

# **ESCOLHA MODAL PARA TRANSPORTE DE ETANOL COM A UTILIZAÇÃO DE ANÁLISE RELACIONAL GREY E PROCESSO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA**

**Ilton Curty Leal Junior**

**Márcio de Almeida D'Agosto**

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Programa de Engenharia de Transportes

## **RESUMO**

Este trabalho apresenta a utilização do Processo de Análise Hierárquica (AHP) combinado com a Análise Relacional Grey (GRA) para estabelecer uma ordem de prioridade entre os modos de transporte considerados para transportar um determinado produto perigoso. Com este procedimento utilizou-se as vantagens inerentes as técnicas racionais e não-rationais de auxílio multi-critério à decisão. Foi realizada uma pesquisa de campo com especialistas para que, baseados em suas experiências e conhecimentos, indicassem um conjunto de atributos relevantes para o processo de tomada de decisão e os respectivos pesos. Considerando-se os níveis de importância de cada atributo levantado, o presente trabalho demonstra a eficácia de se utilizar a combinação das técnicas abordando um problema relacionado ao transporte de produtos perigosos.

## **ABSTRACT**

This work presents the Analytic Hierarchy Process (AHP) combined with Grey Relational Analysis (GRA) to establish a priority order among modes of transport considered to carry a hazardous materials. With this procedure we used the advantages of the non-rational and rational techniques of the multi-criteria decision support. We performed a field research with experts that, based on their experiences and knowledge, suggesting a set of attributes relevant to the decision-making process and their weights. Considering the level of importance of each attribute raised, this paper demonstrates the effectiveness of using a combination of techniques addressing a problem related to the transport of hazardous materials.

## **1. INTRODUÇÃO**

As organizações precisam conciliar os aspectos econômico-financeiros com os socioambientais para que, ao mesmo tempo, possam ser competitivas sem comprometer o meio ambiente. No caso do transporte isso é fundamental devido a sua importância nos processos produtivos e de transações comerciais.

Avaliar atributos somente ligados a aspectos econômico-financeiros não é suficiente para as organizações modernas, principalmente no caso do transporte de produtos perigosos que possui particularidades que o torna diferente dos demais principalmente quando se inclui atributos socioambientais.

Para conciliar esses aspectos, as organizações precisam desenvolver instrumentos de controle e avaliação de seus resultados para a tomada de decisão e desenvolvimento de ações que aprimorem a eficiência de seus processos. Uma importante decisão é a escolha dos modos de transporte, que leva em consideração vários atributos. Para produtos perigosos devem ser consideradas ainda às características intrínsecas destes produtos que influenciam nos aspectos citados.

A tomada de decisão se torna complexa, pois devem ser tratadas questões racionais e não racionais, ou seja, por um lado existem os dados objetivos referentes às medições de cada atributo da operação e por outro as avaliações subjetivas que indicam o grau de importância dos mesmos nos processos.

Diante do exposto, as seguintes perguntas deverão ser respondidas por este trabalho: quais atributos são importantes para serem considerados na escolha do modo de transporte para

produtos perigosos? Como combinar uma técnica não racional com uma racional para auxiliar na hierarquização dos modos e indicar o melhor com base nos atributos escolhidos?

O presente trabalho tem por objetivo aplicar duas técnicas de auxílio multi-critério à decisão de forma combinada e verificar a validade deste procedimento para a tomada de decisão com relação à escolha do modo de transporte de carga. A partir de uma pesquisa bibliográfica preliminar foi elaborada uma pesquisa de campo, que aplicou questionários a especialistas na área de transporte com a finalidade de identificar e escolher atributos que fossem relevantes ao processo de tomada de decisão.

Foi possível identificar qual a influência dos atributos no processo de escolha modal para produtos perigosos. As técnicas aplicadas se mostraram eficazes, o que permitiu hierarquizar os modos de transporte segundo aspectos econômico-financeiros e socioambientais.

## **2. BASE TEÓRICA**

Para melhor entendimento deste trabalho esta seção apresenta os principais conceitos e a base teórica para desenvolvimento da aplicação proposta.

### **2.1. Produtos perigosos e os atributos para a escolha modal**

As características dos produtos perigosos os tornam diferente de outros tipos de carga no que se refere à escolha modal. Produto perigoso é toda e qualquer substância que, dadas às suas características físicas e químicas, possa oferecer riscos a segurança pública, saúde de pessoas e meio ambiente, de acordo com os critérios de classificação da ONU, publicados através da Portaria nº. 204/97 do Ministério dos Transportes. Este risco aumenta quando este tipo de produto, dadas as suas características, é combinado com a atividade de transporte.

Os produtos perigosos são transportados pelos modos existentes: rodoviário, dutoviário, ferroviário, aquaviário, aéreo e pela combinação entre eles. Cada um apresenta vantagens e desvantagens relacionadas aos atributos que os comparam e os classificam entre si.

A diversidade de atributos dificulta a avaliação e conseqüentemente a escolha dos modos de transporte. Isso adquire uma complexidade maior quando se transporta um produto com características especiais que afetam ao meio ambiente. Para se escolher o modo mais adequado sob o enfoque ambiental é necessário entender como cada um deles pode ser avaliado.

A literatura especializada (Ballou, 2001; Fleury, 2003; Bowersox e Closs, 2001; Novaes, 2004; Chopra e Meindl, 2003; OCDE, 2000; Apud Mattos, 2001; FHWA US DOT, 2005; MCT, 1999; Apud Mattos, 2001; Banister e Button, 1993; Apud Silva, 2001; MCT, 2003; 2003; WBCSD, 2000) apresenta atributos que são utilizados na avaliação e escolha dos modos de transporte.

Os atributos pesquisados foram: (1) econômico-financeiros: confiabilidade, custo, segurança, perdas e danos, velocidade, disponibilidade do transporte, flexibilidade, capacidade do transporte, frequência e (2) socioambientais: consumo de energia, emissão de gases de efeito estufa, emissão de resíduos sólidos e líquidos, emissão de substâncias que agredem a camada de ozônio, possibilidade de reciclagem de componentes após término da sua vida útil,

extinção de recursos naturais, poluição sonora, consumo de água, poluição térmica, consumo de material.

## **2.2. Técnicas de auxílio multi-critério à decisão**

Os problemas complexos da tomada de decisão são comuns em várias áreas sendo muitas vezes resolvidos com base em abstrações, heurísticas e raciocínios dedutivos (Gomes, 2004). Além disso, medir todos os atributos pesquisados pode demandar muito tempo e comprometer a tomada de decisão por parte dos gestores. Soma-se a isto a falta de informações que muitas vezes inviabiliza esta atividade.

Como alternativa a quantificação direta da importância dos atributos são utilizadas técnicas não racionais, como a que foi aplicada neste trabalho. Essas técnicas se embasam em experiência de especialistas, para de forma empírica e por meio de suas opiniões, quantifiquem os resultados. Por outro lado, tomadas de decisão que levem em conta apenas a opinião de especialistas podem conter uma carga muito forte de subjetividade e o resultado da avaliação não ser representativo ou considerado válido. Para contornar esta situação, as técnicas racionais buscam atuar baseadas em dados quantitativos diretos resultantes da operação analisada.

Uma análise comparativa das técnicas não racionais e racionais leva à conclusão que ambas apresentam vantagens e desvantagens, que se combinadas podem trazer um resultado mais consistente para a tomada de decisão. Várias técnicas de auxílio multi-critério foram pesquisadas como: GRA (Deng, 1989; Liu e Lin, 2006); DEA (Charnes et al., 1978); Lógica Fuzzy (Zadeh, 1987); AHP (Saaty, 1980); PROMÉTHÉE (Brans et al 1984); ELECTRE (Roy, 1978); TODIM (Gomes e Lima, 1992).

Apesar das inúmeras técnicas existentes, este trabalho aborda a AHP como técnica não racional por ser uma das mais utilizadas (Gomes e Lima, 2004), inclusive em trabalhos acadêmicos na área de transporte (Romero, 2006; Souza, 2004; Lima et al., 2007; Granemann e Gartner, 1998; Lima Júnior e Paiva, 1999; Galvão et al., 2003; Pacheco et al., 2008) e a GRA como racional, por ser simples e de fácil aplicação para o problema estudado (Leal Jr e D'Agosto, 2009). Essas técnicas estão detalhadas a seguir.

### **2.2.1. Analytic Hierarchy Process**

Segundo Gomes (2004) a AHP - *Analytic Hierarchy Process* (Processo de Análise Hierárquica), desenvolvida por Saaty (1980) é uma das técnicas de auxílio multi-critério à decisão, onde o problema de decisão é dividido em níveis hierárquicos, facilitando, assim, sua compreensão e avaliação.

Um grupo de decisores formados por especialistas devem fazer uma comparação, par a par, de cada elemento, criando-se uma matriz de decisão quadrada. A comparação das alternativas é realizada com o auxílio de uma escala verbal associada a uma escala numérica que varia de 1 a 9 sendo: 1 para igualmente preferível, 3 para moderadamente preferível, 5 para fortemente preferível, 7 para muito fortemente preferível e 9 para extremamente preferível. Os valores 2, 4, 6 e 8 são considerados como importantes intermediários (Saaty, 1980).

Uma medida de inconsistência é obtida por meio do cálculo do autovetor. Dessa forma, sendo  $a_{ij}$  o valor obtido da comparação par a par do elemento  $i$  com o elemento  $j$ , a matriz formada

por esses valores é a matriz A, onde  $A = (a_{ij})$ . A matriz A é recíproca tal que  $a_{ji} = 1/a_{ij}$ , na qual, se os juízos fossem perfeitos, em todas as comparações seria possível verificar que  $a_{ij} \times a_{jk} = a_{ik}$  para qualquer i, j, k. Caso os juízos emitidos pelos decisores sejam perfeitamente consistentes, têm-se  $\lambda_{\max}$  (autovetor) = n e  $a_{ij} = w_i/w_j$ . Contudo, pode-se verificar uma inconsistência nos juízos, que pode ser medida pela proximidade de  $\lambda_{\max}$  com n (quanto mais próximo, maior a consistência). Portanto,  $\lambda_{\max} - n$  é um indicador da consistência (Gomes, 2004). Para obter o autovetor aplica-se a equação 1.

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n w_i \frac{Aw_i}{w_i} \quad (1)$$

Onde  $Aw = \lambda_{\max} \times w$  e n corresponde ao número de alternativas ou elementos comparados.

Segundo Saaty (1980), existem pequenas variações em  $a_{ij}$  que implicam pequenas variações em  $\lambda_{\max}$ , em que o desvio do autovetor em relação a n é considerado uma consistência. Por isso, é possível afirmar, através do Índice de Consistência (IC), que  $\lambda_{\max}$  permite avaliar a proximidade da escala desenvolvida por Saaty com a escala de razões ou quocientes que seria usada se a matriz A fosse totalmente consistente.

$$IC = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \quad (2)$$

A AHP admite que a inconsistência pode ser inerente ao comportamento humano. Com isso, Saaty (1980) propõe o cálculo da Razão de Consistência (RC), obtida pela equação 3 e indica que esta razão é considerada aceitável quando é menor ou igual a 0,10.

$$RC = IC / IR \quad (3)$$

Onde, IC corresponde ao Índice de Consistência e IR é um índice aleatório, calculado para matrizes quadradas de ordem n.

Utilizando a matriz de decisão A, o Método AHP calcula resultados parciais do conjunto A, dentro de cada critério  $v_i (A_j)$ , denominado valor de impacto da alternativa j em relação à alternativa i, em que esses resultados representam valores numéricos das atribuições verbais dadas pelo decisor a cada comparação de alternativas. Tais resultados são normalizados pela equação 4.

$$\sum_{i=1}^n v_i (A_j) = 1 \quad j=1, \dots, n \quad (4)$$

$$\text{Sendo, } v_i (A_j) = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}$$

Isso faz com que o vetor de prioridades da alternativa i em relação ao critério  $C_k$  seja:

$$v_i (A_j) = \sum_{j=1}^n v_i (A_j) / n \quad i=1, \dots, n \quad (5)$$

Depois de obter o vetor de prioridades das alternativas sob cada critério  $C_k$ , continua-se com o nível de critérios. Nesse caso, adota-se novamente a escala de Saaty para a classificação par a par dos critérios, que são normalizados pela equação 6 onde m corresponde ao número de critérios de um mesmo nível e o vetor prioridade é obtido pela equação 7.

$$w_i (C_j) = \frac{c_{ij}}{\sum_{i=1}^m c_{ij}} \quad j=1, \dots, m \quad (6)$$

$$w(C_i) = \sum_{j=1}^m w_i \frac{c_j}{m} \quad i=1, \dots, m \quad (7)$$

Para obter uma ordenação global, utiliza-se a equação 8 para gerar os valores finais das alternativas e assim hierarquizá-las.

$$f(A_i) = \sum_{j=1}^m w_j(C_j) \times v_j(A_j) \quad j=1, \dots, n \quad (8)$$

Onde n corresponde ao número de alternativas.

### 2.2.2. Grey Relational Analysis

Segundo Deng (1989) e Liu e Lin (2006) a GRA - Grey Relational Analysis (Análise Relacional Grey) integra a teoria de sistemas *grey* e é utilizada para determinar o grau de relacionamento entre uma observação referencial com observações levantadas, objetivando estabelecer um grau de proximidade com o estado meta.

Seja um conjunto de observações  $\{x_0^{(o)}, x_1^{(o)}, \dots, x_m^{(o)}\}$ , onde  $x_0^{(o)}$  (série padrão) é uma observação referencial e  $x_1^{(o)}, x_2^{(o)}, \dots, x_m^{(o)}$  são observações originais a serem comparadas (neste trabalho serão considerados os diferentes  $m$  modos de transporte e suas combinações possíveis). Cada observação  $x_i$  possui  $n$  medidas que são descritas sob a forma de séries  $x_i^{(o)} = \{x_i^{(o)}(k), \dots, x_m^{(o)}(n)\}$ , onde cada componente desta série, antes de qualquer operação, é normalizado da forma a seguir.

Se quanto maior melhor (equação 9):

$$x'_i(k) = \frac{x_i^{(o)}(k) - \min_{all i}(x_i^{(o)}(k))}{\max_{all i}(x_i^{(o)}(k)) - \min_{all i}(x_i^{(o)}(k))} \quad \text{para } i: 0..m, k: 1..n \quad (9)$$

Se quanto menor melhor (equação 10):

$$x'_i(k) = \frac{\max_{all i}(x_i^{(o)}(k)) - x_i^{(o)}(k)}{\max_{all i}(x_i^{(o)}(k)) - \min_{all i}(x_i^{(o)}(k))} \quad \text{para } i: 0..m, k: 1..n \quad (10)$$

Onde:  $x'_i(k)$  é o valor normalizado de uma medida  $k$  para uma observação original  $x_i^{(o)}$ .

A série cujos atributos normalizados são os melhores possíveis e representa o estado desejado para qualquer série, é representada por  $x_0$ , sendo os valores da mesma igualados a 1. Após a normalização dos dados, calculam-se os coeficientes relacionais *grey*  $\gamma$  (equação 11):

$$\gamma(x'_0(k), x'_i(k)) = \frac{\min_{\forall i} \min_{\forall k} |x_0(k) - x_i(k)| + \zeta \max_{\forall i} \max_{\forall k} |x_0(k) - x_i(k)|}{x_0(k) - x_i(k) + \zeta \max_{\forall i} \max_{\forall k} |x_0(k) - x_i(k)|} \quad (11)$$

Onde  $\zeta \in [0,1]$  assume, em geral, o valor 0,5 sendo útil somente para diferenciar os elementos da série e não influenciando na ordenação final das séries (Deng, 1989).

Os coeficientes relacionais expressam a similaridade entre as respectivas medidas associadas à série padrão e às séries comparativas e refletem o quanto cada uma está distante de sua respectiva na série padrão.

Depois de estabelecidos os coeficientes relacionais *grey*, é necessário que se estabeleçam os graus de relacionamento *grey* para cada série (Deng, 1989). As medidas podem ser combinadas utilizando-se critérios de pesos entre os aspectos considerados. O presente método propõe um procedimento matemático para o cálculo e ponderação de cada alternativa avaliada e assim realizar a classificação da mesma ( $\Gamma'_i$ ), conforme equação (12), que é o

somatório das médias ponderadas dos atributos de cada aspecto que é também multiplicado pelo seu respectivo peso.

$$\Gamma'_i = \sum_{t=1}^a F_t \sum_{k=1}^n \gamma(x'_0(k), x'_i(k)) f_z \quad \text{para } j:1\dots m, z:1\dots y \quad (12)$$

Onde  $t$  são os  $a$  aspectos avaliados,  $n$  são as  $k$  medidas utilizadas,  $F_t$  é o peso de cada aspecto (grupo de atributos) considerado e  $f_z$  é o peso de cada atributo.

Para a utilização da equação 12 e conseqüente classificação de cada alternativa são feitas as seguintes considerações: o somatório dos pesos dos aspectos ( $F_t$ ) bem como o dos pesos de cada atributo ( $f_z$ ) deve ser igual a 1. Após a utilização da equação 12 todas as alternativas são apresentadas em uma lista de forma hierarquizada.

### 3. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho foi utilizada pesquisa bibliográfica para melhor entendimento dos conceitos relacionados ao tema. Esta pesquisa permitiu o levantamento dos atributos e respectivas medidas citadas pelos autores da área de transporte. Uma pesquisa de campo foi aplicada para identificação dos atributos mais relevantes na escolha modal para produtos perigosos.

Para a pesquisa de campo foram abordados especialistas que atuam em empresas transportadoras e produtoras de produtos perigosos. Utilizou-se amostragem não probabilística para estabelecimento do número de respondentes.

A coleta de dados com os participantes da amostra foi feita por meio de um questionário composto de questões para identificação e caracterização do perfil dos respondentes. Outras questões listavam os atributos econômico-financeiros e socioambientais para que os respondentes os classificassem segundo sua ordem de importância. O questionário permitiu identificar os atributos mais importantes por meio de uma lista que apresentava, de forma hierarquizada, a pontuação obtida para cada um. Como são muitos os atributos e buscando maior objetividade e síntese, os que obtiveram as três maiores pontuações em cada aspecto foram considerados para a aplicação. Após esta escolha os atributos foram comparados para gerar as matrizes conforme propõe a AHP.

Com o intuito de padronizar a linguagem para as duas análises utilizadas, foram consideradas a igualdade entre as seguintes nomenclaturas: aspectos e atributos, utilizados na GRA, equivalem respectivamente aos critérios e sub-critérios da AHP. Com a utilização da AHP, foi possível hierarquizar os atributos e atribuir-lhes peso. Para complementar a hierarquização dos modos utilizou-se a GRA para o tratamento das medidas objetivas diretas. Assim, não foram utilizados todos os passos da AHP pois o intuito foi aproveitar sua vantagem para tratamento de questões subjetivas (não racionais) e complementá-la com um tratamento objetivo (racional) por meio da GRA, dando origem a um modelo híbrido. Quanto à utilização das duas técnicas em conjunto, não foram encontradas referências, principalmente na área de transportes.

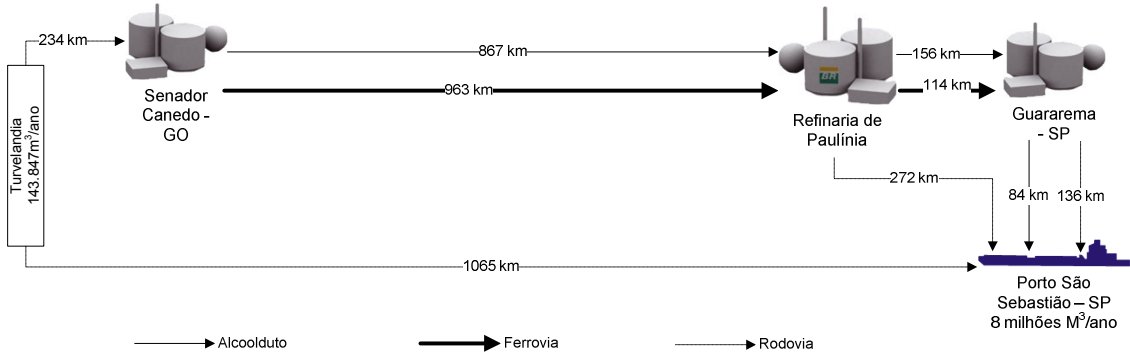
Assim, as opiniões de especialistas quanto à importância dos atributos foram quantificadas pela AHP utilizando-se as equações 1, 2, 3, 6 e 7. A partir deste ponto os resultados das medições de cada atributo bem como os próprios pesos obtidos pela AHP foram tratados

segundo a modelagem da GRA, utilizando-se as equações 10, 11 e 12 e obtendo-se a hierarquização dos modos de transporte.

4. DESENVOLVIMENTO

Esta seção apresenta a aplicação das técnicas por meio de um exemplo prático. Para isso propõem-se a escolha entre modos de transportes com base na rede de transporte de etanol da região centro-sul do Brasil para a exportação.

Foi identificada a rede disponível para transporte do etanol (Figura 1) com base nas informações da TRANSPETRO (2008) que relaciona os terminais existentes e o projeto do alcoolduto que liga Senador Canedo em Goiás ao Porto de São Sebastião em São Paulo. Foram consideradas as redes ferroviária e rodoviária atuais com base nos dados da ANTT (2008). Para exportação considera-se apenas o porto de São Sebastião em São Paulo. Foi considerado como ponto de origem a cidade de Turvelândia, situada no estado de Goiás e que está entre as 10 maiores produtoras de etanol do Brasil (Rodrigues; 2007). Sua escolha se deve à posição geográfica que permite a utilização das várias alternativas modais disponíveis.



Fonte: TRANSPETRO (2008); ANTT (2008).

Figura 1: Rede para escoamento de etanol do centro-sul do Brasil para exportação.

Os modos de transporte considerados são rodoviário, ferroviário, dutoviário, e as combinações entre eles. Segundo Rodrigues (2007), o modo rodoviário é o mais utilizado para o transporte de etanol respondendo por 96% da movimentação. Foi estabelecido que todo o etanol produzido é coletado via modo rodoviário até a chegada em um terminal da rede apresentada, por ser a prática adotada pela maioria dos produtores. As alternativas modais consideradas estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Alternativas modais de transporte para exportação do etanol de Turvelândia – GO ao Porto de São Sebastião – SP

Alternativa	Descrição
A1	Rodoviário para Senador Canedo e dutoviário até S. Sebastião
A2	Rodoviário até S. Sebastião
A3	Rodoviário para Senador Canedo, ferroviário até Guararema e rodoviário até S. Sebastião
A4	Rodoviário para Senador Canedo, ferroviário até Guararema e dutoviário até S. Sebastião
A5	Rodoviário para Senador Canedo, ferroviário até Paulínia e dutoviário até S. Sebastião
A6	Rodoviário para Senador Canedo, ferroviário até Paulínia e rodoviário até S. Sebastião

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de Rodrigues (2007), CETESB (2008); TRANSPETRO (2008), ANTT (2008)

Os questionários foram respondidos por 57 especialistas e o resultado da escolha dos atributos está apresentado na tabela 2.

**Tabela 2:** Atributos (subcritérios) escolhidos para transporte de produtos perigosos

Econômico-financeiros	Socioambientais
Confiabilidade	Consumo de energia
Custo	Emissão de GEE
Segurança	Emissão de resíduos

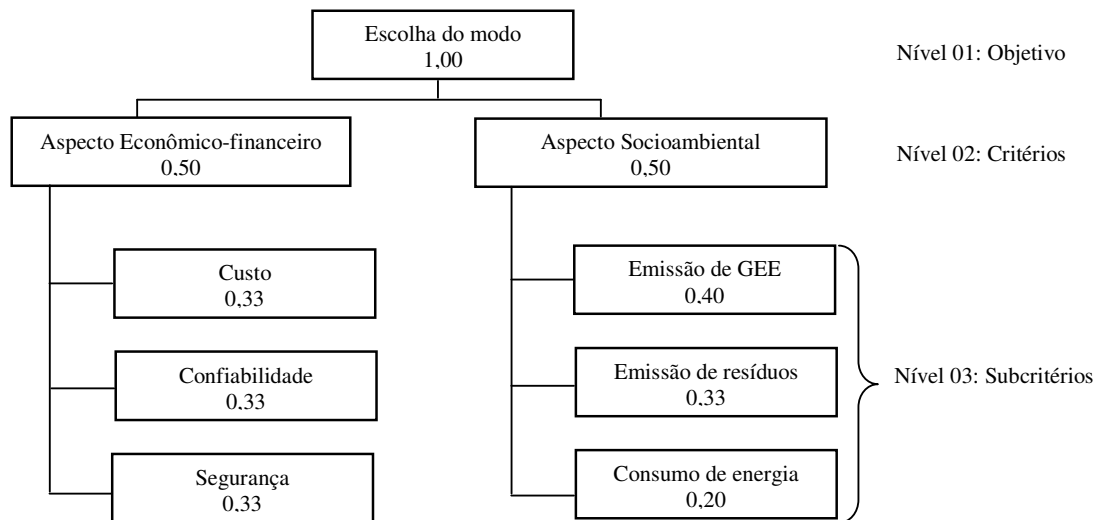
Fonte: Elaborado pelo autor

Com os atributos considerados mais importantes para o transporte de produtos perigosos na opinião dos especialistas, foi construída a hierarquia para a escolha do modo de transporte mais adequado, conforme mostra a Figura 2. Esta hierarquia representa uma situação na qual se deseja escolher o melhor modo para ser utilizado no transporte de produtos perigosos.

Após a construção da hierarquia, foi feita a análise AHP como mostra a modelagem apresentada neste artigo. Foi realizado o preenchimento das matrizes, comparando par a par os critérios de um determinado nível em relação ao critério do nível imediatamente superior.

Para os critérios (aspectos), os especialistas respondentes dos questionários tiveram que escolher um peso, o que resultou em 50% para os econômico-financeiros e 50% para os socioambientais, ou seja, um não é preferível ao outro.

Após esta etapa segue-se para a comparação dos sub-critérios (atributos), iniciando com os econômico-financeiros. As matrizes com os resultados desta comparação foram feitas com base nas opiniões dos especialistas que fazem parte da amostra. O mesmo procedimento foi feito para os atributos socioambientais e em ambos os casos utilizadas as equações 6 e 7. A Figura 2 apresenta os pesos obtidos. Os RCs foram calculados para cada matriz gerada utilizando-se as equações 1, 2 e 3 e os resultados foram considerados satisfatórios estando todos a baixo de 0,10.



Fonte: Elaborado pelo autor

**Figura 2:** Hierarquia de Escolha do Cenário



Após esses procedimentos o próximo passo seria a comparação dos modos de transporte segundo cada sub-critério, montando-se matrizes de comparação conforme etapa anterior e utilizadas as equações 4 e 5, mas a partir desta etapa será inserida a GRA para, com base nos pesos mostrados na Figura 2, analisar as medidas de cada atributo e assim obter a hierarquização das alternativas. A equação 8 também não foi utilizada em função da utilização da GRA.

Com base na pesquisa bibliográfica (Rodrigues, 2007; CETESB, 2008; Gama, 2008; TRANSPETRO, 2008), foram obtidos dados das medidas para cada atributo em cada alternativa (Tabela 3).

**Tabela 3:** Atributos e medidas de desempenho dos modos de transporte

Alternativa	Atributos					
	Econômico-financeiros			Socioambientais		
	Custo	Confiabilidade	Segurança	Consumo de Energia	Emissão de GEE	Emissão de resíduos líquidos
	Despesa total de operação/ Distância percorrida	Tempo máximo de entrega/ Tempo médio de entrega	Número acidentes com a carga transportada/ Período de tempo	Consumo total de óleo diesel/ Distância percorrida	Emissão de gás carbônico/ Distância percorrida	Quantidade descartada de óleo de motor/ Distância percorrida
	[R\$/m <sup>3</sup> .km]	[Adimensional]	[Acidentes/ano]	[l/1000 t.km]	[kg /1000 t.km]	[l/ t.km]
A1	0,112	1,19	9,87	8,12	22,29	1,4 x 10 <sup>-6</sup>
A2	0,141	2,00	45,60	43,40	119,17	7,7 x 10 <sup>-6</sup>
A3	0,137	2,74	15,83	20,48	56,22	4,0 x 10 <sup>-6</sup>
A4	0,133	2,71	12,07	17,01	46,70	3,4 x 10 <sup>-6</sup>
A5	0,130	2,50	11,45	15,51	42,59	3,1 x 10 <sup>-6</sup>
A6	0,143	2,66	19,38	23,21	63,73	4,4 x 10 <sup>-6</sup>

Fonte: Rodrigues, 2007; CETESB, 2008; Gama, 2008; TRANSPETRO, 2008.

Para a normalização da tabela 3 utilizou-se a equação 10, pois todas as medidas adotadas prevêem que quanto menores forem os resultados melhor, conforme tabela 4. A série padrão será representada por  $x^*_0$ , sendo os valores da mesma igualados a 1.

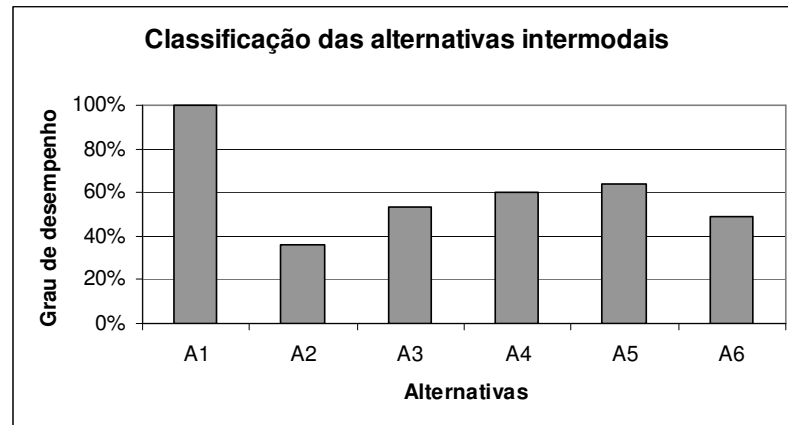
**Tabela 4:** Séries normalizadas conforme equação 2.

Alternativa $x^*_i$	Atributos					
	Econômico-financeiros			Socioambientais		
	Custo	Confiabilidade	Segurança	Consumo de Energia	Emissão de GEE	Emissão de resíduos
	$X^*_i(1)$	$x^*_i(2)$	$X^*_i(3)$	$X^*_i(4)$	$X^*_i(5)$	$x^*_i(6)$
	[R\$/m <sup>3</sup> .km]	[Adimensional]	[Acidentes/ano]	[l/1000 t.km]	[kg /1000 t.km]	[l/ t.km]
A1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
A2	0,07	0,48	0,00	0,00	0,00	0,00
A3	0,19	0,00	0,83	0,65	0,65	0,59
A4	0,34	0,02	0,94	0,75	0,75	0,69
A5	0,44	0,15	0,96	0,79	0,79	0,74
A6	0,00	0,06	0,73	0,57	0,57	0,52
( $x^*_0$ )	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Fonte: Elaboração própria.

Para se estabelecer uma hierarquia entre as séries calculam-se os coeficientes relacionais, por meio da equação 11 admitindo  $\zeta = 0,5$  e o grau de relacionamento *grey* (equação 12). Aqui, os pesos dos aspectos (critérios) e atributos (sub-critérios) foram obtidos com a AHP.

Assim, pode-se alcançar o resultado que aponta a alternativa A1 como sendo a melhor para o transporte de etanol, com 100% de desempenho quando comparada com as demais, conforme mostra a Figura 3. A alternativa A1 é ainda plenamente dominante sobre as demais, pois a segunda melhor colocada (A5) apresenta resultado 36% inferior a A1.



Fonte: Elaborado pelo autor

**Figura 3:** Hierarquia de Modos para Transporte de etanol

Analisando os resultados obtidos observa-se que a alternativa mais utilizada atualmente (A2 – transporte rodoviário de Turvelândia até São Sebastião) é a pior, obtendo um desempenho de 36%. Além disso, se fosse considerada apenas a análise tradicional baseada em custo esta alternativa seria a menos indicada.

As alternativas que utilizam o modo rodoviário (A3 e A6) ligando o último terminal ao porto apresentam um resultado pior que seus pares (A4 e A5) que fazem esta última ligação por duto, demonstrando a eficiência deste modo. O modo dutoviário se destaca, sendo claramente superior nos dois aspectos.

Analisando a média aritmética simples dos resultados, que é igual a 60%, observa-se que as alternativas A3, A4, A5 e A6 estão bem próximas desta medida de tendência central. No entanto, A1 e A2 são os extremos positivo e negativo, respectivamente.

A técnica AHP se mostrou adequada ao processo de decisão da escolha do melhor modo de transporte de produtos perigosos, quando completada pela GRA para uma análise racional. Como os pesos dados aos atributos normalmente são subjetivos, a AHP serviu para dar mais robustez ao processo de escolha modal.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES

O trabalho apresentado permite visualizar como as técnicas racionais e não racionais podem ser complementares e trazer vantagens para os tomadores de decisão.

O método aplicado permitiu visualizar como aspectos socioambientais podem influenciar nas decisões de escolha dos modos de transporte, atendendo assim às expectativas das organizações que se interessam em considerar essas questões em seus processos de transporte.

Um ponto que influencia na decisão da escolha modal são os pesos atribuídos aos atributos. A AHP se mostrou adequada ao processo de escolha do melhor modo. A técnica é capaz de medir objetivos múltiplos conflitantes inerentes à tomada de decisão além de permitir que todos os envolvidos no processo decisório entendam o problema na mesma forma. A utilização da GRA demonstrou-se eficiente para priorizar as alternativas de modos de transportes e para complementar a técnica não racional utilizada.

Essa combinação de técnicas se mostrou adaptável para ser utilizada em outros problemas que envolvam tomadas de decisão em transportes, pois reúne avaliações subjetivas, baseadas em experiências com dados objetivos e mensuráveis.

Verificou-se a necessidade de que haja consenso na priorização dos níveis da hierarquia. Deve-se frisar que tal ferramenta não aponta a opção que os participantes do estudo deverão adotar, ela auxilia na tomada de decisão e cabe ao grupo de decisores avaliar os resultados, que ela aponta como sendo o melhor, e identificar quais seus pontos mais fortes, que levaram a tal escolha. Uma vez confirmada a superioridade de uma alternativa, deverão ser realizados estudos que abordem viabilidades financeiras e o retorno que a adoção dessa opção estaria trazendo para a organização.

Como limitação cita-se que os resultados aqui apresentados refletem apenas o caso pesquisado. Um trabalho mais abrangente com um grupo de pesquisados maior pode refletir melhor a realidade e servir para outras situações e cargas diferentes. Também não foram consideradas todas as alternativas possíveis de transporte, como o hidroviário.

Recomenda-se que a avaliação baseada nos atributos propostos seja aplicada a outros tipos de produtos perigosos, com outras redes de transporte, atributos, indicadores e medidas. Esta prática poderá trazer um maior aprofundamento e entendimento ao assunto em questão. Outra proposta seria a utilização de uma rede mais abrangente para o caso do etanol, com alternativas de escoamento para a exportação. A terceira proposta seria a utilização de outras técnicas de auxílio multi-critério de forma combinada de modo que se aproveitem as vantagens inerentes a cada uma.

Por fim, a utilização desse modelo híbrido poderia ser comparada com os resultados individuais da AHP e GRA e com outras técnicas de auxílio multi-critério à decisão.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ABIQUIM (2006). A Indústria Química Brasileira em 2005. A Associação Brasileira da Indústria Química. Brasil. Internet: <http://www.abiquim.org.br/conteudo.asp?princ=ain&pag=estat>
- ANTT (2008). Agência Nacional De Transportes Terrestres, Disponível: <http://www.antt.gov.br> , acessado em: 30/05/08
- BALLOU, R. H (2001). Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos – Bookman, Porto Alegre
- BOWERSOX, D; CLOSS, D (2001). Logística Empresarial. Atlas, São Paulo
- BRANS, J. P., MARESCAL, B. e VINCKE, Ph. (1984). PROMOTHEE: a new family of outranking methods in multicriteria analysis, BRANS, J. P., Operational Research '84, Amsterdam: Elsevier, pp. 408-421.
- CHARNES, A., COOPER, W. W. e RHOODES, E. (1978). Measuring efficiency of decision making units. European Journal of Operations Research, 2(6), PP.429-444.

- CHOPRA, S; MEINDL, P (2003). Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Estratégia, Planejamento e Operação. Prentice Hall, São Paulo.
- DENG, J. (1989), "Introduction to grey system theory", Journal of Grey Systems, 1, 1-24.
- FHWA US DOT (2005). Effects of Freight Movement on Air Quality at the National and Regional Level Home Federal Highway Administration - US DOT. USA, Internet: <http://www.fhwa.dot.gov/environment/freightaq/index.htm#toc>
- FLEURY, P, F (2003). Gestão Estratégica de transporte. In: FIGUEIREDO, Kleber Fossati et al. Logística e Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos. São Paulo: Atlas, Pág:248-256
- GALVAO, F. A.; CUNHA, C. B.; GUALDA, N. D. F. (2003). An Application of the Analytic Hierachy Process (AHP) for Locating a Distribution Center In The 7th International Symposium on The Analytic Hierarchy Process - ISAHP The 7th International Symposium on The Analytic Hierarchy Process - ISAHP Nusa Dua, Bali, Indonesia 2003.
- GOMES, L.F.A.M & LIMA, M.M.P.P. (1992). From Modelling Individual Preferences to Multicriteria Ranking of Discrete Alternatives: A Look at Prospect Theory and the Additive Difference Model. Foundations of Computing and Decision Sciences, Vol. 17, No. 3, p. 171-184.
- GOMES, L,F,A,M, (2004). Tomada de decisões em cenários complexos: introdução aos métodos discretos do apoio multicritério à decisão – São Paulo: Pioneira Thomson Learning.
- GRANEMANN, S. R. ; GARTNER, I. R. (1998). Seleção de financiamento para aquisição de aeronaves: uma aplicação do método de análise hierárquica (AHP). Transportes ANPET (Rio de Janeiro), Rio de Janeiro, v. 1, n. n°1, p. 18-40.
- LEAL JUNIOR, I.C., D'AGOSTO, M. A. (2009). Escolha modal para transporte de produtos perigosos com base em aspectos ambientais: caso dos modos terrestres para o etanol no Brasil In: VII Rio de Transportes. Rio de Janeiro.
- LIMA, J. P.; RAMOS, R. A. R.; FERNANDES JUNIOR, J. L. (2007). Metodologia de análise multicritério na manutenção e reabilitação de pavimentos : estudo de caso em São Carlos-SP. Anais do Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, Rio de Janeiro, Brasil.
- LIU, S e LIN, Yi (2006), "Grey information: theory and practical applications", Springer, London.
- MATTOS, L, B (2001). A Importância do Setor de Transportes na Emissão de Gases do Efeito Estufa-O Caso do Município do RJ. COPPE/UFRJ, Tese Mestrado, Planejamento Energético, Rio de Janeiro.
- MCT (2003). Ministério De Ciência E Tecnologia, Estimativa das Emissões de Gases de Efeito Estufa Derivadas da Queima de Combustíveis no Brasil.
- NOVAES, A, G, (2004). Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição. Campus, Rio de Janeiro.
- PACHECO, E. A., DROHOMERETSKI, E., CARDOSO, P. A. (2008) A decisão do modal de transporte através da metodologia AHP na aplicação da logística enxuta: um estudo de caso. IV Congresso Nacional de Excelência em Gestão Responsabilidade Socioambiental das Organizações Brasileiras. Niterói, RJ, Brasil, 31 de julho, 01 e 02 de agosto de 2008
- ROMERO, B. de C. (2006). Análise da localização de plataformas logísticas: aplicação ao caso do ETSP - Entrepósito Terminal São Paulo - da CEAGESP. Dissertação de mestrado, USP, São Paulo
- ROY, B. (1978). ELECTRE III: un algorithme de classements fondé sur une représentation floue des préférences em présence de critères multiples. Cah. Centre Etudes Rech. Opér., v. 20, pp. 3-24.
- SAATY, T. L. (1980). The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation, ISBN 0-07-054371-2, McGraw-Hill.
- SILVA, R, A.,M (2001). Transporte urbano de passageiros e qualidade do ar: O caso da implementação de um novo sistema hidrovial na região metropolitana do Rio de Janeiro.
- WBCSD (2000). Measuring Eco-Efficiency. A Guide to Reporting Company Performance, Word Business Council for Sustainable Development, Geneva, Switzerland.
- ZADEH L. A. (1987), *Fuzzy sets and applications: Selected papers*. New York: Wiley.

---

Ilton Curty Leal Junior (iltoncurty@vm.uff.br); Márcio de Almeida D'Agosto (dagosto@pet.coppe.ufrj.br)  
 Programa de Engenharia de Transportes, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro  
 Centro de Tecnologia Bloco H - Sala 106 Cidade Universitária - RJ – Brasil - CEP 21949-900