

# MELHORIA DA ECOEFICIÊNCIA NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE PRODUTOS PERIGOSOS

**Ilton Curty Leal Junior**

**Marcio de Almeida D'Agosto**

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Programa de Engenharia de Transportes

## RESUMO

O modo rodoviário é o mais utilizado para a movimentação de etanol no Brasil e seu desempenho, se comparado aos demais modos, é inferior em termos de ecoeficiência para o produto em questão. Diante disto, este trabalho propõe a avaliação da implantação de ações que melhorem os resultados econômicos e ambientais do transporte rodoviário. Inicialmente comparou-se o desempenho entre as várias alternativas modais com base no cenário atual. Após isso, foi realizada uma nova avaliação considerando ações para a melhoria de ecoeficiência como utilização de biodiesel, redução do número de acidentes e melhorias nos valores de frete. Os resultados mostram que o modo rodoviário, se comparado com outras nove alternativas intermodais, pode sair do último lugar em desempenho para o quarto lugar.

## ABSTRACT

The road transport is the most widely used for the movement of ethanol in Brazil and its performance compared to other modes, is lower in terms of eco-efficiency for this product. Based in this problem, this paper proposes the evaluation of the implementation of actions to improve the economic and environmental outcomes of road transport. We initially compared the performance considering ten alternatives, including the road transport, based on current scenario. After that, a new evaluation was performed considering actions to improve eco-efficiency and use of biodiesel, reducing the number of accidents and improvements in freight values. The results show that the road transport, if compared with nine other intermodal alternatives, can improve its performance, leaving the last position to the fourth position in the eco-efficiency ranking..

## 1. INTRODUÇÃO

O transporte de carga no Brasil concentra-se no modo rodoviário que pode não ser o mais adequado do ponto de vista econômico e ambiental, se comparado com os demais. O transporte de produtos perigosos acompanha a distorção na matriz contribuindo para redução de competitividade do setor e para maiores impactos no meio ambiente.

O Método de Escolha Modal – MEM, proposto por Leal Jr e D'Agosto (2011), aborda diferentes conceitos considerados pela literatura relativos à avaliação de desempenho em transportes para auxiliar a tomada de decisão quanto à escolha do modo de transporte. O MEM permite o emprego de uma estrutura que utilize as medidas de ecoeficiência que apresentam um diferencial para as empresas que valorizam as questões ambientais (Leal Jr e D'Agosto, 2011).

Para produtos como o etanol produzido na região centro-sul do Brasil predomina o transporte rodoviário e uma análise efetuada por meio do MEM mostra o baixo desempenho em termos de ecoeficiência deste modo. Por outro lado, as alternativas modais apresentadas pelo autor, como de melhor ecoeficiência não possuem infra-estrutura suficiente para atender a demanda por transporte de etanol, forçando aos embarcadores a utilização de veículos rodoviários para distribuir seus produtos.

Neste contexto, o presente trabalho baseia-se na seguinte pergunta para seu desenvolvimento: Dada a grande utilização do modo rodoviário no transporte de etanol e as limitações para utilização de alternativas modais, é possível a melhoria da ecoeficiência daquele modo por meio de ações factíveis de implementação?

Para responder a esta questão, este trabalho tem por objetivo aplicar o Método de Escolha Modal (MEM), considerando medidas de ecoeficiência considerando o caso do transporte de etanol produzido na região centro-sul do Brasil com destino a um porto para exportação. Com base no desempenho atual do modo rodoviário, ações que influenciam na ecoeficiência são utilizadas para verificar a melhoria frente às demais alternativas modais.

Para a análise dos dados foi utilizada uma técnica de apoio multicritério à decisão, sendo possível ranquear o desempenho das alternativas analisadas. Os resultados mostram que ao incluir ações ecoeficientes na análise o desempenho das alternativas o transporte rodoviário, com o pior desempenho no cenário atual, apresenta melhorias em relação aos demais.

## **2. TRANSPORTE DE PRODUTOS PERIGOSOS NO BRASIL E ESCOLHA MODAL**

Conforme CETESB (2009), os produtos perigosos são transportados em todos os modos disponíveis (ferroviário, rodoviário, aquaviário, dutoviário e aéreo) e o mais adequado varia com as atividades da rede logística, devendo ser determinado por atributos específicos para a avaliação de desempenho do transporte e pela disponibilidade de cada modo e da infraestrutura necessária.

No Brasil e no mundo, o transporte de produtos perigosos está concentrado nos líquidos inflamáveis, principalmente no petróleo, seus derivados e combustíveis líquidos de fontes renováveis (Leal Jr, 2010). Outro fator é que o modo rodoviário é responsável por grande parte da movimentação de carga, seja pela falta de infra-estrutura ou pelas próprias características da atividade de transporte que envolvem a distribuição física em áreas urbanas e a necessidade de integração com outros modos.

No Brasil, a movimentação de produtos perigosos concentra-se na Região Sudeste, no que diz respeito à produção e ao consumo (CETESB, 2009). Já que a única estatística nacional disponível refere-se ao Estado de São Paulo, maior produtor e consumidor da região citada, admite-se que esses dados sejam representativos para o restante do país.

A quantidade de leis, normas e parâmetros técnicos nacionais e internacionais para o transporte de produtos perigosos o tornam mais complexo, do ponto de vista operacional e gerencial, o que pode intervir em questões econômicas e financeiras para os produtores e transportadores. No caso de produtos perigosos, além dos impactos ambientais tradicionais ocasionados pelos transportes (consumo de energia não-renovável, emissão de gases de efeito estufa, poluição atmosférica, descarte de lubrificantes etc) existem os acidentes que interferem em questões ambientais, uma vez que um produto derramado pode poluir solo, água e ar e causar danos as pessoas e propriedades.

Atualmente as organizações buscam excelência em suas atividades, objetivando a conquista de novos mercados e a qualidade em seus produtos e serviços. Nesses termos, é destacável a contribuição da avaliação de desempenho para as organizações. Os sistemas de avaliação de desempenho, nas organizações, pretendem estabelecer maneiras de acompanhar os processos ou as atividades para verificar se os mesmos estão atendendo às necessidades e expectativas dos interessados e para fornecer informações adequadas, a fim de que sejam tomadas decisões relativas a ações de prevenção e manutenção ou correção de tais processos ou atividades, de forma que se atinjam objetivos organizacionais.

Antoniolli (2003) cita que a necessidade do gerenciamento de um desempenho cada vez mais

efetivo tem impulsionado as empresas a desenvolverem formas de monitorar e avaliar o desempenho. De acordo com Quintão et al. (2003), a avaliação de desempenho é considerada complexa e quando mal conduzida não apresenta resultado concreto quando o objeto de análise é o desempenho de uma atividade ou um processo específico como o transporte.

Com o intuito de melhor atender à demanda, as organizações avaliam novas formas de transportar, o que pode envolver a escolha de diferentes modos de transporte ou suas combinações, na forma de transporte intermodal ou multimodal. Essa escolha pode interferir fortemente na forma como a organização atuará no mercado, devendo estar alinhada com uma visão estratégica e de longo prazo. O desenvolvimento de ferramentas que auxiliem nessa escolha é fundamental para a estratégia organizacional, sendo que a avaliação de desempenho do serviço de transporte pode ser empregada para isso (Ballou, 2001; Novaes, 2004; Manheim, 1980; Morlok, 1980; D'Agosto, 1999).

### **3. PROCEDIMENTOS EMPREGADOS**

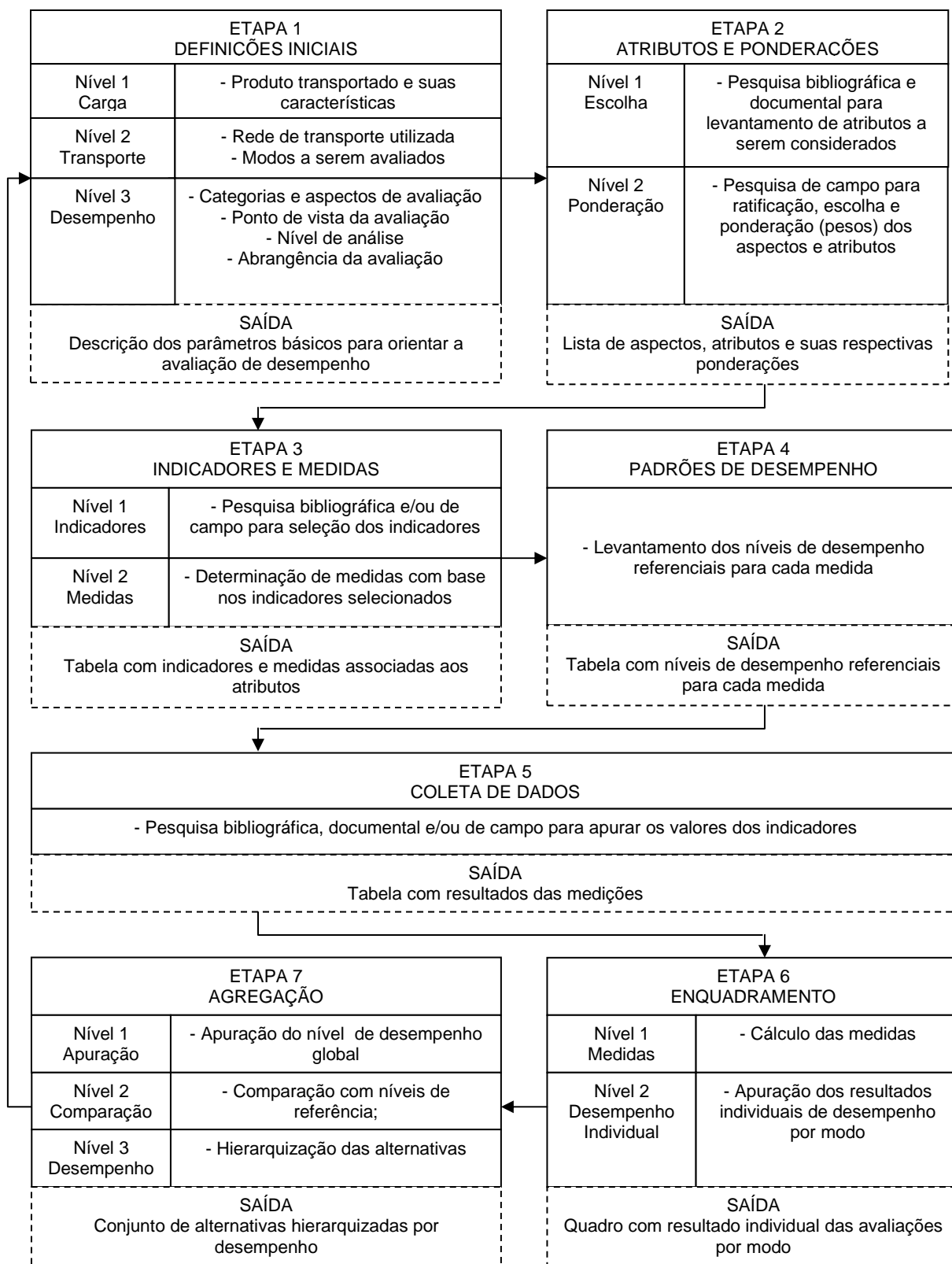
Para o estudo proposto neste artigo são aplicadas duas ferramentas cominadas. O Método de Escolha Modal, que se baseia em medidas de ecoeficiência, e uma técnica de auxílio multicritério conhecida como Análise Relacional Grey.

#### **3.1. Método de Escolha Modal e as medidas de ecoeficiência**

O Método de Escolha Modal – MEM (Leal Jr e D'Agosto, 2011) detalha o processo de tomada de decisão em transportes e sua concepção se aplica à escolha modal de transporte de uma forma geral. Este método é essencialmente dinâmico e seus resultados podem ser revistos ao longo do tempo, pois o resultado final pode ser utilizado para alimentar um novo ciclo de avaliação. O MEM é composto de 7 etapas conforme figura 1 e todos os detalhes do método podem ser acessados em Leal Jr e D'Agosto (2011).

Neste trabalho o MEM utiliza como base o conceito de ecoeficiência para o estabelecimento de medidas. Essa abordagem enfoca a utilização adequada de recursos materiais e energéticos, com o sentido de se reduzir custos e/ou de se maximizar lucros. A ecoeficiência pode ser entendida como a habilidade de simultaneamente atingir os objetivos de produção e custo com qualidade e desempenho, reduzir impactos ambientais e conservar recursos naturais. A ecoeficiência permite às empresas tornarem-se mais responsáveis do ponto de vista ambiental e mais lucrativas no âmbito econômico, incentivando-as à inovação e à competitividade (WBCSD, 2000).

A necessidade de se mensurar e quantificar a ecoeficiência resulta na necessidade de se utilizar medidas de ecoeficiência. Os indicadores de ecoeficiência podem ser gerais e usados para todas as atividades de negócios, ou específicos para um determinado setor (WBCSD, 2000). No estabelecimento de indicadores têm-se aqueles relacionados a produtos e/ou serviços produzidos ou vendidos e os referentes às influências ambientais globais. Da mesma forma, ainda podem ser estabelecidos indicadores específicos, onde cada empresa avalia o seu próprio negócio e determina indicadores próprios a sua empresa. Estes são menos abrangentes na sua aplicabilidade, porém, não são necessariamente menos importantes que os de aplicação geral.



Fonte: Leal Jr e D'Agosto (2011)

**Figura 1:** Método de Escolha Modal com procedimento de avaliação de desempenho em transporte

O WBCSD (2000) apresenta uma metodologia para avaliação da ecoeficiência que pode ser usado por alguns negócios para medir a sustentabilidade econômica e ambiental. Para determinar a ecoeficiência em transportes, este trabalho propõe uma estrutura, baseada em WBCSD (2000).

A utilização dos indicadores de ecoeficiência gera medidas específicas baseadas na relação de valor do produto ou serviço com a influência ambiental e que são representadas pela equação 1, conforme WBCSD (2000).

$$Ecoeficiên\ cia = \frac{\text{Valor do produto ou serviço}}{\text{Influência s ambientais}} \quad (1)$$

Com base neste conceito podem ser propostas medidas de ecoeficiência para o transporte de carga, para serem utilizadas no processo de avaliação de desempenho e escolha modal. Sugere-se que o avaliador escolha apenas um indicador de valor do serviço como numerador, combinando-o com as influências ambientais mais representativas.

### 3.2. Análise Relacional Grey

A teoria de sistemas *grey* foi proposta por Julong Deng em 1982 com o intuito de evitar os problemas inerentes dos métodos estatísticos e requer uma quantidade limitada de dados para estimar o comportamento de um sistema incerto (Wen, 2004).

A teoria *grey* tem sido aplicada nos mais variados campos de pesquisa, como produção, sistemas sociais, ecologia, economia, geografia, tráfego, gerenciamento, educação etc. Foca em situações em que há a incerteza, variedade de dados de entrada, dados discretos e informações insuficientes para a tomada de decisão.

A teoria *grey* parte do princípio que existem informações a respeito de um sistema que são “claras” e podem ser medidas e encontradas facilmente e outras que são cinzentas ou não são bem definidas e são incompletas.

A análise relacional *grey* (GRA) integra a teoria de sistemas *grey* (Deng, 1989; Liu e Lin, 2006). É um método utilizado para determinar o grau de relacionamento entre uma observação referencial com observações levantadas, objetivando estabelecer um grau de proximidade com o estado meta, ou seja, o resultado desejado.

Segundo Bischoff (2008), a GRA utiliza a informação do sistema *grey* para comparar dinamicamente cada fator quantitativamente, baseado no nível de similaridade e de variabilidade entre todos os fatores para estabelecer a sua relação. É um método para analisar o grau de relacionamento para seqüências discretas.

Seja um conjunto de observações  $\{x_0^{(o)}, x_1^{(o)}, \dots, x_m^{(o)}\}$ , onde  $x_0^{(o)}$  é uma observação referencial e  $x_1^{(o)}, x_2^{(o)}, \dots, x_m^{(o)}$  são observações originais a serem comparadas. 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 dessa série, antes de qualquer operação, é normalizado da forma a seguir.

Se quanto maior melhor (equação 2).

$$x'_i(k) = \frac{x_i^{(o)}(k) - \min_{\forall i}(x_i^{(o)}(k))}{\max_{\forall i}(x_i^{(o)}(k)) - \min_{\forall i}(x_i^{(o)}(k))} \quad \text{para } i: 0..m, \quad k: 1..n \quad (2)$$

Se quanto menor melhor (equação 3).

$$x'_i(k) = \frac{\max_{\forall i}(x_i^{(o)}(k)) - x_i^{(o)}(k)}{\max_{\forall i}(x_i^{(o)}(k)) - \min_{\forall i}(x_i^{(o)}(k))} \quad \text{para } i: 0..m, \quad k: 1..n \quad (3)$$

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. Essa é uma abordagem que propõe um contorno para os muitos casos em que a medida de referência não é facilmente encontrada ou difícil de ser calculada.

Após a normalização dos dados de cada série, calculam-se os coeficientes relacionais *grey*  $\gamma$  (equação 4).

$$\gamma(x'_0(k), x'_i(k)) = \frac{\min_{\forall i} \min_{\forall k} |x_0(k) - x_i(k)| + \zeta \max_{\forall i} \max_{\forall k} |x_0(k) - x_i(k)|}{x_0(k) - x_i(k) + \zeta \max_{\forall i} \max_{\forall k} |x_0(k) - x_i(k)|} \quad (4)$$

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).

Segundo Wen (2004), dentro do intervalo de  $\zeta$ , pode-se atribuir qualquer valor entre 0 e 1, mas usualmente adota-se 0,5. É possível demonstrar que a mudança no valor de  $\zeta$  não altera o *ranking* dos graus de relacionamento *grey* (Zuo, 1995). Se o valor de  $\zeta$  for próximo de zero, haverá um maior distanciamento das alternativas em termos de desempenho, porém, a ordem de desempenho não mudará. Se o valor de  $\zeta$  se aproximar de 1, as distâncias entre as alternativas diminuirá, não alterando a ordenação das mesmas quanto ao desempenho.

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* ( $\Gamma_i$ ) para cada série (Deng, 1989), conforme equação 5, que é a média aritmética simples dos coeficientes relacionais *grey* para cada alternativa.

$$\Gamma_i = \sum_{k=1}^n \beta_k \gamma_i(x'_0(k), x'_i(k)) \quad (5)$$

Onde  $\beta_k$  é o peso de cada atributo e  $\sum_{j=1}^n \beta_k = 1$ .

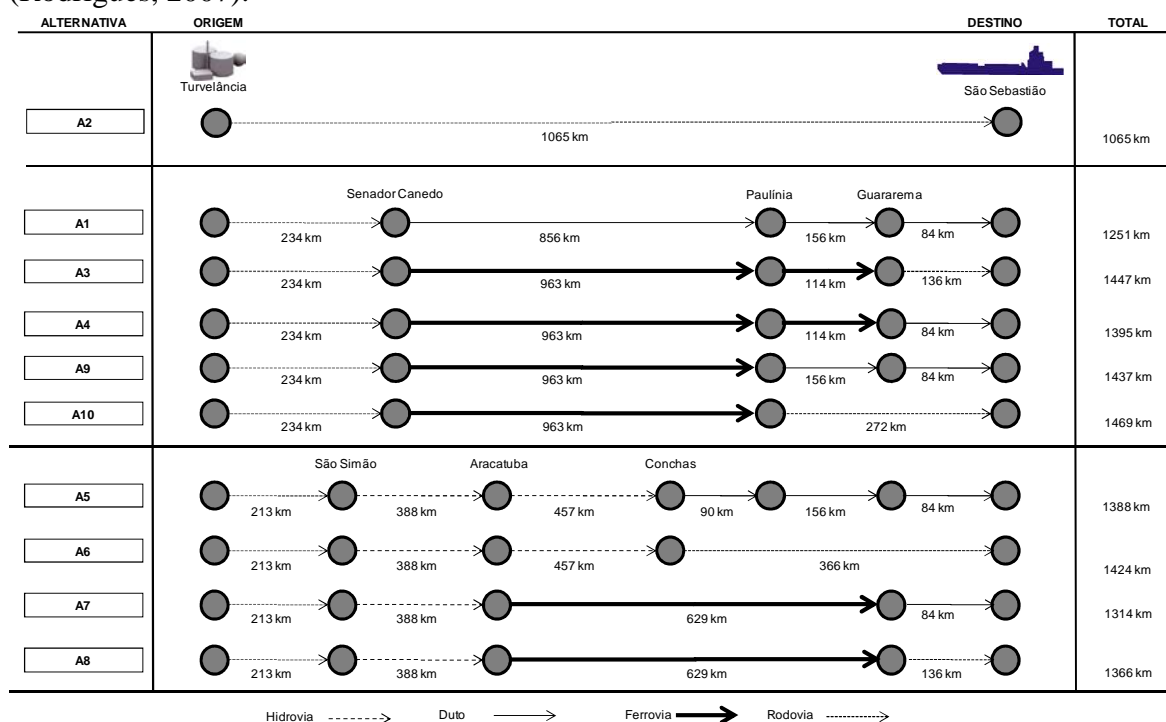
#### 4. DESENVOLVIMENTO

Para o desenvolvimento deste artigo foi realizado um estudo de caso que compara o desempenho dos modos de transporte no cenário atual e posteriormente o desempenho do modo rodoviário com a implementação de ações de melhoria de ecoeficiência.

#### 4.1. Estudo de caso

Propõe-se a escolha entre os vários modos de transportes e suas combinações utilizadas para o etanol produzido na região centro-sul do Brasil e que se destina à exportação.

A partir de TRANSPETRO (2008) identificou-se a rede para transporte do etanol e as alternativas modais (figura 2) onde se encontram os terminais existentes e projetados, a hidrovía Tietê-Paraná 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 em ANTT (2008). Para exportação considera-se o porto de São Sebastião, pois possui um terminal da TRANSPETRO e deverá ser o principal terminal exportador de etanol (Rodrigues, 2007).



Notas: Veículos rodoviários bitrem tanque com capacidade para 45m<sup>3</sup>. Composição ferroviária com 100 vagões-tanque com capacidade de 103m<sup>3</sup> cada. Comboio hidroviário com 4 chatas com capacidade de 1270m<sup>3</sup> cada. Alcoolduto com capacidade de 33.000m<sup>3</sup>/dia.

**Fonte:** Elaborado pelo autor a partir de Rodrigues (2007), Odebrecht (2007), CETESB (2009) Lopes e Ferreira (2004), TRANSPETRO (2008a), ANTT (2008)

**Figura 2:** Rede para escoamento de etanol do centro-sul do Brasil para exportação

Para aplicação o ponto de origem é a cidade de Turvelândia – GO, 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 para aplicar o MEM. 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. O modo rodoviário é o mais utilizado para o transporte de etanol respondendo por 96% da movimentação (Rodrigues, 2007).

Conforme prevê o MEM foram selecionados os aspectos, atributos e indicadores para o estabelecimento das medidas de acordo com Leal Jr e D'Agosto (2011) que foram calculadas conforme equação 1, sendo que como numerador foi utilizado o indicador receita de frete recebida pelos transportadores (em US\$) e no denominador os indicadores de influência

ambiental: (i) custo total de acidentes (em US\$), (ii) consumo total de energia, (iii) emissão de gases de efeito estufa, (iv) emissão de poluentes atmosféricos e (v) óleo lubrificante descartado.

Com base em Rodrigues (2007), Odebrecht (2007), CETESB (2008), Gama (2008), Lopes e Ferreira (2004) e TRANSPETRO (2008) foram obtidos dados para os indicadores e foram calculadas as medidas de ecoeficiência para cada alternativa, conforme tabela 1. Neste caso ainda não se consideram as ações de melhoria da ecoeficiência no transporte rodoviário.

**Tabela 1:** Medidas de ecoeficiência

Indicadores	M1	M2	M3	M4	M5
	RFR [US\$] CTA [US\$]	RFR [US\$] CTE [MJ]	RFR [US\$] CO2E [kg]	RFR [US\$] PAE [g]	RFR [US\$] QOMD [l]
Medidas	RFR/CTA [Adimensional]	RFR/CTE [US\$/MJ]	RFR/CO2E [US\$/kg]	RFR/PAE [US\$/g]	RFR/QOMD [US\$/l]
Alternativas	$x_i^{(0)} (1)$	$x_i^{(0)} (2)$	$x_i^{(0)} (3)$	$x_i^{(0)} (4)$	$x_i^{(0)} (5)$
A1	32,03	0,19	3,49	41,27	5404,63
A2	50,17	0,06	0,82	10,38	1272,26
A3	107,07	0,12	1,70	20,70	2401,47
A4	103,90	0,14	1,98	23,81	2733,34
A5	73,12	0,16	2,30	28,14	2214,44
A6	97,30	0,10	1,37	17,18	1633,57
A7	121,37	0,16	2,21	26,77	2630,57
A8	124,14	0,13	1,83	22,51	2307,42
A9	82,21	0,15	2,12	25,42	2941,54
A10	97,74	0,11	1,56	19,19	2251,63
$x_0^{(0)}(j)$	124,14	0,19	3,49	41,27	5404,63

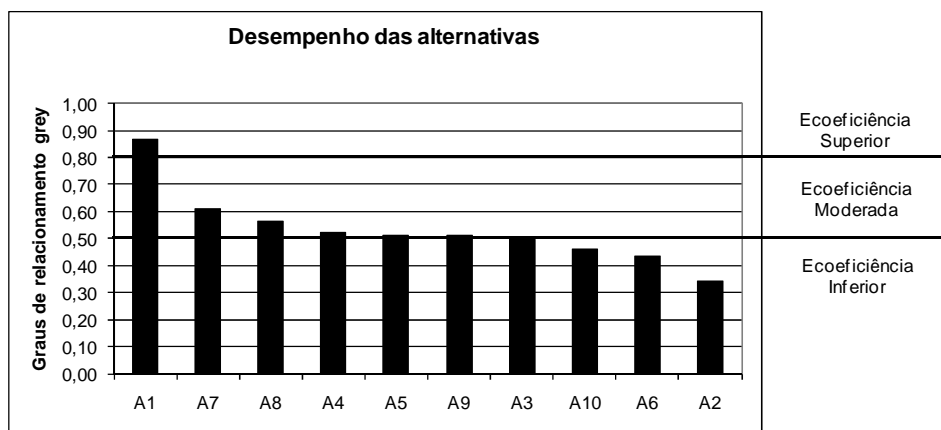
Indicadores de performance: RFR – Receita de Frete Recebida; CTA – Custo total de acidentes; CTE – Consumo total de energia; CO2E – Emissão de dióxido de carbono; PAE – Poluentes Atmosféricos Emitidos; QOMP – Quantidade de óleo de motor descartado.

#### 4.2. Desempenho dos modos de transportes

Para a normalização da tabela 1 utilizou-se a equação 2, pois todas as medidas adotadas prevêm que quanto maiores forem os resultados das medidas melhor será a ecoeficiência para o sistema. Considerou-se as séries normalizadas,  $x_i(k)$ , com  $i = 0, \dots, 10$  e  $k = 1, \dots, 5$ , como sendo representantes das alternativas  $i$  e de suas medidas de ecoeficiência  $k$ .

Para se estabelecer uma hierarquia entre as séries calcula-se os coeficientes relacionais, por meio da equação 4 admitindo  $\zeta = 0,5$  e o grau de relacionamento grey (equação 5). Para esta aplicação considerou-se pesos iguais para todas as medidas. A Figura 3 apresenta o resultado da aplicação da técnica, já considerando a hierarquia das alternativas.





**Figura 3:** Classificação das alternativas de transporte

Observando a figura 3 constata-se o pior desempenho em termos de ecoeficiência da alternativa que utiliza o transporte rodoviário (A2).

#### 4.3. Ações de melhoria da ecoeficiência no transporte rodoviário de cargas

No caso de melhoria no desempenho de A2, considerou-se inicialmente apenas a utilização de biodiesel (B100) proveniente de soja em uma frota dedicada ao transporte de etanol. A Tabela 2 mostra que, com a utilização desse combustível, é possível a redução da emissão de CO<sub>2</sub> e dos poluentes atmosféricos, com exceção do NO<sub>x</sub>, que apresenta um aumento de aproximadamente 10%.

**Tabela 2:** Alterações nas emissões de poluentes atmosféricos e CO<sub>2</sub> com a utilização de biodiesel proveniente de soja.

Fonte <sup>(1)</sup>	NO <sub>x</sub>	MP	SO <sub>x</sub>	CO	CO <sub>2</sub>
Oliveira e Costa (2001)	13,0%	-50,0%	-98,0%		-78,0%
Silva (2007)		-32,0%	-100,0%		-78,5%
USDA and USDOE (1998)	8,9%	-68,1%	-100,0%	-46,2%	-78,5%
Pacific Biodiesel (2000)	10,0%	-68,0%		-67,0%	
EPA (2002)	10,0%	-47,0%	-100,0%	-48,0%	
<b>Média</b>	<b>10,5%</b>	<b>-53,0%</b>	<b>-99,5%</b>	<b>-53,7%</b>	<b>-78,3%</b>

Nota: (1) todas as fontes tratam de B100 e biodiesel à base de soja.

Fonte: Elaboração Própria (2011)

Observa-se que todas as fontes consultadas tratam de B100 de rota metilica. Uma parte do CO<sub>2</sub> não é evitada (só reduz 78%), pois ele utiliza metanol produzido por craqueamento do carvão ou por síntese do gás natural.

A redução do enxofre aparece como 100% em três das quatro fontes utilizadas. Os 2% a menos de enxofre citados por Oliveira e Costa (2001) podem estar relacionados a resíduo de catalisador ou a metanol (ruim) de carvão, que contém muito enxofre.

Como o biodiesel é éster (oxigenado) e não hidrocarboneto (como é o diesel) há uma tendência da queima oxidar melhor o CO, gerando menos CO e mais CO<sub>2</sub>. Esse último é 78% de origem vegetal (óleo de soja), logo não contribui tanto quanto o óleo diesel para o efeito estufa (aquecimento global). Por oxidar melhor os resíduos da combustão e não conter enxofre há uma tendência de redução de MP.

Por ser de um único tipo de óleo (soja) e ser produzido na mesma rota (metflica), esse combustível tende a apresentar uma composição homogênea entre as experiências, o que possibilita a sua comparação.

Aplicando as alterações nos poluentes e nos gases em A2, observa-se uma melhoria de desempenho nessa alternativa. O grau de relacionamento *grey* passa de 0,34 para 0,48, saindo do último lugar em desempenho para a oitava posição no *ranking*.

Outras ações individuais, como redução nos acidentes, redução no consumo de energia e aumento de receita, foram utilizadas sendo a que mais se destacou individualmente foi a utilização do biodiesel.

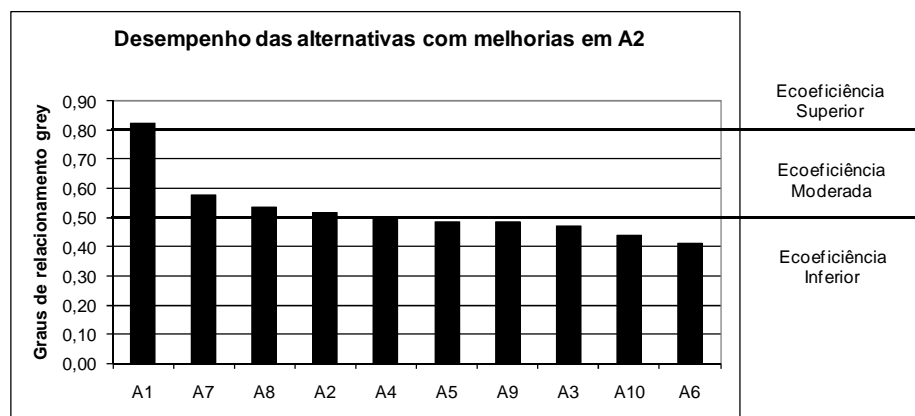
Considerando um transportador rodoviário que possa ter uma frota mais eficiente, foi avaliada a adoção dessas ações em conjunto, considerando as seguintes alterações: utilização de biodiesel (B100), aumento de 3% na receita (de forma que esta se iguale à alternativa de maior receita – A10) e redução no índice de acidentes, tomando-se como referência o Pacto Rodoviário Mineiro que prevê a redução de 40% nos índices de acidentes com veículos de carga no Estado de Minas Gerais (Pamcary, 2010). Com essas ações apenas em A2 tem-se novos valores das respectivas medidas conforme tabela 3.

**Tabela 3:** Medidas de ecoeficiência com a implementação de ações de ecoeficiência

Indicadores	M1	M2	M3	M4	M5
	RFR [US\$] CTA [US\$]	RFR [US\$] CTE [MJ]	RFR [US\$] CO2E [kg]	RFR [US\$] PAE [g]	RFR [US\$] QOMD [l]
Medidas	RFR/CTA [Adimensional]	RFR/CTE [US\$/MJ]	RFR/CO2E [US\$/kg]	RFR/PAE [US\$/g]	RFR/QOMD [US\$/l]
Alternativas	$x_i^{(0)}(1)$	$x_i^{(0)}(2)$	$x_i^{(0)}(3)$	$x_i^{(0)}(4)$	$x_i^{(0)}(5)$
A1	32,03	0,19	3,49	41,27	5404,63
A2	86,12	0,06	3,85	17,83	1310,42
A3	107,07	0,12	1,70	20,70	2401,47
A4	103,90	0,14	1,98	23,81	2733,34
A5	73,12	0,16	2,30	28,14	2214,44
A6	97,30	0,10	1,37	17,18	1633,57
A7	121,37	0,16	2,21	26,77	2630,57
A8	124,14	0,13	1,83	22,51	2307,42
A9	82,21	0,15	2,12	25,42	2941,54
A10	97,74	0,11	1,56	19,19	2251,63
$x_0^{(0)}(j)$	124,14	0,19	3,49	41,27	5404,63

Indicadores de performance: RFR – Receita de Frete Recebida; CTA – Custo total de acidentes; CTE – Consumo total de energia; CO2E – Emissão de dióxido de carbono; PAE – Poluentes Atmosféricos Emitidos; QOMP –Quantidade de óleo de motor descartado.

Os resultados da aplicação do MEM e GRA com os novos valores dos indicadores, proveniente da implementação de ações de melhoria da ecoeficiência estão na Figura 4.



**Figura 4:** Desempenho das alternativas com a adoção de ações para melhoria de A2

Analisando a Figura 4, é possível constatar uma melhoria no desempenho de A2, que saltou do último lugar na avaliação original para o quarto lugar, tendo o desempenho muito próximo de A7 e A8.

## 5. CONCLUSÃO

Os resultados mostram que mesmo a alternativa de pior desempenho pode ser melhorada se ações relacionadas à gestão (redução de acidentes e aumento de receita) ou melhoria de tecnologia (adoção do B100) forem implementadas. Observa-se que as ações propostas são factíveis de adoção, cabendo aos transportadores, governo e embarcadores realizarem parcerias para viabilização das mesmas. Cita-se, por exemplo, um grupo investidor que queira desenvolver uma transportadora com as características de melhorias simuladas para competir no mercado de transporte de etanol.

Seria possível testar também a inclusão de redução de consumo de óleo lubrificante com melhoria de manutenção e também redução no consumo de energia para aumentar o desempenho, o que não foi feito neste trabalho por falta de dados adequados.

A melhoria de desempenho do modo rodoviário poderia ser potencializada, considerando que essa alternativa é a que possui menor número de transbordo, o que corresponde a menor tempo de percurso e possibilita melhor atendimento ao cliente que valoriza esse atributo.

Existem algumas limitações no trabalho relacionadas aos dados utilizados, sendo a maioria levantada por meio de estimativas. Outra limitação refere-se a quantidade de biodiesel disponível no mercado que pode, atualmente, ainda não ser suficiente para utilização do B100.

Como proposição para novos estudos recomenda-se a implementação de ações como melhoria nos veículos para redução do consumo de energia. Poderiam ser utilizados outros indicadores e medidas incluindo outras influências ambientais não contempladas neste estudo. Por fim, a utilização da análise relacional grey com a utilização de pesos nas medidas poderia trazer outros resultados na avaliação, representando a realidade de um grupo decisor.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Antoniolli, P. D. (2003) *Medidas de Desempenho em Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos*. Anais do XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Ouro Preto, Minas Gerais: ABEPRO.
- 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* – Porto Alegre, Bookman.
- Bischoff, E. (2008) *Estudo da utilização de algoritmos genéticos para seleção de redes de acesso*. Dissertação de mestrado em engenharia elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica. Universidade de Brasília, Brasília, DF, 142p.
- CETESB (2009) *Estatísticas de Acidentes Ambientais*. Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental. Internet, Disponível em <http://www.cetesb.sp.gov.br/emergencia/estatisticas/estatisticas.pdf> acessado em 02/11/2009.
- D'Agosto, M. de A. (1999) *Avaliação do Desempenho Operacional de Sistemas de Transportes Urbanos em Vias Segregadas*. Dissertação de Mestrado, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Deng, J. (1989) *Introduction to grey system theory*. Journal of Grey Systems, 1, 1-24.
- EPA (2002) U.S. Environmental Protection Agency. *A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions*. EPA-Draft Technical Report, EPA420- P-02-001, October 2002.
- Gama, R B. (2008) *A decisão entre os modos rodoviário e ferroviário no transportados bens siderúrgicos visando a eco-eficiência*. UFF. Monografia, Escola de Ciências Humanas e Sociais. Volta Redonda, RJ.
- Leal JR, I. C. e D'Agosto, M. de A. (2011). *Modal choice for transportation of hazardous materials: the case of land modes of transport of bio-ethanol in Brazil*. Journal of Cleaner Production, 19 (2011) 229–240.
- Liu, S and Lin, Y. (2006). *Grey information: theory and practical applications*. Springer, London.
- Lopes, M. S. e Ferreira, J. C. F. (2004) *Viabilidade de operação do transporte de contêineres nas hidrovias Tietê-Paraná e Paraguai*. XVIII SOBENA, Rio de Janeiro – RJ
- Manhein, L. M. (1980). *Understanding Supply in Transportation Systems*. Transportation Research. 14A, Great Britain, pp. 119-135
- Morlok, E. K. (1980), *Types of Transportation Supply Functions and Their Applications*. Transportation Research. 14B, Great Britain, pp. 9-27
- Novaes, A. G. (2004) *Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição*. Campus, Rio de Janeiro.
- ODEBRECHT (2007) *A Logística do Etanol – Perspectivas dos Produtores*. Internet, disponível em <http://www.anebrasil.org.br/periodico/Logistica%20do%20Etanol.pdf>. Acesso em 05/06/08.
- Oliveira, L. B. e Costa, A. O. (2001) *Biodiesel: uma experiência de desenvolvimento sustentável*. IVIG/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2001. Disponível em: <<http://www.ivig.coppe.ufrj.br/doc/biodiesel.pdf>>. Acesso em: 30 mar. 2007.
- Quintão, R. T., Conceição, S. V. e Drumond, M. F. B. (2003). *Avaliação da Utilização de Indicadores Logísticos de Desempenho na Cadeia Brasileira de Suprimentos de Refrigerante*. Anais do XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Ouro Preto, Minas Gerais: ABEPRO.
- Rodrigues, S. B. M. (2007) *Avaliação das alternativas de transporte de etanol para exportação na região centro-sul*. USP, Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos – SP.
- Silva, W. S. D. (2007) *Uma avaliação de fatores para o desenvolvimento sustentável da produção de biodiesel, incluindo agricultura familiar em arranjos produtivos*. Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco. UPE – Recife – PE.
- TRANSPETRO (2008a) *Projeto Multimodal da hidrovía Tietê-Paraná*. VI. Simpósio Internacional e Mostra de Tecnologia da Agroindústria Sucroalcooleira. Piracicaba – SP.
- USDA and USDOE (1998) *Life Cycle Inventory of biodiesel and petroleum diesel for use in a urban bus*. Final Report, May, 1998. US Department of Energy and US Department of Agriculture.
- WBCSD (2000) *Measuring Eco-Efficiency. A Guide to Reporting Company Performance*. World Business Council for Sustainable Development, Geneva, Switzerland.
- Wen, K. (2004) *Grey Systems: Modeling and Prediction*. Printed in USA by Yang's Scientific Press. ISBN 0-9721212-7-7
- Zuo, F. (1995) *Determining Method for Grey Relational Distinguished Coefficient*. Institute of Grey System Liaocheng Teachers' College Liaocheng, Shandong 252059, China. A CM SIGICE Bulletin , Volume 20, Number 3, January.

---

Iilton Curty Leal Junior (iltoncurty@vm.uff.br); Marciód e 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