

O Método Ahp como Ferramenta para a Seleção de Ações Ecoeficientes para o Transporte Rodoviário de Etanol.

Miller José Vargas Gonzaga
millergonzaga@hotmail.com
PPGA-UFF

Cecilia Toledo Hernández
ctoledo@id.uff.br
PPGA-UFF

Resumo: O modo rodoviário é o principal meio de transporte utilizado atualmente para a movimentação de etanol no Brasil, mas não há evidências de que seja o mais adequado. Estudos apontam para o baixo desempenho em ecoeficiência de caminhões e para a não adequação desse modo quando utilizado para longas distâncias e grandes volumes. No entanto, ações ecoeficientes podem ser utilizadas a fim de melhorar o desempenho do transporte rodoviário. Nesse sentido, o objetivo deste artigo é apontar, criando uma hierarquia de importância, medidas que podem ser aplicadas por embarcadores para reduzir o consumo de energia, as emissões de CO₂ e o custo variável referente ao transporte rodoviário de etanol na região centro-sul do Brasil. Para isto, foi utilizado o método para tomada de decisão com múltiplos critérios AHP. Perante as alternativas de ações ecoeficientes apresentadas, as três que proporcionaram maiores índices pela combinação dos critérios foram o Projeto Economizar (22,37%), a realização de conserto e manutenção em veículos (15,27%) e a utilização de carros híbridos (14,62%).

Palavras Chave: AHP - ações ecoeficientes - transporte - rodoviário - etanol

1. INTRODUÇÃO

O etanol tornou-se um importante combustível no mercado interno brasileiro e ocupa um lugar de destaque como produto de exportação do país no mercado internacional. A região centro-sul é a principal produtora de etanol do país, devendo, portanto, ter um sistema logístico de transporte que possibilite a transferência do etanol dessa região para os grandes centros urbanos e para os principais portos do Brasil, que estão localizados na região sudeste.

O transporte de etanol no Brasil é tradicionalmente realizado por meio do modo rodoviário, seguindo uma tendência nacional que prioriza o uso do caminhão, em detrimento de outros meios de transporte, para a movimentação de cargas. Apesar de algumas vantagens que o modo rodoviário oferece, como flexibilidade, velocidade e disponibilidade, seu uso maciço ocasiona alto índice de impacto ambiental e, conjuntamente, aumento de gastos econômicos, tornando-o com baixo desempenho em ecoeficiência, quando comparado a outras formas de transporte, como os dutos. No entanto, a rede dutoviária que há atualmente no país é incipiente e não responde às necessidades dos produtores de etanol.

Leal Jr (2010) avaliou o desempenho de dez alternativas diferentes de transporte de carga por meio de seu Método de Escolha Modal (MEM) e verificou que o modo rodoviário alcançou inicialmente apenas a última posição no que se refere à ecoeficiência. Pootakham e Kumar (2010), ao avaliar os custos de transporte de biocombustíveis por dutos e por caminhão, ressaltou a importância dos dutos para a obtenção de economia de escala no transporte de grandes volumes de biocombustíveis a longas distâncias. Stroger, Horvath e Zilberman (2013) consideram que a construção de dutos pode melhorar o bem-estar social através de uma maior rentabilidade e menos emissões de gases de efeito estufa.

Constatado que o transporte de etanol por dutos possui uma ecoeficiência superior ao transporte de etanol por caminhões e que, atualmente, a infraestrutura de dutos existentes no Brasil não condiz com as demandas de transporte, o presente trabalho busca responder como é possível melhorar o desempenho do transporte rodoviário de etanol, aumentando sua ecoeficiência. Formulada essa questão, o trabalho tem como objetivo apontar medidas que podem ser adotadas pelos transportadores para reduzir o consumo de energia, reduzir as emissões de CO₂ e reduzir o custo variável referente ao transporte rodoviário de etanol na região centro-sul do Brasil, além disso, criar uma ordem de prioridade para a aplicação dessas medidas.

O método utilizado foi a ferramenta de tomada de decisão com múltiplos critérios AHP (*Analytic Hierarchy Process*). Dentre as alternativas de ações ecoeficientes apontadas no trabalho, essa técnica apontou a promoção do projeto Economizar, que incentiva a redução de poluição atmosférica, como ação mais importante de ser adotada, seguida da realização de manutenção nos veículos, que ficou em segundo lugar.

O trabalho está dividido em 5 partes. Na seção 2, são apresentados alguns conceitos relacionados a transporte e abordado como alguns deles se relacionam com o Brasil. Na seção 3, são mostrados os passos que foram seguidos na pesquisa e a ferramenta AHP. Na seção 4, são apontados os resultados das reduções alcançadas e da priorização das ações ecoeficientes. Na seção 5, são abordadas algumas considerações finais.

2. TRANSPORTE DE ETANOL NO BRASIL

Os usuários de transporte possuem um vasto número de serviços disponíveis para seu atendimento e de variabilidade elevada, podendo estar relacionados aos seguintes modais: hidroviário, rodoviários, ferroviário, aeroviário e dutoviário. Esses modais podem ser usados tanto de forma individualizada quanto por meio de combinação (BALLOU, 2006).

Nos dias atuais, a ausência de competição deu ao caminhão posição de destaque no transporte de mercadorias, nas mais variadas distâncias, inclusive nas longas, ocasionando uma distorção e a conseqüente diminuição da integração dos modos de transporte (MAIA, 2008). Estudos que comparam a dinâmica do transporte de cargas no Brasil e nos Estados Unidos evidenciam que neste, de modo geral, há uma distribuição racional da carga, com predomínio do caminhão para o transporte de cargas leves e médias em curtas e médias distâncias, ficando a ferrovia e o duto com o encargo de transportar cargas pesadas de longa distância. No entanto, o mesmo não ocorre no Brasil. As incipientes faixas ferroviárias e dutoviárias no Brasil – respectivamente, 29.798 km e 5.281km - comparadas à estadunidense – respectivamente, 228.464 km e 146.426 km – ajudam a explicar o detrimento desses dois modais em benefício das rodovias no país (ANDRIOLLI, 2009; MAIA, 2008; FIGUEIREDO, 2006). Pootakham e Kumar (2010) considera que o uso de dutos é adequado quando se tem distâncias acima de 100 km. Além disso, eles ressaltam que, ao ser utilizado o duto para o transporte em grandes quantidades, é possível a redução de custos com a economia de escala.

O sistema rodoviário é o principal meio de transporte de carga no Brasil (VALENTE et al., 2008). Seguindo a mesma direção, o transporte de etanol é exercido quase integralmente pelas rodovias, que ficam com a fatia de 96% das movimentações no país (Rodrigues, 2007). No entanto, em seu estudo utilizando o Método de Escolha Modal (MEM), Leal Jr (2010) constata que para a movimentação de produtos como o etanol produzido na região centro-sul do Brasil é baixo o desempenho do modal rodoviário em termos de ecoeficiência ao ser comparado a alternativas intermodais. Esse autor destaca ainda que as alternativas modais de melhor ecoeficiência, como os dutos, não dispõem de suficiente infraestrutura para responder à demanda por transporte de etanol, deixando aos embarcadores como única alternativa utilizar veículos rodoviários para esta atividade.

Além disso, como o critério básico utilizado por um embarcador na opção pelo modo de transporte é, além de desempenho, preço/custo (FIGUEIREDO et al. (2010), mesmo que a existência de um amplo sistema dutoviário fosse uma realidade na região centro-sul do Brasil, há incertezas sobre a escolha desse modo de transporte pelos produtores de etanol. Muitos usineiros, inseguros quanto às políticas adotadas pelo governo para o setor, temem uma possível falta de demanda pelo produto e, possivelmente, não se vinculariam a supostos contratos fechados que, diferentemente do ocorrido com a utilização do modo rodoviário, o uso de dutos lhes exigiria estabelecer. O estudo de prospecção de cenários para o comércio de etanol realizado por Silva et al. (2013) destacou que o crescimento do consumo de biocombustíveis não ocorrerá de forma natural, visto que esse não é um mercado que nasce e se desenvolve espontaneamente. Nos próximos anos, seu crescimento ocorrerá por meio de políticas públicas, como nos casos de misturas obrigatórias que o governo impõe. Tais políticas continuarão a responder as tendências e necessidades mais amplas da sociedade, principalmente quanto às preocupações com sustentabilidade e à busca por segurança energética.

Dessa forma, um esforço para promoção de melhorias no transporte rodoviário de etanol, que se mostra de grande valia para aumento de sua ecoeficiência, visto que essa atividade acarreta consideráveis interferências ao meio ambiente. Cabe ressaltar que esse esforço é motivado pelos resultados dos estudos de Oliveira, Leal Jr e Balestieri (2010) e Leal Jr e D'Agosto (2012), que apontaram para a possibilidade de aumento do desempenho do modo rodoviário, frente a outros modos, com a utilização de ações ecoeficientes.

Oliveira, Leal Jr e Balestieri (2010) citam alguns dos impactos ambientais que podem ser causados pelo transporte rodoviário: poluição atmosférica por meio da liberação de gases pela queima de combustíveis; poluição sonora; poluição térmica por meio da transferência de

calor ao ambiente pelos veículos em funcionamento; descarte de resíduos sólidos e líquidos como óleo, pneus, sucatas etc; extinção de recursos naturais como os derivados de petróleo; e consumo de energia.

Segundo Verfaillie e Bidwell (2000), ecoeficiência é um conceito-chave que pode ajudar empresas, indivíduos, governos ou outras organizações a se tornarem mais sustentáveis. Ela reúne dois ingredientes indispensáveis - progresso econômico e ecológico -, possibilitando que a prosperidade econômica aumente com o uso mais eficiente dos recursos e com menor emissão de substâncias que podem ter consequências ambientais adversas.

3. PROCEDIMENTO DE PESQUISA

O desenvolvimento desse trabalho foi feito por meio de uma pesquisa bibliográfica em livros, artigos científicos e sites especializados para uma melhor compreensão dos conceitos referentes ao tema abordado e identificação de práticas que promovessem as melhorias desejadas. Além disso, foi feita uma pesquisa documental, a fim de obter dados e informações relacionadas ao transporte rodoviário do caso estudado.

O universo pesquisado foi o transporte de etanol realizado no centro-sul do Brasil que tem como ponto de partida a cidade de Jataí-GO e chegada a cidade de Paulínia-SP. Durante muitas décadas o transporte de etanol nesse trecho foi feito basicamente pelo modo rodoviário. Em março de 2011, porém, com o intuito de melhorar a competitividade do etanol brasileiro, foi criada a empresa Logum Logística S.A. para coordenar a implantação de um abrangente e integrado Sistema Logístico multimodal de transporte e armazenagem de etanol na região. A nova empresa foi resultado da integração dos projetos de logística de etanol da Uniduto, CentroSul e PMCC (LOGUM, 2014). Apesar de as obras desse empreendimento terem iniciado em 2010, a previsão de disponibilidade do duto para a cidade de Jataí é apenas para 2017. Logo, por mais alguns anos o modo rodoviário ainda será a base do transporte de etanol na região, justificando sua melhoria de desempenho.

A partir dos dados esperados de movimentação de etanol após a conclusão do empreendimento acima, foram calculados os valores referentes ao transporte rodoviário de etanol da cidade de Jataí até a cidade de Paulínia, seguindo as etapas adotadas por Oliveira, Leal Jr e Balestieri (2010), apresentadas a seguir:

- **Primeira etapa:** Cálculo do consumo de energia

Realizou-se o cálculo do consumo de energia relacionado ao transporte de etanol. Previamente, foi necessário o cálculo da média de consumo de combustível no setor e da quilometragem total, que foi obtida através da multiplicação da distância (origem-destino) pelo número de viagens realizadas. Após esse levantamento prévio, o consumo total de óleo diesel foi calculado por meio da equação 1

$$\alpha = \frac{KmT}{Mct} \quad (1)$$

Onde:

- α : total de óleo diesel consumido no transporte rodoviário de etanol entre Jataí – Paulínia;
- Mct : consumo médio de combustível;
- KmT : distância total percorrida entre origem e destino.

- **Segunda Etapa:** Cálculo da emissão de CO₂

Nessa etapa, foi utilizado o modelo para cálculo das emissões por fontes móveis apresentado pelo GHG Protocol (MÓBILE GUIDE, 2005 apud OLIVEIRA, LEAL JR e BALESTIERI, 2010). A metodologia em questão traz o seguinte valor, que pode ser adotado como padrão:

- Fator de emissão do óleo diesel: 2,7458 kg CO₂/litro de diesel;

Com o uso desse fator, o cálculo das emissões de CO₂ pode ser realizado a partir da equação 2:

$$\beta = FCO_2 \times \frac{KmT}{Mct} \quad (2)$$

Onde:

- β : total das emissões de CO₂ no transporte de etanol rodoviário de etanol entre Jataí-Paulínia
- FCO₂: fator de emissão de óleo diesel;
- Mct : consumo médio de combustível;
- Kmt : quilometragem total do percurso.

Cabe ressaltar que, nesse estudo, foi considerado que a capacidade que atualmente transportada pelas usinas de etanol pelas rodovias no trecho Jataí-Paulínia é a mesma capacidade prevista como máxima para o duto que está sendo construído na região, aproximadamente, 20 milhões de m³. Foi considerado também que toda produção de etanol transportada da região por caminhão parte de Jataí e percorre os mesmos 1360 km que terão o duto.

- **Terceira Etapa:** Cálculo do custo variável

Para o cálculo estimado do custo variável referente ao transporte rodoviário de etanol por caminhões, partiu-se do modelo para avaliação de custo variável contido elaborado por Pootakham e Kumar (2010). Esses autores consideram o custo variável para o transporte de biocombustível por caminhão como sendo o combustível consumido pelo motor, encargos trabalhistas, encargos de manutenção, etc. Através desse modelo foi elaborada a equação (3):

$$CVt = CVu \times Cp \times Kmt \quad (3)$$

Onde:

- CVt : Custo variável total para o transporte de etanol produzida no trecho Jataí-Paulínia;
 - CVu : Custo variável por caminhão para o transporte de etanol;
 - Cp : Capacidade do caminhão;
 - Kmt : quilometragem total do percurso.
- **Quarta etapa:** Apresentação de ações ecoeficientes propostas por Oliveira, Leal Jr e Balestieri (2010) e Leal Jr e D'Agosto (2012), para o alcance de ganhos econômicos e redução de impactos ambientais na atividade de transporte de biocombustível.
 - **Quinta etapa:** Cálculo das reduções alcançadas ao fazer-se uso das ações ecoeficientes.
 - **Sexta etapa:** Aplicação da ferramenta de auxílio à decisão por múltiplos critérios AHP (Analytic Hierarchy Process) no apontamento das melhores alternativas

econômico-ambientais considerando aos critérios: redução de energia, redução de CO₂, redução de custo.

O método AHP é uma ferramenta modelada com base prescritiva e multicriterial, originada na década de 1970 por Thomas L. Saaty. Segundo Shimizu (2006), esse método tem sido aplicado para diferentes situações: definição de prioridades, avaliação de custos e benefícios, designação de recursos, medidas de desempenho, avaliação ou pesquisa mercadológica, determinação de requisitos, decisões estratégicas, planejamento e ordenação de atividades, previsão de cenários, negociação e resolução de conflitos, decisões e previsões políticas ou sociais e análise de decisão sob risco.

Esse método tem sido apontado como eficaz para a tomada de decisão, ao verificar-se que com ele é possível chegar às melhores alternativas, frente àquelas disponíveis, mediante a determinação prévia de prioridades, considerando aspectos tanto quantitativos quanto qualitativos. Salomon (2004) e Barbosa (2013) consideram que a AHP está, basicamente, fundamentada em três etapas:

- Hierarquização do problema objeto da avaliação, apontando os critérios e as alternativas de decisão;
- Julgamento comparativo baseado em escala de valores, definindo Pesos para Critérios e Alternativas;
- Síntese das prioridades e resultados identificados.

A estrutura hierárquica de um problema AHP começa indicando-se um objetivo global (ou final) desejado. De posse desse objetivo, os critérios devem ser indicados numa estrutura de árvore, sendo a raiz o objetivo final. Ao afastar-se da raiz, é verificada a ocorrência de fatores mais específicos, e os extremos (“as folhas”) trazem os fatores ou critérios de avaliação (SHIMIZU, 2006). A Figura 1 ilustra a etapa de hierarquização.

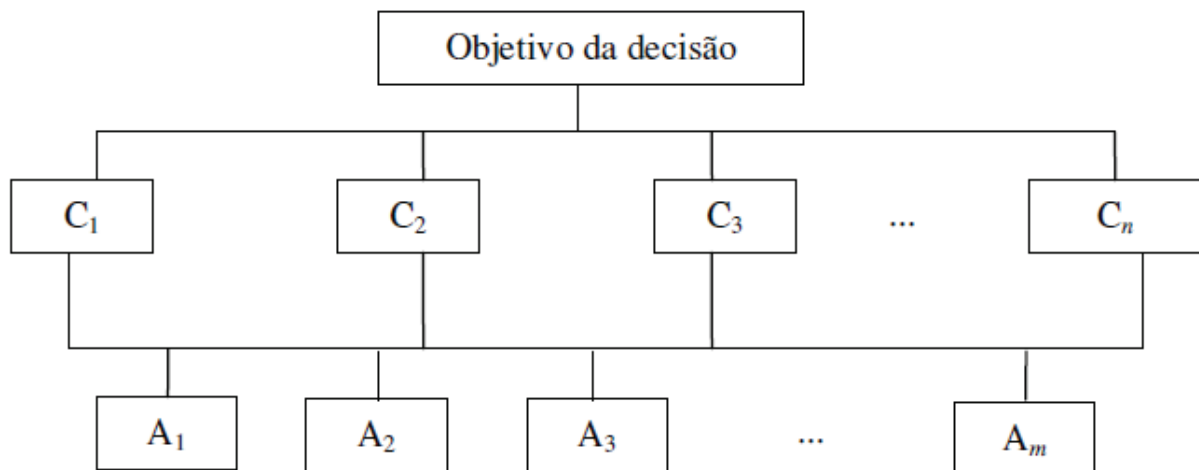


Figura 1: Estrutura hierárquica de dois níveis com n critérios e m alternativas

Fonte: Salomon, Marins e Duduch (2009).

Criada a hierarquia, Salomon, Marins e Duduch (2009) consideram que a etapa seguinte na aplicação do AHP é a definição de valores lógicos de importância para os critérios. Isto é feito por meio do uso de matrizes de comparações. A Tabela 1 traz um exemplo dessa matriz. A comparação é realizada, geralmente, utilizando-se a Escala Fundamental de Saaty, que vai de 1 a 9. A obtenção do vetor de pesos, w , é feita realizando-se a normalização do autovetor principal da matriz de comparações.

Tabela 1: Matriz de comparações entre os critérios

Critério	C_1	C_2	C_3	...	C_n	Peso
C_1	w_1/w_1	w_1/w_2	w_1/w_3	...	w_1/w_n	w_1
C_2	w_2/w_1	w_2/w_2	w_2/w_3	...	w_2/w_n	w_2
C_3	w_3/w_1	w_3/w_2	w_3/w_3	...	w_3/w_n	w_3
\square	\square	\square	\square		\square	\square
C_n	w_n/w_1	w_n/w_2	w_n/w_3	...	w_n/w_n	w_n

Fonte: Salomon, Marins e Duduch (2009).

A verificação da coerência entre as comparações é um item importante do método AHP. Inicialmente, o limite para a coerência de uma matriz considerada consistente era de 0,1. No entanto, atualmente, considera-se o valor de 0,2 como limite superior, sendo que o mesmo deve ser utilizado apenas como referência para apontar para a necessidade de reavaliar as comparações (SAATY, 2001 apud SALOMON, MARINS E DUDUCH, 2009). Barbosa (2013) ressalta que um dos problemas que geralmente trazem complexidade para a execução da AHP é o número de comparações que deve ser feito para sua execução, variando de acordo com o número de critérios do problema.

Feita a verificação da consistência da matriz de comparações, ou seja, com os pesos dos critérios estabelecidos, Salomon, Marins e Duduch (2009) consideram que o passo subsequente é a definição de pesos para as alternativas. Deve-se levar em consideração nessa definição a característica do critério quanto a qualitativo ou quantitativo, visto que o modo de estabelecimento se difere em cada caso. Para os critérios qualitativos, procedimento semelhante ao já abordado, quanto ao uso de matrizes de comparação, pode ser adotado. Para os critérios quantitativos, a definição dos pesos pode ser feita com o aproveitamento dos valores numéricos das alternativas.

4. DESENVOLVIMENTO

A região centro-sul é a principal produtora de etanol no Brasil e o transporte rodoviário é o mais utilizado para o escoamento desse biocombustível para as outras partes do Brasil. Investimentos governamentais e da iniciativa privada para a construção de um duto com capacidade para transportar 20.000.000 m³ de etanol por ano, com 1360 km de extensão, mostram esforços no sentido de melhorar a logística da região. No entanto, enquanto esse empreendimento não é concluído, o transporte de etanol da região terá como principal meio de transporte o caminhão. Para esse estudo, foi considerado que a capacidade do caminhão utilizado pelos transportadores é 30 m³. Foi considerado também que a capacidade do duto que está sendo construído é a capacidade atual que deve ser transportada por caminhão.

- **Primeira Etapa:** Cálculo do consumo de óleo diesel

Foi adotada a média de consumo de combustível (Mct) de 2,76 km/L para o transporte de etanol, consoante valor adotado por Oliveira, Leal Jr e Balestieri (2010) em seu estudo. Cabe salientar que alguns aspectos não foram levados em consideração pelo consumo médio: tipo de trecho (montanhoso, plano, etc.), a idade do veículo, quantidade de carga transportada (tonelada).

A média de consumo de combustível foi encontrada e com ela foi calculada quilometragem percorrida (KmT). Considerou-se apenas a viagem de ida (origem - destino),

através da multiplicação da distância do percurso escolhido (1360 km) pelo número de viagens (666.667 viagens), obtendo o resultado de 906.666.668 Km.

Utilizando-se a equação 1 foi possível encontrar o consumo total de óleo diesel (α) no valor de 328.502.415 litros.

- **Segunda Etapa:** Cálculo da emissão de CO₂

Nesta etapa do estudo, calculou-se o total de emissões de CO₂ (β), fazendo uso da equação 2. O valor obtido foi de 900.096.618 kg de CO₂.

- **Terceira Etapa:** Cálculo do custo variável

Na terceira etapa foi calculado o custo variável referente transporte rodoviário por caminhão. Para fins de cálculo foi considerado o valor de 0,07 \$/m³/km, conforme estudo de Pootakham e Kumar (2010).

Pode-se encontrar o custo variável de \$ 1.904.000.000,00 por meio da multiplicação do valor acima pela capacidade do caminhão e pelo total da quilometragem rodada.

- **Quarta Etapa:** Ações ecoeficientes

Nesta etapa foram levantadas ações ecoeficientes que podem ser utilizadas pelos transportadores (empresas e autônomos) para mitigar os efeitos negativos da atividade de transporte ao meio ambiente e reduzir o custo de transporte. As ações propostas encontradas são baseadas em duas dimensões, tecnologia e gestão, conforme descrito abaixo.

- Tecnologia: Este trabalho considera que as taxas de emissões de CO₂ e consumo de energia tem relação direta com a evolução tecnológica dos veículos de transporte.
- Gestão: Os transportadores devem monitorar suas frotas de veículos, planejar, aplicar e controlar a execução de medidas que promovam melhorias no serviço prestado.

Desse modo, são apontadas abaixo ações que tem como objetivo a redução do consumo de óleo diesel, emissão de CO₂ e custo.

Tabela 2: Ações ecoeficientes

Alternativas	Reduções		
	Óleo Diesel	CO ₂	Custo
Promoção de Treinamento para motoristas	13%	13%	13%
Monitoramento de viagens e incentivos financeiros aos motoristas	6%	6%	6%
Implantação de programa de conservação e manutenção de veículos	24%	24%	24%
Projeto Economizar	35%	35%	35%
Projeto Transportar	15%	15%	15%
Redução do peso total do veículo	8%	8%	8%
Melhorias na aerodinâmica do caminhão	17%	17%	17%
Uso de caminhões híbridos (diesel e eletricidades)	20%	30%	20%
Motores eletrônicos	10%	30%	10%

Fonte: Adaptado de Oliveira, Leal Jr e Balestieri (2010) e Leal Jr e D'Agosto (2012).

Apesar das ações contidas na Tabela 3 terem potencial de trabalhar de forma integrada, Oliveira, Leal Jr e Balestieri (2010) destacam que elas não devem ser consideradas como complementares no sentido de se acreditar que a soma das ações de cada coluna resultariam em 100%.

- **Quinta Etapa:** Reduções alcançadas

A presente etapa realiza o valor calculado da redução no consumo de óleo diesel, emissão de CO₂ e custo variável após a implementação de cada ação ecoeficiente proposta aos transportadores, como mostra a Tabela 3.

Tabela 3: Reduções obtidas

Alternativas	Reduções		
	Consumo energético	Emissões de GEE	Custo
Treinamento	42.705.314,01	117.012.560,39	\$ 247.520.000,00
Monitoramento	19.710.144,93	54.005.797,10	\$ 114.240.000,00
Manutenção	78.840.579,71	216.023.188,41	\$ 456.960.000,00
Economizar	115.961.352,66	315.033.816,43	\$ 666.400.000,00
Transportar	49.275.362,32	135.014.492,75	\$ 285.600.000,00
Peso	26.280.193,24	72.007.729,47	\$ 152.320.000,00
Aerodinâmica	55.845.410,63	153.016.425,12	\$ 323.680.000,00
Caminhões Híbridos	65.700.483,09	270.028.985,51	\$ 380.800.000,00
Motores eletrônicos	32.850.241,55	270.028.985,51	\$ 190.400.000,00

Fonte: O autor

Os valores apresentados na Tabela 3 foram calculados pela multiplicação do consumo total de óleo diesel, emissão de CO₂ e custo pelas porcentagens existentes na Tabela 2.

- **Sexta Etapa:** Aplicação do Método AHP

Por fim, essa etapa traz a aplicação do método AHP através do software SuperDecisios a fim de identificar as melhores ações ecoeficientes, consideradas as alternativas em relação aos critérios redução de óleo diesel, redução de emissão de CO₂ e redução de custo.

A fase inicial do método é a estruturação hierárquica, cujo objetivo é identificar o objetivo global, dos critérios e das alternativas, constituindo a estrutura do problema, conforme ilustra a Figura 2.

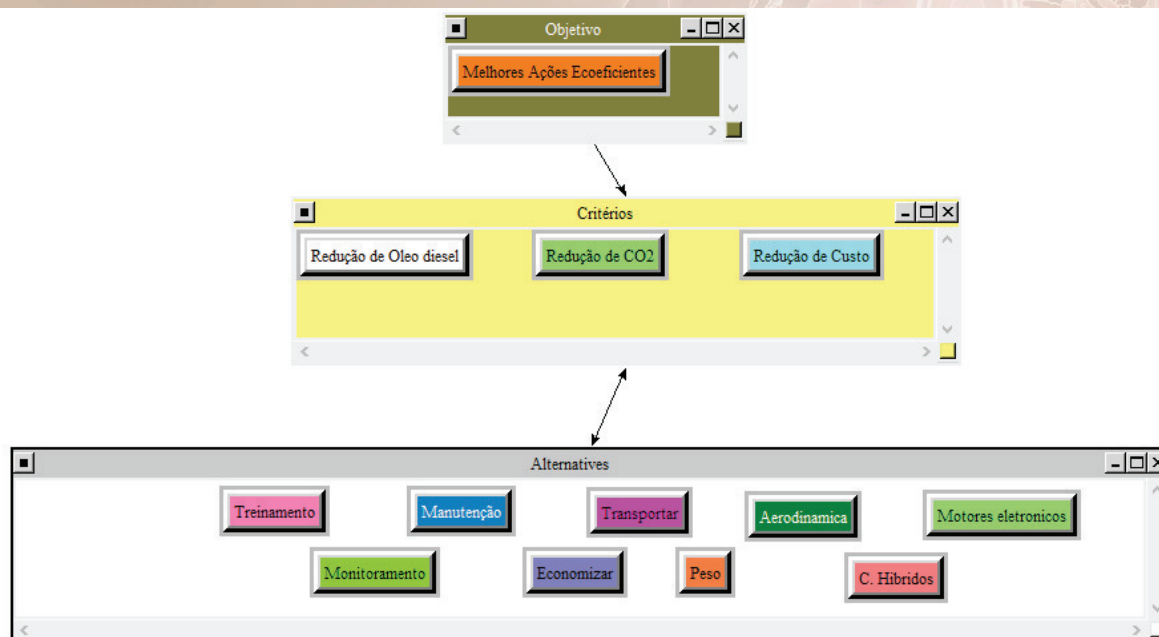


Figura 2: Estrutura hierárquica para seleção de melhores ações ecoeficientes
Fonte: O autor

Confeccionada a estrutura hierárquica, realizou-se a normalização dos valores da Tabela 3 para a obtenção dos valores de importância de cada alternativa, dando origem aos pesos das Tabelas 4, 5 e 6, mostrados a seguir.

Tabela 4: Critério consumo de óleo diesel

Alternativas	Óleo Diesel (litros)	Peso
Treinamento	42.705.314,01	0,0877
Monitoramento	19.710.144,93	0,0405
Manutenção	78.840.579,71	0,1618
Economizar	115.961.352,66	0,2380
Transportar	49.275.362,32	0,1011
Peso	26.280.193,24	0,0539
Aerodinâmica	55.845.410,63	0,1146
Caminhões Híbridos	65.700.483,09	0,1349
Motores eletrônicos	32.850.241,55	0,0674
SOMA	487.169.082,13	1,0000

Fonte: O autor

Tabela 5: Critério emissões de CO2

Alternativas	CO2 (kg)	Peso
Treinamento	117.012.560,39	0,0730
Monitoramento	54.005.797,10	0,0337
Manutenção	216.023.188,41	0,1348
Economizar	315.033.816,43	0,1966
Transportar	135.014.492,75	0,0843
Peso	72.007.729,47	0,0449
Aerodinâmica	153.016.425,12	0,0955
Caminões Híbridos	270.028.985,51	0,1685
Motores eletrônicos	270.028.985,51	0,1685
SOMA	1.602.171.980,68	1,0000

Fonte: O autor

Tabela 6: Critério custo

Alternativas	Custo Variável (\$)	Peso
Treinamento	247.520.000,00	0,0878
Monitoramento	114.240.000,00	0,0405
Manutenção	456.960.000,00	0,1622
Economizar	666.400.000,00	0,2365
Transportar	285.600.000,00	0,1014
Peso	152.320.000,00	0,0541
Aerodinâmica	323.680.000,00	0,1149
Caminões Híbridos	380.800.000,00	0,1351
Motores eletrônicos	190.400.000,00	0,0676
SOMA	2.817.920.000,00	1,0000

Fonte: O autor

Após o cálculo do peso das alternativas com relação aos critérios, foram inseridos os valores no software Superdecisions, que pode ser encontrado gratuitamente na internet para download, e foi criada a matriz de julgamento da Tabela 7 para realizar comparações entre critérios.

Tabela 7: Matriz de comparação entre os critérios

Critério	Red. Óleo Diesel	Red. CO2	Red. Custo
Red. Óleo Diesel	1	2	4
Red. CO2		1	1/5
Red. Custo			1

Fonte: O autor

A matriz, contando com a experiência do autor quanto à visão de mercado das transportadoras, considerou que a redução de custo apresenta maior importância comparada à redução de óleo diesel e a redução de CO₂. O resultado da aplicação da ferramenta AHP no software Superdecisions pode ser observado no Gráfico 1.

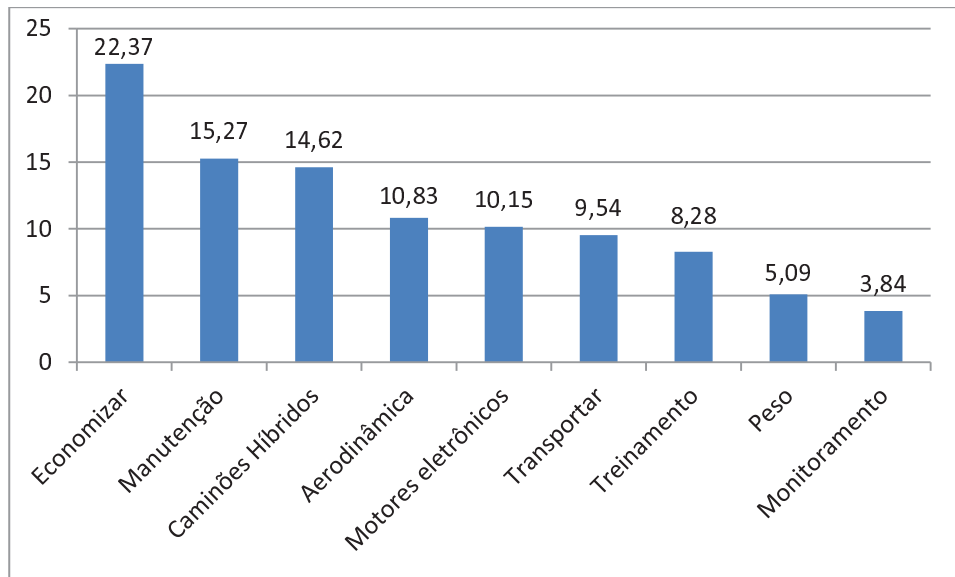


Gráfico 1: Ranking das melhores ações ecoeficientes
Fonte: O autor

Os resultados da AHP evidenciam que as melhores alternativas ecoeficientes para o transporte de etanol no trecho Jataí-Paulínia na região centro-sul do Brasil, tendo como base os dados utilizados, são as ligadas à gestão, como o Projeto Economizar (22,37%), e a realização de manutenções nos veículos (15,27%) e a utilização de carros híbridos (14,62%).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo mostrou que, diante da necessária manutenção, ainda por tempo indeterminado, do modo rodoviário como principal meio de transporte de etanol na região centro-sul, devido à ausência de infraestrutura dutoviária que comporte as demandas locais de escoamento da produção, uma alternativa para os embarcadores que desejam melhorar o desempenho de sua frota de caminhões é a utilização de ações ecoeficientes.

Nesse sentido, o uso da ferramenta de tomada de decisão com múltiplos critérios, AHP, pode contribuir para que os transportadores selecionem as melhores alternativas de ações ecoeficientes das inúmeras existentes no mercado.

Como limitações da pesquisa, pode-se citar o fato de os dados para o cálculo do consumo de energia e das emissões não terem considerado o volume da produção de etanol atual da região, devido à dificuldade de obtenção de dados. Foi considerada para os cálculos a capacidade máxima que terá o duto, atualmente em fase de construção, que interligará a cidade de Jataí à Paulínia. Além disso, não foi considerado que o etanol a ser escoado parte não apenas de Jataí, mas de diferentes pontos de onde ocorre sua produção. Dessa forma, foram desconsideradas as variações na distância pela qual os caminhões percorrem a partir de diferentes pontos até chegar à Paulínia. Cabe ressaltar também que o cálculo do custo variável por caminhão se baseou em dados estimados em estudos feitos no Canadá e nos Estados Unidos, fato que pode ocasionar distorções em uma pesquisa que os utilize no Brasil, dado que cada localidade pode apresentar particularidades diversas quanto ao transporte de etanol.

Sugere-se como estudos futuros abordagens que tratem da melhoria de desempenho do transporte rodoviário de etanol com dados reais e nacionais, para que o transporte de etanol no contexto brasileiro possa ser mais bem compreendido.

REFERÊNCIAS

- ANDRIOLLI, M. **Análise de viabilidade econômico-financeira de alcoodutos no Brasil**. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- BALLOU, R.H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos/ logística empresarial**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. 616 p.
- BARBOSA, R. **Decisões complexas: introdução aos métodos quali-quantitativos Delphi, AHP, TOPSIS e Árvore de Decisão**. Rio de Janeiro: BRMídia, 2013. 198 p.
- FIGUEIREDO, R. Gargalos logísticos na distribuição de combustíveis brasileira. **CELCOPPEAD/UFRJ, Maio**, 2006. Disponível em: http://www.coppead.ufrj.br/pt-br/upload/publicacoes/ArtLog_MAI_2006.pdf/. Acesso em 06 de junho de 2014.
- FIGUEIREDO, K. F.; FLEURY, P. F.; WANKE, P. Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento do fluxo de produtos e dos recursos. **São Paulo: Atlas**, 2010. 483 p.
- LEAL JR., I. C.. **Método de escolha modal para transporte de produtos perigosos com base em medidas de ecoeficiência**. 2010. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- LEAL JR, I. C.; D'AGOSTO, M. A. Ações de ecoeficiência para melhoria do desempenho no transporte rodoviário de produtos perigosos. **TRANSPORTES**, v. 20, n. 3, p. 5-17, 2012.
- LOGUM. **Quem somos**. Disponível em: <http://www.logum.com.br/php/quem-somos.php>, acessado em: 08/06/2014.
- _____. **Avanço das obras do projeto Logum**. Disponível em: <http://www.logum.com.br/php/noticias-detalhes.php?n=34>, acessado em: 08/06/2014.
- MAIA, A. D. G. Cenários Prospectivos Tecnológicos para o Transporte Rodoviário de Cargas no Brasil: O caso da frota de caminhões. **Universidade Federal do Rio de Janeiro-COPPE. Rio de Janeiro (RJ). Doutorado**, 2008.
- OLIVEIRA, L. F. R.; LEAL JR, I. C.; BALESTIERI, J. A. P. **Aplicação do método AHP a um conjunto de ações eco-eficientes propostas para o transporte rodoviário terceirizado pela CSN**. In. SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 7, 2010.
- POOTAKHAM, T.; KUMAR, A. Bio-oil transport by pipeline: A techno-economic assessment. **Bioresource technology**, v. 101, n. 18, p. 7137-7143, 2010.
- SILVA, A. T. B. et al. Cenários prospectivos para o comércio internacional de etanol em 2020. **Revista de Administração da Universidade de São Paulo**, v. 48, n. 4, 2013.
- Strogen, B.; Horvath, A.; Zilberman, D. Energy intensity, life-cycle greenhouse gas emissions, and economic assessment of liquid biofuel pipelines. **Bioresource technology**, v. 150, n. 40, p. 476-485, 2013.
- RODRIGUES, S. B. M. **Avaliação das alternativas de transporte de etanol para exportação na região Centro-Sul**. 2007. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- VALENTE, A. M.; PASSAGLIA, E.; NOVAES, A. G. **Gerenciamento de transporte e frotas**. São Paulo: Cengage Learning, 2008. 340 p.
- VERFAILLIE, H. A.; BIDWELL, R. **Measuring eco-efficiency: a guide to reporting company performance**. World Business Council for Sustainable Development, 2000.
- SALOMON, V. A. P. **Desempenho da modelagem do auxílio à decisão por múltiplos critérios na análise do planejamento e controle da produção**. 2004. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- SALOMON, V. A. P.; MARINS, F.; DUDUCH, M. Tomada de Decisões Múltiplas Aplicada à Seleção de Fornecedores de Equipamentos de uma Linha de Montagem em uma Fábrica de Autopeças. **Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento**, v. 1, n. 3, p. 208-217, 2009.
- SHIMIZU, T.. **Decisão nas organizações: com novos capítulos sobre: decisão com múltiplos critérios e múltiplos estágios, decisão baseada em knowledge, acquisition e data mining; decisão por grupos e**

negociação, exercícios resolvidos e estudo de caso. São Paulo: Atlas, 2006. 419 p.