

# ABORDAGEM MULTICRITÉRIO PARA PRIORIZAÇÃO DE PROJETOS HIDROVIÁRIOS: MODELO APLICADO EM UM PLANO DE TRANSPORTE E LOGÍSTICA BRASILEIRO

**Poliana Cardoso**

**José Teixeira de Araújo Neto Santos**

**Márcia Helena Veleza Moita**

UFAM- Universidade Federal do Amazonas

NTC - Núcleo de Inter Institucional de Pesquisa em Transporte e Construção Naval

## RESUMO

Neste presente trabalho o objetivo é definir o *ranking* das intervenções hidroviárias nos eixos estruturantes do Brasil com utilização do método Prométhée II. A questão proposta trata de uma problemática de ordenação, no qual a hidrovia com melhor desempenho será considerada a principal prioridade. O *ranking* das intervenções hidroviárias será realizado usando a nomenclatura dos eixos e a ordem de prioridade será apresentada por eixo, que são “*Clusters*” e representam o conjunto de intervenções hidroviárias mais importantes. O eixo que apresentar o melhor desempenho, são os projetos de hidroviárias com a maior prioridade. Os projetos hidroviários foram avaliados por especialistas e o *ranking* estabelecido permitiu apresentar as hidroviárias prioritárias. Com os resultados foi possível definir e analisar qual a ordem de prioridade para intervenções hidroviárias, além de oferecer uma contribuição sobre a importância dos critérios no desempenho geral das hidroviárias, para uma reflexão acerca do nível de desenvolvimento das hidroviárias.

**PALAVRAS CHAVE:** Multicritério; *Ranking*; Hidroviárias.

## ABSTRACT

In this work the goal is to define the ranking of interventions in the waterway structural axes of Brazil using the method Prométhée II. The question posed is a problem of sorting, in which the waterway with better performance will be considered the first priority. The ranking of interventions waterways will be carried out using the nomenclature of the axes and order of priority will be given for each axis, which are “clusters” and represent the set of interventions most important waterway. The axis that give the best performance, are the projects for waterways with the highest priority. The waterway projects were evaluated by experts and the ranking established allowed to present the priority waterways. The results made it possible to define and analyze what is the order of priority for interventions waterway, and provide a contribution on the importance of the criteria in the overall performance of the waterways, for a discussion about the level of development of the waterways.

**KEYWORDS:** Multicriteria; *Ranking*; Waterways.

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo o Plano CNT - Confederação Nacional de Transporte (2011) a rede integrada de transporte, formada por infraestruturas como as vias e os terminais intermodais, é essencial, uma vez que garante o acesso aos locais onde a demanda por bens acontece. O Brasil conta com uma rede de infraestrutura que não opera de forma eficiente, causando um grave desequilíbrio na matriz de transporte. Neste contexto, muito se tem debatido sobre a necessidade de aperfeiçoamento da matriz de transporte nacional, no que diz respeito à redistribuição de modal.

A participação das hidroviárias na atual matriz de transporte de cargas é ainda modesta, cerca de 4%, quando comparada com o percentual de 58% do transporte rodoviário. Segundo a ANTAQ - Agência Nacional de Transportes Aquaviários (2007), atualmente, são transportadas pelas hidroviárias brasileiras cerca de 45 milhões de toneladas de cargas/ano,

enquanto o potencial identificado é pelo menos quatro vezes maior.

Segundo Brasil (2010), o quadro atual indica um nível de investimento público inferior as necessidades de infraestrutura hidroviária, reduzido percentual de investimento privado e a existência de diversos obstáculos regulatórios que envolvem aspectos de licenciamento ambiental, mercado e estrutura organizacional defasada.

É imprescindível que se estabeleça um plano estratégico de desenvolvimento do transporte hidroviário que defina as hidrovias prioritárias para o País. As limitações atuais e as necessidades de melhoramentos e ampliações na rede hidroviária nacional são fatores importantes para um bom desenvolvimento do país, Brasil (2010).

Sendo assim, a priorização dos projetos hidroviários se torna um problema complexo, que envolve diversas alternativas analisadas por um conjunto de critérios. É neste âmbito que o Apoio Multicritério a Decisão (AMD) pode ser utilizado como uma importante ferramenta na definição de prioridades. Segundo Roy *et al* (1993) o AMD é aplicado em situações com critérios conflitantes, visando encontrar uma alternativa ou conjunto de alternativas que se apresentem como soluções para o problema.

O objetivo geral proposto no artigo é definir o *ranking* dos projetos hidroviários nos eixos estruturantes do Brasil com a utilização do método Promethée II. O *ranking* estabelece o conjunto de hidrovias prioritárias, por eixo, que contribui para elevar a participação do modal, garantindo um melhor equilíbrio do sistema de transportes.

## 2. PLANO CNT DE TRANSPORTE E LOGÍSTICA

O Plano CNT (2011) corresponde a um conjunto de propostas de projetos de adequação, construção e recuperação da infraestrutura de transportes, organizado sob duas categorias: os Eixos Estruturantes e as Regiões Metropolitanas, esses consideram os fluxos urbanos e sua ótica é distinta dos Eixos Estruturantes.

Os projetos de integração nacional realizados pelo CNT (2011) fundamentaram-se na estruturação de eixos de transporte, formados por um conjunto de infraestruturas estabelecidas conforme a produção econômica e a necessidade de distribuição de bens. Os eixos são constituídos por uma diretriz principal definida como eixo estruturante e por ligações complementares aos eixos responsáveis por prover a acessibilidade ou a complementação do transporte até o eixo estruturante. Vide na Tabela 1 as definições dos Eixos Estruturantes.

**Tabela 1.** Definição dos eixos estruturantes

EIXO ESTRUTURANTES	DEFINIÇÃO
EIXO NORDESTE-SUL (E1)	Inicia-se com um trecho da malha ferroviária da América Latina Logística –ALL Malha Sul, de Rio Grande (RS) até as proximidades da cidade de São Paulo (SP), acessando, então, a BR-381 até Belo Horizonte (MG). Da capital mineira, o eixo segue em direção a Salvador (BA) via ramal da Ferrovia Centro-Atlântica – FCA e sua conclusão se perfaz pela BR-116, entre Salvador (BA) e Fortaleza (CE);

EIXO LITORÂNEO (E2)		Liga a Região Sul à Região Norte, primeiramente de Porto Alegre (RS) a Salvador (BA) pelas rodovias BR-290, BR-101, BR-376, BR-116 e, novamente, BR-101. Em seguida, entre Salvador (BA) e Teresina (PI), a ligação é realizada pelas malhas ferroviárias da Ferrovia Centro-Atlântica – FCA e da Transnordestina Logística – TNL. Por fim, da capital piauiense até Belém (PA), a ligação é rodoviária via BR-316 e BR-010;
EIXO NORTE-SUL (E3)		Conecta a Região Norte à Região Sul com diretriz pelo interior do País, cruzando a Região Centro-Oeste. O eixo parte por rodovia de Uruguaiana (RS), pelas BR-472, BR-285, BR-158, BR-262 e BR-163, até Cascavel (PR). Daí, a ligação passa a ser aquaviária, pelas hidrovias dos rios Paraná e Paranaíba, até a cidade de Itumbiara (GO). Na sequência, pela BR-153, o eixo percorre o Estado de Goiás até chegar à cidade de Peixe (TO), acessando, então, a Hidrovia do Tocantins até a cidade de Belém (PA);
EIXO AMAZÔNICO (E4)		Apresenta uma diretriz composta somente pelo modal aquaviário, utilizando-se dos rios Amazonas e Solimões. Seu início é no Município de Tabatinga (AM), na fronteira com a Colômbia e o Peru, seguindo pelas hidrovias até alcançar a cidade de Macapá (AP), onde atinge o Oceano Atlântico;
EIXO CENTRO-NORTE (E5)		Inicia-se em Novo Mundo (MS), na divisa com o Estado do Paraná, e se desenvolve ao longo da rodovia BR-163 até Guarantã do Norte (MT), na divisa com o Pará, onde acessa o transporte aquaviário pela Hidrovia Teles Pires-Tapajós até o término, em Santarém (PA);
EIXO NORDESTE-SUDESTE (E6)	NORTE-	Liga as Regiões Norte e Sudeste, passando pela Região Centro-Oeste. Sua diretriz começa em Itacoatiara (AM), percorrendo a hidrovia do rio Madeira até o Município de Humaitá (AM). Dali, o eixo prossegue pelas rodovias BR-364, BR-174 e BR-070 até Alto Araguaia (MT) e depois percorre trechos das malhas ferroviárias da América Latina Logística Malha Norte – ALL Malha Norte (antiga Ferronorte) e Malha Paulista – ALL Malha Paulista (antiga Ferroban) até a cidade de Santos (SP);
EIXO LESTE-OESTE (E7)		A diretriz desse eixo interliga o extremo Oeste do Acre até o litoral da Bahia, passando pela Região Centro-Oeste. No início, a infraestrutura utilizada é a rodovia BR-364, partindo de Rodrigues Alves (AC) até a localidade de Abunã, no Município de Porto Velho (RO). A partir daí, o eixo utiliza-se do transporte aquaviário pelas hidrovias Madeira, Mamoré e Guaporé até Vila Bela da Santíssima Trindade (MT). Em seguida, são utilizados trechos das rodovias BR-364, BR-070, BR-020 e BR-242 até chegar a Salvador (BA);
EIXO NORDESTE-SUDESTE (E8)		Conecta as Regiões Nordeste e Sudeste do País. Sua diretriz começa em São Luiz (MA), pela malha ferroviária da Transnordestina Logística – TNL (antiga CFN), até Teresina (PI). Em seguida, percorrendo trechos das rodovias BR-316 e BR-407, o eixo se desenvolve até o Município de Juazeiro (BA), de onde acessa a Hidrovia do São Francisco, chegando a Pirapora (MG). Por fim, saindo da hidrovia, o eixo alcança a cidade do Rio de Janeiro (RJ) via malhas ferroviárias da Ferrovia Centro-Atlântica – FCA e da MRS Logística – MRS;
EIXO CABOTAGEM (E9)	DE	Liga os principais portos marítimos brasileiros por meio das possíveis rotas operacionais de navegação de cabotagem, iniciando-se em Rio Grande (RS) e terminando em Macapá (AP).

De forma geral, as intervenções dos projetos de integração nacional elaborado pelo CNT, contemplam basicamente propostas de construção e adequação nas diversas modalidades de transporte e o investimento mínimo total previsto é de R\$404.971.146.596,76. As propostas de projetos para as hidrovias representam 8% do investimento total previsto, o que equivalente a R\$32.094.272.238,35 e contemplam as seguintes intervenções: ampliação de profundidade, implantação de dispositivos de transposição e abertura de canais de navegação.

Segundo Brasil (2010), diante do panorama atual, o setor hidroviário é propósito de ampliação gradual da sua participação no transporte interno de cargas, é fundamental estabelecer uma estratégia global de longo prazo para os investimentos nos transportes, visto que uma infraestrutura de transporte de qualidade é fundamental para garantir uma eficiência logística capaz de permitir ao Brasil o desenvolvimento de todo seu potencial socioeconômico.

### 3. METODOLOGIA MULTICRITERIAL

Segundo Bartolomeu e Ferreira (2000), a Tomada de Decisão é o processo de escolha ou seleção de alternativas ou caminhos de ação “suficientemente bons” entre os grupos de alternativas para atingir um objetivo ou alguns objetivos.

De acordo com Carvalho (2008), o processo de tomada de decisão sobre o desenvolvimento de um empreendimento hidroviário, requer a consideração de vários aspectos, sejam de ordem quantitativa ou de ordem qualitativa. Na maioria dos casos as decisões levam em consideração aspectos tecnológico, econômico, ambientais e sociais, o que torna oportuna a aplicação de um método multicriterial de suporte à tomada de decisão.

A questão proposta trata de uma problemática de ordenação, a hidrovia com o melhor desempenho será considerada a principal prioridade. O Promethée II foi escolhido por resultar na problemática em questão por ser um método não-compensatório, que favorece alternativas bem balanceadas.

O *ranking* das hidrovias prioritárias será realizado usando a nomenclatura dos nove eixos estruturantes – Hidrovia ( $E_i$ ), onde  $i$  é eixo estruturante. A ordem de prioridade será apresentada por eixo, que são “*Clusters*” e representam um conjunto de intervenções hidroviárias. O eixo que apresentar o melhor desempenho, na verdade está refletindo a importância do conjunto de projetos hidroviários agrupados, são os projetos de hidrovias com a maior prioridade.

Neste caso vamos considerar um problema multicritério, cujo objetivo é  $\max\{g_{\text{integração}}(E), g_{\text{acesso}}(E), g_{\text{custo}}(E), g_{\text{ambiental}}(E), g_{\text{economico}}(E)\}$  onde  $E$  são os eixos estruturantes que compõem um conjunto finito de alternativas  $E_i = \{e_1, e_2, e_3, \dots, e_9\}$  possíveis e  $g_i$  é um conjunto de critérios de avaliação  $g_i = \{g_{\text{integração}}(\cdot), g_{\text{acesso}}(\cdot), g_{\text{custo}}(\cdot), g_{\text{ambiental}}(\cdot), g_{\text{economico}}(\cdot)\}$ , alguns critérios devem ser maximizados e os outros minimizado. A expectativa do tomar de decisão é identificar uma otimização de alternativas para todos os critérios.

Nesta pesquisa, os pesos de importância dos critérios foram determinados por um grupo de especialistas em transporte hidroviário da (Universidade de Liège) e UFAM/NTC (Universidade Federal do Amazonas/Núcleo de Transporte e Construção Naval), responsáveis fortemente pelo *ranking* definido no processo decisório, no qual o *stakeholder* envolvido é a ANTAQ.

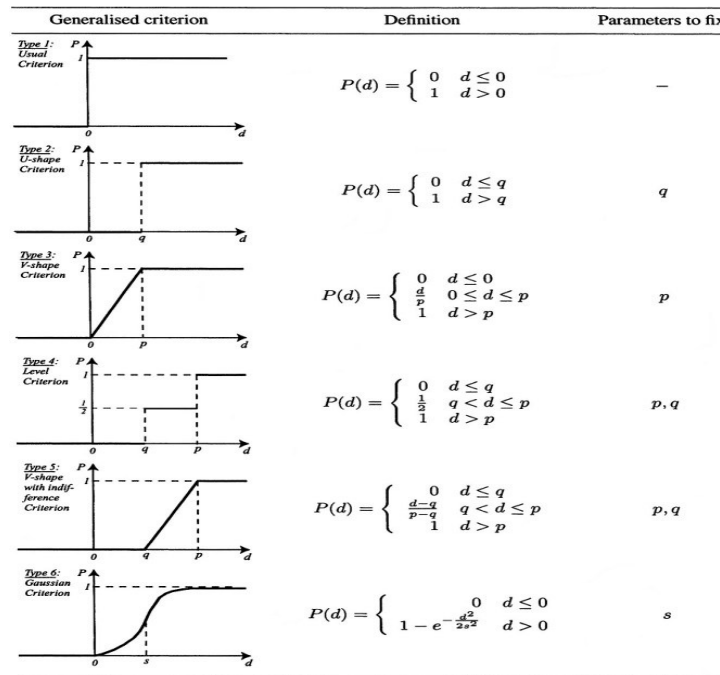
### 3.1. Método Promethée

O método Promethée (*Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation*) (Brans e Vincke, 1985), consiste em construir uma relação de sobreclassificação de valores (Vincke, 1992). Os métodos Promethée foram projetados para tratar de problemas multicritério e para executá-los necessita-se de informações adicionais que são constituídas particularmente de: informações entre os critérios e informações para cada critério.

Entende-se que o conjunto  $\{w_j, j = 1, 2, \dots, n\}$  representa os pesos de importância relativa dos diferentes critérios. Esses pesos são números não negativos, não dependente da unidade de medição e quanto maior o peso, maior é a importância do critério.

O método Promethée se diferencia dos outros da Escola Francesa nos tipos de critérios utilizados. Podem-se empregar seis tipos de funções para descrever os critérios avaliados na implementação do método. Cada tipo de critério é caracterizado por uma função que busca representar a preferência do decisor. A Função de Preferência  $P_j(a_i, a_k)$  que descreve cada critério e assume valores entre 0 e 1 (Almeida e Costa, 2002).

Segundo Brans e Mareschal (2005) a função de preferência tem que ser definida para cada critério, vide a Figura 1. Para algumas dessas funções de preferência é necessário atribuir os valores “q” e “p”, que são respectivamente os limites de indiferença (q) e o limite de preferência (p), para cada critério se necessário.



**Figura 1.** Funções de Preferência

O promethée é baseado em comparações emparelhadas, onde primeiro defini-se os índices de preferência agregada e os fluxos *outranking*.

O índice de preferência agregado é  $\pi(a, b)$  e  $\pi(b, a)$ , onde:

$$\begin{cases} \pi(a, b) = \sum_{j=1}^k P_j(a, b)w_j, \\ \pi(b, a) = \sum_{j=1}^k P_j(b, a)w_j. \end{cases}$$

O  $\pi(a, b)$  expressa com que grau  $a$  é o preferido para  $b$  e  $\pi(b, a)$  como  $b$  é preferível a  $a$ . Na maioria dos casos, existem critérios para o que  $a$  é melhor do que  $b$ , e critérios para os quais  $b$  é melhor do que  $a$ , consequentemente  $\pi(a, b)$  e  $\pi(b, a)$  são geralmente positivas.

Cada alternativa enfrenta  $(n - 1)$  alternativas em  $A$ , onde são definidos dois seguintes fluxos *outranking*: o fluxo positivo que expressa como uma alternativa  $a$  sobreclassifica todas as outras e quanto maior  $\phi^+(a)$  melhor é a alternativa. O fluxo *outranking* negativa expressa o quanto uma alternativa é superada por todas as outras. Quanto menor o  $\phi^-(a)$  melhor é a alternativa (Brans e Vinck, 1985; Brans *et al.*, 1986)

Promethée II consiste  $P^I, I^I, R^I$ , que representam respectivamente Preferência, Indiferença e Incomparabilidade, no *ranking* completo, ou seja, o equilíbrio entre os fluxos superando positivo e negativo. O maior fluxo líquido é a melhor alternativa, pode então ser considerado, como:

$$\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a).$$

Dessa forma, de acordo com Brans e Mareschal (2005), obtém-se a ordenação das alternativas, de acordo com os valores encontrados para o fluxo líquido. O único critério de fluxo líquido  $\phi_j(a)$  obtido quando único critério  $g_j(.)$  é considerado. Ele expressa como uma alternativa  $a$  é *outranking* ( $\phi_j(a) > 0$ ) ou ( $\phi_j(a) < 0$ ) desclassificado por todas as alternativas no critério  $g_j(.)$ . O perfil de uma alternativa consiste no conjunto de toda a rede do critério único de fluxos:  $\phi_j(a), j = 1, 2, \dots, k$ .

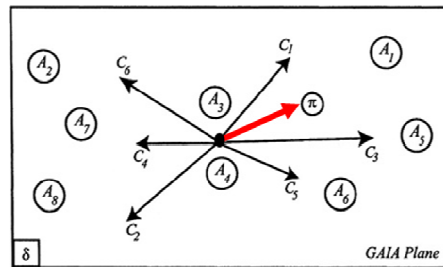
Os critérios diferentes são amplamente utilizados pelos tomadores de decisão para concluir a sua apreciação. O fluxo líquido global de uma alternativa é o produto escalar entre o vetor de pesos e o vetor perfil desta alternativa. Esta propriedade será amplamente utilizada quando a edificação do GAIA.

### 3.2 Plano GAIA

As informações incluídas na matriz  $M$  ( $n \times k$ ) (os fluxos líquido de critério único de todas as alternativas) são mais extensas do que a tabela de avaliação  $\phi_j(a)$ , porque o grau de preferência dado pela generalização do critério é levado em conta em  $M$ . Além disso, os  $g_j(a_i)$  são expressos em sua própria escala, enquanto os  $g_j(a_i)$  são adimensionais.

Consequentemente, o conjunto das  $n$  alternativas pode ser representada como uma nuvem de  $n$  pontos em um espaço  $k$ -dimensional que está centrada na origem. Como o número de critérios é geralmente maior do que dois, é impossível obter uma visão clara da posição relativa dos pontos em relação aos critérios. Por isso, projeta as informações contidas no  $k$ -dimensional espaço de um plano. São projetados os pontos que representam as alternativas e os vetores unitários dos eixos de coordenadas que representam os critérios.

Segundo Brans e Mareschal (2005), O plano GAIA preserva o máximo de informação possível após a projeção. De acordo com a técnica de PCA - Análise de Componentes Principais foram definidos dois autovetores correspondentes aos dois autovalores da matriz  $M^*M$  de covariância dos fluxos líquidos único do critério. Onde  $(A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_n)$  são as projeções dos pontos que representam as alternativas e  $(C_1, C_2, \dots, C_j, \dots, C_k)$  são as projeções da  $k$  unidade de vetores das coordenadas dos eixos  $\mathbb{R}^k$  que representam os critérios (Figura 2).



**Figura 2 - Alternativas e Critérios no plano GAIA**

O vetor dos pesos é também um vetor  $\mathbb{R}^k$ . No Promethée o fluxo líquido de uma alternativa  $a_i$  é o produto escalar entre o vetor do seu único critério, os fluxos líquidos e do vetor dos pesos:

$$a_i : (\phi_1(a_i), \phi_2(a_i), \dots, \phi_j(a_i), \dots, \phi_k(a_i)),$$

$$w : (w_1, w_2, \dots, w_j, \dots, w_k).$$

Isto também significa que o fluxo líquido do Promethée  $a_i$  é a projeção do vetor de sua rede do fluxo do único critério  $w$ . Consequentemente, as posições relativas das projeções de todas as alternativas  $w$  do *ranking* fornecido pelo Promethée II. O vetor  $w$  pode ser representado no plano GAIA pela projeção do vetor unitário dos pesos, onde  $\pi$  é essa projeção, e chamado eixo decisão.

#### 4. RESULTADOS E ANÁLISE

As informações para obter o desempenho das alternativas em relação a cada critério foram obtidas com base nas análises dos especialistas do Plano CNT de Transporte e Logística de 2011, em alguns casos utilizou-se a análise quantitativa e em outras a análise qualitativa, conforme a Tabela 2. Os pesos de importância e funções de preferência estão apresentados na Tabela 3. A importância dos critérios na ótica dos especialistas foram: a integração (0.4), em seguida a acessibilidade (0.22), o custo (0.14) e por fim os critérios econômicos e ambientais que representam (0.12), cada um.

**Tabela 2.** Definição dos eixos estruturantes

Alternativas	Critérios				
	Acessibilidade*	Custo (mínimo)	Integração*	Econômico	Ambiental
Hidrovia (E <sub>1</sub> )	Muito Ruim	706,708,194	Regular	Regular	Muito Bom
Hidrovia (E <sub>2</sub> )	Ruim	2,781,170,386	Muito Bom	Bom	Bom
Hidrovia (E <sub>3</sub> )	Bom	6,824,064,746	Bom	Regular	Ruim
Hidrovia (E <sub>4</sub> )	Regular	2,564,297,822	Muito Ruim	Muito Ruim	Regular
Hidrovia (E <sub>5</sub> )	Ruim	5,980,845,275	Muito Ruim	Ruim	Bom
Hidrovia (E <sub>6</sub> )	Bom	9,241,678,976	Regular	Regular	Ruim
Hidrovia (E <sub>7</sub> )	Ruim	2,006,325,528	Ruim	Regular	Bom
Hidrovia (E <sub>8</sub> )	Ruim	1,910,908,024	Ruim	Ruim	Bom
Hidrovia (E <sub>9</sub> )	Muito Ruim	78,273,286	Ruim	Bom	Muito Bom

Escala\*: Muito Ruim, Ruim, Regular, Bom e Muito Bom

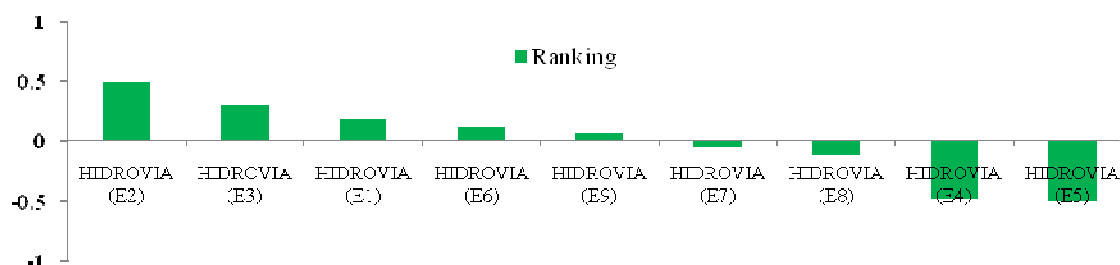
**Tabela 3.** Definição dos critérios

Critérios	Tipo	Peso	Unid	Função de Preferência
Acesso	Max	0.22	Escala*	Usual
Custo	Min	0.14	Numérico	Linear $p = 0$ $q = 1$
Integração	Max	0.4	Escala	Usual
Econômico	Max	0.12	Escala	Usual
Ambiental	Min	0.12	Escala*	Usual

Escala: Muito Ruim, Ruim, Regular, Bom e Muito Bom

Escala\*: Muito Fraco, Fraco, Moderado, Forte e Muito forte

Os projetos de hidroviários foram avaliadas através das decisões dos especialistas sobre *software D-Sight* versão 3 de 2009, o *ranking* estabelecido permite apresentar o conjunto de hidrovias prioritárias conforme é mostrado na Figura 3. As prioridades de projetos hidroviários são: Hidrovia (E<sub>2</sub>), Hidrovia (E<sub>3</sub>), Hidrovia (E<sub>1</sub>), Hidrovia (E<sub>6</sub>), Hidrovia (E<sub>9</sub>), Hidrovia (E<sub>7</sub>), Hidrovia (E<sub>8</sub>), Hidrovia (E<sub>4</sub>) e Hidrovia (E<sub>5</sub>).

**Figura 3 –** Ranking de prioridades das hidrovias

O resultado da priorização dos projetos hidroviários representa o agrupamento das principais intervenções hidroviárias identificadas no PNLT de 2011. Contudo o *ranking* descrito acima é equivalente a um conjunto de intervenções hidroviárias que são identificadas e ordenadas por



prioridade. O Eixo Litorâneo obteve o maior fluxo líquido ( $\square = 0.458$ ), sendo classificado como a principal prioridade. A maioria das intervenções hidroviárias deste eixo está localizadas na região sul do Brasil e corresponde a abertura de canal, qualificação da hidrovia e modernização da eclusa. Inversa conclusão é obtida para o Eixo Centro-Norte, pois este apresenta o menor fluxo líquido ( $\square = -0.508$ ) e é classificado com a última prioridade, suas intervenções são todas no Norte do país e corresponde em abertura de canal (vide Tabela 4).

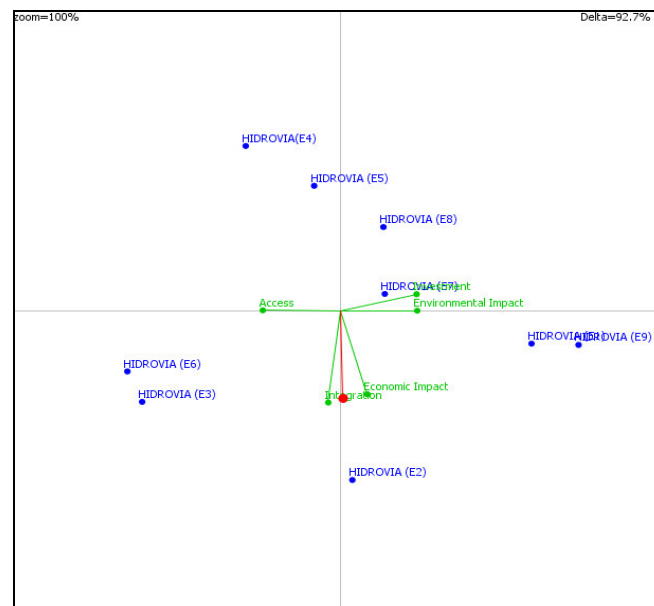
**Tabela 4.** Identificação das principais obras por eixo priorizado

<i>Cluster</i>	<b>Município Inicial/UF</b>	<b>Município final/UF</b>	<b>Título</b>
<b>EIXO LITORÂNEO (E2)</b>	Muamá / PA	Anajás / PA	Abertura de Canal entre os rios Atua e Anajás
	Triunfo / RS	Cachoeira do Sul / RS	Qualificação da hidrovia do rio Jacuí
	Pelotas / RS	Santa Vitória do Palmar / RS	Qualificação da hidrovia Lagoa Mirim
	Rio Grande / RS	Rio Grande / RS	Qualificação da hidrovia do Canal de São Gonçalo
	Triunfo / RS	Estrela / RS	Qualificação da hidrovia do rio Taquari
	Cachoeira do Sul / RS	Cachoeira do Sul / RS	Modernização da eclusa de Cachoeira do Sul
	Rio Pardo RS	Rio Pardo / RS	Modernização da eclusa de Dom Marco
	Marabá / PA	Marabá / PA	Abertura de Canal para a transposição das Corredeiras de Santa Isabel
	Santa Terezinha do Itaipu / PR	Foz do Iguaçu / PR	Abertura de Canal entre os rios Iguaçu e Paraná
	Mangueirinha / PR	Chapecó / SC	Abertura de Canal entre os rios Iguaçu e Paraná
<b>EIXO NORTE-SUL (E3)</b>	Três Lagoas / MS	Foz do Iguaçu / PR	Qualificação da Hidrovia do rio Paraná
	Barra do Garças / MT	Xambioá / TO	Qualificação da hidrovia do rio Araguaia
	Nova Xavantina / MT	São Felix do Araguaia / MT	Qualificação da hidrovia do rio das Mortes
	Miracema do Tocantins / TO	Porto Franco / MA	Qualificação da hidrovia do rio Tocantins
	Ipixuna do Pará / PA	Paragominas / PA	Expansão da hidrovia dos rios Guamá-Capim
	Castilho / SP	Castilho / SP	Modernização da eclusa de Jupia
	Ilha Solteira / SP	Ilha Solteira / SP	Construção da eclusa de Ilha Solteira
	Itaipu / PR	Itaipu / PR	Construção da eclusa de Itaipu
	Lajeado / TO	Lajeado / TO	Construção da eclusa de Lajeado
	Batayporã / MS	Batayporã / MS	Modernização da eclusa de porto Primavera
<b>Eixo Nordeste-Sul (E1)</b>	Imperatriz / MA	Imperatriz / MA	Construção da eclusa de Serra Quebrada
	Cacequi / RS	Cachoeira do Sul / RS	Abertura de Canal entre os rios Ibicuí e Jacuí
	Mogi das Cruzes / SP	Jacareí / SP	Abertura de Canal entre os rios Tietê e Paraíba do Sul
<b>EIXO NORTE-SUDESTE (E6)</b>	Porto Velho / RO	Abunã / RO	Abertura de canal para a expansão da hidrovia do rio Madeira

	Abunã / RO	Guajará-Mirim / RO	Abertura de canal para a expansão da hidrovia do rio Madeira
	Vila Bela da Santíssima Trindade / MT	Cáceres / MT	Abertura de Canal entre os rios Guaporé e Paraguai
	Coxim / MS	Costa Rica / MS	Abertura de Canal entre os rios Taquari e Araguaia
	Itacoatiara / AM	Porto Velho / RO	Qualificação da hidrovia do rio Madeira
	Anhumas / SP	Castilho / SP	Qualificação da hidrovia do rio Tietê
	Cáceres / MT	Corumbá / MS	Qualificação hidrovia do rio Paraguai
	Promissão / SP	Promissão / SP	Modernização da eclusa de Promissão
	Buritama / SP	Buritama / SP	Modernização da eclusa de Nova Avanhandava
	Bariri / SP	Bariri / SP	Modernização da eclusa de Bariri
	Barra Bonita / SP	Barra Bonita / SP	Modernização da eclusa de Barra Bonita
	Ibitinga / SP	Ibitinga / SP	Modernização da eclusa de Ibitinga
	Andradina / SP	Andradina / SP	Modernização da eclusa de Três Irmãos
EIXO DE CABOTAGEM (E9)	Rio Grande / RS	Porto Alegre / RS	Qualificação da hidrovia da Lagoa dos Patos
	Mateiros / TO	Formosa do Rio Preto / BA	Abertura de canal entre os rios Sono e Sapão
EIXO LESTE-OESTE (E7)	Guajará-Mirim / RO	Vila Bela da Santíssima Trindade / MT	Qualificação da hidrovia dos rios Mamoré-Guaporé
	Porto Velho / RO	Porto Velho / RO	Construção da eclusa de Jirau - Hidrovia do rio Madeira
	Porto Velho / RO	Porto Velho / RO	Construção da eclusa de Santo Antônio - Hidrovia do rio Madeira
EIXO NORDESTE-SUDESTE (E8)	Pirapora / MG	Juazeiro / BA	Qualificação da hidrovia do rio São Francisco
	Guadalupe / PI	Guadalupe / PI	Construção da eclusa de Boa Esperança
	Três Marias / MG	Três Marias / MG	Construção da eclusa de Três Marias
	Caracaraí / RR	Caracaraí / RR	Abertura de canal para a transposição das Cordeiras de Bem Querer (Caracaraí)
EIXO AMAZÔNICO (E4)	Rorainópolis / RR	Boa Vista / RR	Qualificação da hidrovia do rio Branco
	Tabatinga / AM	Santarém / PA	Qualificação da hidrovia dos rios Amazonas e Solimões
	Guajará / AM	Juruá / AM	Qualificação da hidrovia do rio Juruá
	Coxim / MS	Rio Verde / MS	Abertura de canal entre os rios
EIXO CENTRO-NORTE (E5)	Rio Miranda / MS	Rio Ivinhema / MS	Abertura de canal entre os rios Miranda e Ivinhema
	Itaituba / PA	Jacareacanga / PA	Abertura de canal para a expansão da hidrovia do rio Tapajós

O plano GAIA é ilustrado na Figura 4 e mostra a situação de cada hidrovía (pequenas bolas azuis) e critério (pequenas bolas verdes) uns sobre os outros. Este plano é o resultado da análise de componentes principais, projetando critérios 4-dimensional para um espaço bidimensional no plano, ou seja, as quatro variáveis originais são transformadas para as duas novas variáveis que são obtidas por combinações lineares das variáveis originais. Como é mostrado na Figura 4, o parâmetro delta é 92,7%, isso significa que apenas 7,3% do total das informações se perde com a projeção.

Também na Figura 4 mostra-se a direção do eixo de decisão  $\pi$  (em vermelho) que está apontado diretamente para a hidrovía ( $E_2$ ). *Clusters* de alternativas semelhantes podem ser facilmente detectados devido à análise do plano GAIA. As hidrovias ( $E_2$ ), ( $E_3$ ), ( $E_1$ ), ( $E_6$ ) e ( $E_9$ ), são alternativas que possuem bons valores nos critérios e estão posicionadas na mesma direção apontada pelo eixo de decisão. Opostas conclusões são obtidos para as hidrovias ( $E_7$ ), ( $E_8$ ), ( $E_4$ ) e ( $E_5$ ) que estão no mesmo *cluster*.



**Figura 4 - Alternativas e critérios no plano GAIA**

## 5. Conclusão

Este trabalho fornece um modelo de tomada de decisão para ordenar projetos de hidrovias prioritários nos eixos estruturantes, às informações necessárias para a aplicação do método de tomada de decisão Promethée II foram coletadas e analisadas no Plano CNT de Transporte e Logística de 2011.

Conclui-se que a metodologia Promethée II é uma ferramenta que pode ser utilizada nas tomadas de decisão referentes a Planejamento de Transporte, pois é uma metodologia bem adaptada a problemas com grandes números de alternativas que devem ser ordenadas, considerando critérios conflitantes.

O resultado da aplicação deste modelo é largamente dependente do tomador de decisão, pois o tomador de decisão é quem determina o tipo e a função de preferência para cada critério.

Desta forma o *ranking* superior das hidrovias pode variar de acordo com as estratégias aplicadas por diferentes indivíduos.

Na aplicação proposta identificaram-se os projetos hidroviários prioritários, com relação ao conjunto de intervenções, identificadas no PNLT de 2011. Verificou-se as prioridades de projetos hidroviários em ordem crescente de importância: a Hidrovia ( $E_2$ ), Hidrovia ( $E_3$ ), Hidrovia ( $E_1$ ), Hidrovia ( $E_6$ ), Hidrovia ( $E_9$ ), Hidrovia ( $E_7$ ), Hidrovia ( $E_8$ ), Hidrovia ( $E_4$ ) e Hidrovia ( $E_5$ ).

Com os resultados deste estudo é possível definir e analisar qual é a ordem de prioridade para os projetos hidroviários, além de oferecer também uma contribuição sobre a importância e/ou impacto dos critérios no desempenho geral das hidrovias, para que seja feita uma reflexão acerca do nível de desenvolvimento das hidrovias para outras regiões.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem ao NTC – Núcleo Inter institucional de Pesquisas e Estudos em Transporte, Logística e Construção Naval na Amazônia da UFAM, CNPq, Fapeam e aos especialistas em transporte da Antaq por colaborar com esta pesquisa.

#### REFERÊNCIAS

- Almeida, A.T.de; Costa, A.P.C.S. (2002). *Modelo de Decisão Multicritério para Priorização de Sistemas de Informação com base no Método Promethée. Gestão da Produção*, v.9, n.2, p.201-214.
- ANTAQ - Agência Nacional de Transportes Aquaviários (2007). *Anuário Estatístico* Portuário – 2007. Disponível em <[www.antaq.gov.br](http://www.antaq.gov.br)>. Acessado em Janeiro/2009.
- Babic, Z.; Plazibat, N. (1998). *Ranking of enterprises based on multicriterial analysis. International Journal of Production Economics*, v. 56-57, n. 20, p.29-35.
- Bartolomeu, T. A.; Ferreira, M. E. M. (2010). *Tomada de Decisão Através de Múltiplo Atributo Difuso: Uma Revisão e uma Nova Técnica de Elucidação das Preferências*. In: [http://www.eps.ufsc.br/~martins/fuzzy/fuz\\_ap/fudm2/fudm2.htm](http://www.eps.ufsc.br/~martins/fuzzy/fuz_ap/fudm2/fudm2.htm). Acesso: 25 de Maio de 2011
- Brans, J.P.; Mareschal, B. (2000) *Multiple Criteria Decision Analysis – State of the Art Surveys. Springer's International Series. PROMETHEE METHODS* Chapter 5.
- Brans, J. P.; Vincke, P. H. (1985) *A preference ranking organization method, the PROMETHEE method for MCDM*. *Mgmt. Sci.*, v. 31, p. 647-656.
- Brans, J. P.; Vincke, P. H.; Mareschal, B. (1986) *How to select and how to rank project: The PROMETHEE method*. *European J. Oper. Res.*, v. 24, p. 228-238.
- Brans, J. P.; Macharis, C.; Kunsch, P. L.; Chevalier, A.; Schwaninger, M. (1998) *Combining multicriteria decision aid and system dynamics for the control of socio-economic processes*. An iterative realtime procedure. *European Journal of Operational Research*, v. 109, Issue 2, p. 428-441.
- Brasil. (2010) Ministério dos Transportes: Diretrizes da Política Nacional de Transporte Hidroviário / Ministério dos Transportes. Brasília.
- Carvalho, F.S. (2008). *Análise Multicritério de Projetos de Transporte Hidroviário Interior*. Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Oceânica, COPPE/UFRJ.
- CNT – Confederação Nacional do Transporte. Plano CNT de Transporte e Logística (2011). Disponível em <<http://www.cnt.org.br/>>. Acessado em Fevereiro/2011.
- Lidouh. K., De Smet Y., Zimányi E. (2008). Map: A tool for visual ranking analysis in spatial multicriteria problems. Department of Computer and Decision Engineering (CoDE), TR/SMG/2008-00. Université Libre de Bruxelles, Brussels, Belgium.
- Raju, K. S.; Kumar, D. N. (1999). Multicriterion decision making in irrigation planning. *Agricultural Systems*, v. 62, Issue 2, p. 117-129.
- Roy, B. ; BOUYSSOU, D. (1993) Aide multicritère à la décision: Méthodes et cas, Economica, Paris, coll. Gestion.
- Vincke, P. (1992) *Multicriteria decision-aid*. Londres. John Wiley & Sons.