. **Hidroviás no Brasil: perspectiva histórica, custos e institucionalidade.** Rio de Janeiro: Ipea, 2014.

ROY, B.; SLOWINSKI, R. Questions guiding the choice of a multicriteria decision aiding method. **EURO Journal on Decision Processes**, v. 1, p. 69–97, 2013.

SAEEDI, H. *et al.* Analyzing competition in intermodal freight transport networks: The market implication of business consolidation strategies. **Research in Transportation Business & Management**. v. 23, p. 12–20, 2017.

SANTOS, A. B.; SPROESSER, R. L.; BATALHA, M. O. Exploring strategic characteristics of intermodal grain terminals: Empirical evidence from Brazil, **Journal of Transport Geography**, v. 6, p. 259–267, 2018.

SÖRENSEN, K.; VANOVERMEIRE, C. Bi-objective optimization of the intermodal terminal location problem as a policy-support tool. **Computers in Industry**, v. 64, n. 2, p. 128–135, 2013.

TEIXEIRA, C. A. N. *et al.* Navegação interior brasileira. **BNDES Setorial**, v. 47, p. 437–482, 2018.

THORESEN, C. A. **Port designer's Handdbook**. 3th ed. London: ICE Publishing, 2014.