

MÉTODO DE ESCOLHA MODAL PARA TRANSPORTE DE PRODUTOS
PERIGOSOS COM BASE EM MEDIDAS DE ECOEFICIÊNCIA

Ilton Curty Leal Junior

Tese de Doutorado apresentada ao
Programa de Pós-graduação em Engenharia
de Transportes, COPPE, da Universidade
Federal do Rio de Janeiro, como parte dos
requisitos necessários à obtenção do título
de Doutor em Engenharia de Transportes.

Orientadores: Márcio de Almeida D'Agosto
Suzana Kahn Ribeiro

Rio de Janeiro
Dezembro de 2010

MÉTODO DE ESCOLHA MODAL PARA TRANSPORTE DE PRODUTOS
PERIGOSOS COM BASE EM MEDIDAS DE ECOEFICIÊNCIA

Ilton Curty Leal Junior

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ
COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM
CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES.

Examinada por:

Prof. Márcio de Almeida D'Agosto, D.Sc.

Profa. Suzana Kahn Ribeiro, D.Sc.

Prof. Márcio Peixoto de Sequeira Santos, Ph.D.

Prof. Luís Alberto Duncan Rangel, D.Sc.

Profa. Lidia Angulo Meza, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

DEZEMBRO DE 2010

Leal Junior, Ilton Curty

Método de Escolha Modal para Transporte de Produtos Perigosos com Base em Medidas de Ecoeficiência / Ilton Curty Leal Junior. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2010.

XVI, 186 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Marcio de Almeida D'Agosto

Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Transportes, 2010.

Referências Bibliográficas: p. 151-180.

1. Escolha modal. 2. Avaliação de desempenho. 3. Ecoeficiência. I. D'Agosto, Marcio de Almeida. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Transportes. III. Título.

“O temor do Senhor é o princípio da ciência...”

Pv.1:7.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela minha vida, por preparar o meu caminho e pela oportunidade de entender um pouco mais sobre a infinidade do seu saber.

À minha esposa Grazielle e aos meus filhos João Victor e João Pedro pelo apoio e entendimento pela privação de muitos momentos sem minha companhia.

Aos meus pais Ilton e Ione por terem me dado amor e educação ao longo da minha vida.

Aos meus orientadores Prof. Márcio de A. D`Agosto e Prof^a. Suzana K. Ribeiro pelos ensinamentos, pela parceria e pela dedicação para a realização deste trabalho.

Aos demais professores do PET/COPPE/UF RJ pelo apoio nas disciplinas.

Aos membros da banca examinadora pelas críticas e sugestões que certamente solidificarão este trabalho.

Aos colegas da Universidade Federal Fluminense pelas dicas e auxílios na realização deste trabalho.

Ao meu amigo e orientador do mestrado, Prof. Silvestre, por ter acreditado em mim desde a graduação e por ter me dado a oportunidade de iniciar a carreira acadêmica.

Aos colegas e amigos em geral pelo incentivo e amizade que me incentivaram a seguir o caminho.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc.)

MÉTODO DE ESCOLHA MODAL PARA TRANSPORTE DE PRODUTOS
PERIGOSOS COM BASE EM MEDIDAS DE ECOEFICIÊNCIA

Ilton Curty Leal Junior

Dezembro/2010

Orientadores: Márcio de Almeida D'Agosto
Suzana Kahn Ribeiro

Programa: Engenharia de Transportes

As atividades de transporte causam influências ambientais e, no caso de produtos perigosos, estas podem ser ampliadas pelas características específicas do produto. O objetivo deste trabalho é desenvolver e aplicar, em um estudo de caso, o Método de Escolha Modal – MEM para estabelecer uma ordem de prioridade entre as alternativas consideradas para transportar bioetanol. Para isso, são utilizadas medidas de ecoeficiência que combinam indicadores relacionados ao valor do serviço e suas influências ambientais. Foi realizada uma pesquisa bibliográfica para desenvolvimento do método proposto. Uma pesquisa de campo foi desenvolvida para que especialistas, com base em suas experiências e conhecimentos, indicassem um conjunto de atributos relevantes para o processo de avaliação. A pesquisa documental foi utilizada para levantamento de dados relevantes para o estudo de caso considerado. Em aplicação piloto do caso do bioetanol brasileiro, produzido na Região Centro-sul, destinado à exportação, o trabalho demonstra as vantagens de se utilizar a abordagem proposta para esse tipo de problema e apresenta uma ferramenta para auxílio à tomada de decisão. Os resultados mostram que a alternativa mais utilizada atualmente, que é o transporte rodoviário, não é a que possui o melhor desempenho em termos de ecoeficiência. O transporte por dutos combinado com o rodoviário é o mais adequado ao transporte de bioetanol. A análise de sensibilidade do trabalho mostra como é possível melhorar o desempenho e aumentar o nível de ecoeficiência das alternativas intermodais.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

MODAL CHOICE METHOD FOR TRANSPORTATION OF HAZARDOUS
MATERIALS BASED ON ECOEFFICIENCY MEASURES

Ilton Curty Leal Junior

December/2010

Advisors: Márcio de Almeida D'Agosto

Suzana Kahn Ribeiro

Department: Transportation Engineering

Transport activities have environmental influences and in the case of hazardous materials these influences are potentially greater because of the specific characteristics of the product. The aim of this paper is to develop and apply a Modal Choice Method – MCM to establish a hierarchy among the alternatives to transport bio-ethanol. To formulate the MCM we used measures of ecoefficiency, which combine indicators of the value of the service and environmental influences, based on a review of the literature to understand the concepts. We then surveyed transportation experts for their opinions to determine the relevant attributes for evaluating the transportation process. We applied this model specifically to analyze the transport for exportation of Brazilian ethanol produced from sugarcane in the country's South-Central region. Considering the level of importance of the alternatives, we show the efficiency of the proposed method and present a tool to support decision making. The results show that the main transport mode used currently, road transport, is not the one with the best performance in terms of ecoefficiency. Pipeline combined with road transportation would be most suitable for ethanol. The sensibility analysis shows how it is possible to improve the performance and to grow the level of ecoefficiency of the intermodal alternatives.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1.	Problemática e motivação	2
1.2.	Hipóteses.....	3
1.3.	Objetivos geral e específicos	3
1.4.	Justificativa	4
1.5.	Delimitação da pesquisa	6
1.6.	Estrutura da pesquisa.....	6
2.	PRODUTOS PERIGOSOS, SEU TRANSPORTE E OS IMPACTOS AMBIENTAIS ASSOCIADOS	8
2.1.	O transporte de produtos perigosos no Brasil e no mundo.....	8
2.2.	Perfil dos transportadores e produtores brasileiros de produtos perigosos	15
2.2.1.	Perfil dos transportadores de produtos perigosos.....	16
2.2.2.	Perfil dos produtores de produtos perigosos.....	19
2.3.	Impactos ambientais associados ao transporte de produtos perigosos	20
2.3.1.	Consumo de energia	22
2.3.2.	Consumo de água	23
2.3.3.	Consumo de material.....	23
2.3.4.	Emissão de gases de efeito estufa	23
2.3.5.	Poluentes.....	24
2.3.6.	Segurança.....	26
2.4.	Conclusão do capítulo	31
3.	AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO EM TRANSPORTE E ECOEFIÊNCIA	33
3.1.	Avaliação do desempenho em transportes.....	33
3.1.1.	Categorias	37
3.1.2.	Aspectos.....	37
3.1.3.	Atributos	38
3.1.4.	Indicadores.....	42
3.1.5.	Medidas.....	42
3.2.	Ecoeficiência.....	46
3.3.	Conclusão do capítulo	53
4.	METODOLOGIA ADOTADA NO TRABALHO	55

4.1.	Classificação da pesquisa	55
4.2.	Universo e Amostra.....	57
4.3.	Instrumentos da coleta de dados	58
4.3.1.	Método <i>Delphi</i>	60
4.4.	Tabulação e análise dos dados	65
4.4.1.	Técnicas de pesquisa operacional para auxílio multicritério à decisão	67
4.5.	Conclusões do capítulo.....	81
5.	PROPOSTA DO MÉTODO DE ESCOLHA MODAL - MEM.....	82
5.1.	Etapa 1 – Definições iniciais.....	84
5.2.	Etapa 2 – Atributos e ponderações.....	85
5.3.	Etapa 3 – Indicadores e medidas.....	87
5.4.	Etapa 4 – Padrões de desempenho	88
5.5.	Etapa 5 – Coleta de dados.....	90
5.6.	Etapa 6 - Enquadramento.....	91
5.7.	Etapa 7 - Agregação	92
5.8.	Conclusão do Capítulo.....	93
6.	APLICAÇÃO PILOTO DO MÉTODO DE ESCOLHA MODAL - MEM.....	94
6.1.	Estudo de caso.....	94
6.1.1.	Etapa 1 – Definições Iniciais	97
6.1.2.	Etapa 2 – Atributos e Ponderações.....	100
6.1.3.	Etapa 3 – Indicadores e Medidas	109
6.1.4.	Etapa 4 – Padrões de desempenho	110
6.1.5.	Etapa 5 – Coleta de Dados.....	111
6.1.6.	Etapa 6 – Enquadramento	119
6.1.7.	Etapa 7 – Agregação.....	119
6.2.	Discussão dos Resultados	122
6.3.	Análise de Sensibilidade.....	129
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS, LIMITAÇÕES E PROPOSIÇÕES PARA NOVOS ESTUDOS	142
7.1.	Considerações finais e limitações	142
7.2.	Proposições para novos estudos.....	148
	REFERÊNCIAS	151
	ANEXO I.....	181
	ANEXO II	185

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Evolução dos acidentes no estado de São Paulo.....	29
Figura 3.1 - Componentes conceituais da Avaliação de Desempenho em Transportes .	36
Figura 4.1 - Fluxo da pesquisa do trabalho	56
Figura 4.2 - Seqüência de execução de uma pesquisa Delphi.....	62
Figura 5.1 - Método de Escolha Modal com procedimento de avaliação de desempenho em transporte	83
Figura 6.1 – Evolução da produção de bioetanol no Brasil	95
Figura 6.2 – Participação Mundial dos 10 maiores produtores de bioetanol.....	95
Figura 6.3 – Evolução da exportação de bioetanol no Brasil.....	96
Figura 6.4 – Região centro-sul do Brasil e unidades produtoras de bioetanol.....	96
Figura 6.5 - Rede para escoamento de bioetanol do centro-sul do Brasil para exportação	99
Figura 6.6 - Hierarquização das alternativas de transporte	122
Figura 6.7 - Desempenho das alternativas x utilização do modo rodoviário	125
Figura 6.8 - Desempenho das alternativas unimodais	126
Figura 6.9 - Desempenho das alternativas com melhorias em A5	130
Figura 6.10 - Desempenho das alternativas com base na distância	133
Figura 6.11 – Sensibilidade das alternativas unimodais com alteração de pesos.....	134
Figura 6.12 – Sensibilidade das alternativas intermodais com alteração de pesos.....	137
Figura 6.13 – Desempenho das alternativas alterando o peso de M1	138
Figura 6.14 – Desempenho das alternativas com a adoção de ações para melhoria de A2	140

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Os 10 maiores produtores de químicos do mundo.....	9
Tabela 2.2 - Produtos perigosos transportados por classe nos EUA em 2002.....	10
Tabela 2.3 - Transporte de Produtos perigosos por modo nos EUA em 2002.....	10
Tabela 2.4 - Produtos Perigosos transportados por classe e modo nos EUA em 2002...	11
Tabela 2.5 - Produção nacional dos principais derivados de petróleo, gás natural e biocombustíveis.....	13
Tabela 2.6 - Produtos transportados por classe de risco.....	14
Tabela 2.7 - Capacidade produtiva de derivados de petróleo por região no Brasil.....	20
Tabela 2.8 - Acidentes com produtos perigosos nos EUA: Ocorrências por modo e ano.....	28
Tabela 2.9 - Acidentes com produtos perigosos em São Paulo.....	28
Tabela 2.10 - Acidentes com produtos perigosos por classe de risco em São Paulo.....	29
Tabela 2.11 – Percentual de acidentes com produtos perigosos por classe de risco e modo em São Paulo.....	30
Tabela 2.12 – Contaminação por meio de acidentes com produtos perigosos no modo rodoviário.....	31
Tabela 3.1 - Atributos levantados por meio da pesquisa bibliográfica.....	39
Tabela 3.2 - Aspectos, atributos, indicadores e medidas usualmente aplicados ao serviço de transporte.....	44
Tabela 3.3 - Aspectos, atributos e indicadores relacionados ao conceito de ecoeficiência.....	52
Tabela 4.1 - Vantagens e desvantagens da utilização da opinião de especialistas.....	59
Tabela 4.2 - Vantagens e desvantagens do método Delphi.....	64
Tabela 4.3 - Técnicas de auxílio multicritério discretas.....	69
Tabela 4.4 - Vantagens e desvantagens da GRA, DEA e TOPSIS.....	75
Tabela 4.5 - Características do processo de decisão para escolha modal.....	76
Tabela 4.6 - Comparação entre estatística, teoria fuzzy e teoria grey.....	77
Tabela 4.7 - Aplicação da Análise Relacional Grey na área de transportes.....	80
Tabela 4.8 - Características da pesquisa e aderência a GRA.....	81
Tabela 6.1 – Matriz de distância x modo para a rede estudada.....	98
Tabela 6.2 - Descrição dos parâmetros básicos da avaliação de desempenho.....	100
Tabela 6.3 – Caracterização dos respondentes na primeira rodada.....	103

Tabela 6.4 – Opinião dos respondentes sobre o questionário.	104
Tabela 6.5 – Convergência dos Atributos de Valor do Serviço na 1ª Rodada.	105
Tabela 6.6 – Convergência dos Atributos de Influências Ambientais na 1ª Rodada....	105
Tabela 6.7 – Caracterização dos respondentes na segunda rodada	106
Tabela 6.8 – Convergência dos Atributos de Valor do Serviço na 2ª Rodada.	107
Tabela 6.9 – Convergência dos Indicadores de Valor do Serviço na 2ª Rodada.....	107
Tabela 6.10 – Convergência dos Atributos de Influência Ambiental na 2ª Rodada....	108
Tabela 6.11 – Atributos escolhidos para a aplicação.....	108
Tabela 6.12 – Indicadores escolhidos para cada atributo.....	109
Tabela 6.13 – Medidas de ecoeficiência a partir da equação 3.1	110
Tabela 6.14 – Padrão de desempenho para as medidas de ecoeficiência normalizadas.	111
Tabela 6.15 – Distâncias percorridas por cada modo em cada alternativa.	111
Tabela 6.16 – Ponderação pelas distâncias percorridas por cada modo em cada.....	111
Tabela 6.17 – Frete para o transporte de bioetanol.....	112
Tabela 6.18 – Valores cobrados pelo serviço de transbordo de bioetanol.	112
Tabela 6.19 – Custo de acidentes de transporte.....	115
Tabela 6.20 – Consumo total de energia por modo.....	115
Tabela 6.21 – Emissão de CO ₂ por modo.....	116
Tabela 6.22 – Fatores de emissão de poluentes atmosféricos por modo	117
Tabela 6.23 – Emissões de NO _x , SO _x CO e MP por modo.....	117
Tabela 6.24 – Descarte de óleo lubrificante de motor por modo	118
Tabela 6.25 – Resultados dos indicadores para cada alternativa.....	118
Tabela 6.26 – Medidas de Ecoeficiência para cada alternativa de transporte conforme equação 3.1	119
Tabela 6.27 – Séries normalizadas com a equação 4.4.....	120
Tabela 6.28 – Matriz de diferenças da série padrão.....	121
Tabela 6.29 – Coeficiente relacional grey.....	121
Tabela 6.30 – Graus de relacionamento grey conforme equação 4.7.	122
Tabela 6.31 – Classificação das alternativas segundo a média de desempenho por medida e o desvio padrão dos resultados das medidas	124
Tabela 6.32 – Níveis de Melhoria dos indicadores de cada alternativa.	130
Tabela 6.33 – Ações relacionadas a gestão e melhoria de tecnologia para redução do consumo de diesel, poluentes atmosféricos e gases de efeito estufa.	131

Tabela 6.34 - Perfis de pesos para análise de sensibilidade	134
Tabela 6.35 - Risco x custos de acidentes para os modos de transporte.....	136
Tabela 6.36 – Alterações nas emissões de poluentes atmosféricos e CO ₂ com a utilização de biodiesel proveniente de soja.	139

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação (3.1).....	53
Equação (3.2).....	53
Equação (4.1).....	67
Equação (4.2).....	67
Equação (4.3).....	67
Equação (4.4).....	78
Equação (4.5).....	78
Equação (4.6).....	78
Equação (4.7).....	79
Equação (4.8).....	79
Equação (4.9).....	80
Equação (5.1).....	87
Equação (5.2).....	91

LISTA DE SIGLAS

ABIQUIM	Associação Brasileira das Indústrias Químicas
ABTLP	Associação Brasileira de Transporte e Logística de Produtos Perigosos
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ANP	Agência Nacional do Petróleo
ANTAq	Agência Nacional de Transporte Aquaviário
ANTT	Agência Nacional de Transporte Terrestre
BCSD	<i>Business Council for Sustainable Development</i>
BTS	<i>Bureau of Transportation Statistic</i>
CEBDS	Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CFC	Clorofluorcarbonos
CMMAD	Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
CNT	Confederação Nacional do Transporte
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COPPE	Instituto Alberto Luiz Coimbra – Escola de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia
DEA	<i>Data Envelopment Analysis</i>
DGR	<i>Dangerous Goods Regulations</i>
DNIT	Departamento Nacional de Infra-estrutura em Transportes
EFC	Estrada de Ferro Carajás
EFVM	Estrada de Ferro Vitória-Minas
EIA	Estudos de Impactos Ambientais
ELECTRE	<i>Elimination Et Choix Traduisant la Réalité</i>
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
EUA	Estados Unidos da América
FHWA	<i>Federal Highway Administration</i>
FPNQ	Fundação Prêmio Nacional da Qualidade
GEE	Gases de Efeito Estufa

GEIPOT	Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
GRA	<i>Grey Relational Analysis</i>
HAZMAT	<i>Office of Hazardous Materials Safety</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEA	<i>International Energy Agency</i>
IMO	<i>International Maritime Organization</i>
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
ISAR/UNCTAD	<i>Working Group of International Standards and Accounting Reports</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
MAUT	<i>Multiattribute Utility Theory</i>
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
MEM	Método de Escolha Modal
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
MRS	Concessionária que opera a chamada Malha Sudeste da Rede Ferroviária Federal S. A
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ONU	Organização das Nações Unidas
PHMSA	<i>Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration</i>
PIB	Produto Interno Bruto
PROMÉTHÉE	<i>Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations</i>
RFA	<i>Renewable Fuel Association</i>
SCC	<i>Supply Chain Council</i>
STSP	Secretaria de Transportes de São Paulo
TODIM	Tomada de Decisão Interativa Multicritério
TOPSIS	<i>Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution</i>
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UNICA	União da Indústria da Cana-de-Açúcar
USDOT	<i>Department of Transportation of United States</i>
VIP ANALISYS	<i>Variable Interdependent Parameters Analysis</i>
WBCSD	<i>World Business Council for Sustainable Development</i>

1. INTRODUÇÃO

A escolha de uma estrutura de transporte adequada às necessidades organizacionais leva em conta um processo de tomada de decisão que apresenta complexidade devido à quantidade de variáveis, subjetividade dos envolvidos e poucos métodos de avaliação de desempenho adequados ao contexto do transporte de carga (Machado *et al.*, 2006).

Para que possam permanecer competitivas em um mercado em que aspectos de desempenho econômico-financeiros e socioambientais são avaliados em níveis de importância semelhantes, as organizações precisam considerar processos de tomada de decisão adequados a esse novo contexto. Para os transportes, isso é fundamental devido ao seu indispensável papel nos processos produtivos (suprimento) e nas transações comerciais (distribuição física). Em algumas situações, como no caso do transporte de produtos perigosos, a decisão se torna ainda mais complexa devido às características intrínsecas desses produtos que influenciam diretamente os aspectos socioambientais.

Neste sentido, a proposição e o desenvolvimento de um método que norteie o processo de tomada de decisão, por meio da avaliação de desempenho em transportes, pode ser útil para os profissionais que atuam nessa área e justificam o aprofundamento dos estudos científicos.

Buscando contribuir com o aprimoramento da avaliação de alternativas modais de transporte de produtos perigosos, este trabalho propõe, desenvolve e faz uma aplicação preliminar de um método criado pelo autor desta tese, baseado nos conceitos de avaliação de desempenho, em particular no conceito de ecoeficiência, denominado de Método de Escolha Modal – MEM (Leal Jr e D’Agosto, 2009b). Foram consultadas 174 referências nacionais e 92 internacionais para o desenvolvimento deste trabalho.

A aplicação preliminar do MEM foi realizada por meio de um estudo de caso que considera o uso de várias alternativas modais no transporte de bioetanol¹ brasileiro. Esse produto foi escolhido, pois faz parte do grupo de produtos perigosos mais transportados

¹ Compreende produtos oriundos de todos os processos de obtenção de etanol, cuja matéria-prima empregada seja a biomassa, como por exemplo, a cana-de-açúcar, o milho e a celulose. É um tipo de biocombustível que no Brasil é feito a partir da cana-de-açúcar.

no país e pela possibilidade de utilização de vários modos de transporte para um determinado percurso.

1.1. Problemática e motivação

A preservação ambiental hoje é uma preocupação mundial. Busca-se implementar políticas internacionais, nacionais, regionais e locais visando à redução de práticas que venham degradar os recursos naturais. Ao mesmo tempo, estudos surgem visando ao desenvolvimento de alternativas para que o desenvolvimento socioeconômico seja sustentável.

O transporte de produtos perigosos vem crescendo nos últimos anos (ABIQUIM, 2008a; ANP, 2009) e representa um risco considerável à vida das pessoas e ao meio ambiente. No Brasil, esse tipo de transporte é feito majoritariamente pelo modo rodoviário (CETESB, 2009). Neste caso, observam-se dois pontos relevantes: além do risco inerente aos tipos de substâncias classificadas como perigosas que circulam pelo país nesse tipo de transporte, existe o fato de grande parte dessa movimentação ser feita pelo modo que é caracterizado pelo maior consumo de energia e de emissão de poluentes atmosféricos locais, regionais e globais por unidade de carga transportada.

Cada modo de transporte apresenta diferentes resultados ao se avaliar os seus respectivos atributos de desempenho e a escolha do modo de transporte traz resultados econômico-financeiros e socioambientais diferentes para a operação de transporte. Em função da maior disponibilidade do modo rodoviário, no caso do Brasil, essa escolha usualmente recai sobre este modo, que em uma avaliação mais abrangente pode não se apresentar como a melhor alternativa (Rodrigues, 2007).

Diferentes conceitos relativos à avaliação de desempenho em transportes são considerados pela literatura para auxiliar na tomada de decisão quanto à escolha do modo de transporte. Entretanto, predominam abordagens não estruturadas que apresentam viés econômico-financeiro.

Diante do exposto, este trabalho baseia-se nas seguintes perguntas para representar a problemática:

1. Existe uma forma de utilização individual ou combinada dos modos de transporte que traga menores impactos ao meio ambiente, garantindo o ganho econômico e a competitividade?
2. Quais as principais premissas e elementos para o desenvolvimento de um modelo de transportes de carga de produtos perigosos que leve em consideração o conceito da ecoeficiência?

1.2. Hipóteses

A hipótese central deste trabalho baseia-se na possibilidade da aplicação de um modelo que permita a escolha do modo de transporte de produtos perigosos, visando à redução dos impactos ambientais, sem comprometimento da eficiência dos processos.

A hipótese secundária é que o modo rodoviário, que possui a maior parcela da divisão modal do transporte de carga no Brasil, não é o mais adequado sob o ponto de vista da ecoeficiência para o transporte de produtos perigosos, principalmente para os que apresentam grandes volumes de produção e transporte. Neste caso, presume-se que ao desenvolver um método de avaliação de desempenho para escolha modal sob o enfoque da ecoeficiência, existiriam empresas que estariam dispostas a usar uma alternativa de transporte diferente da habitual que apresentasse menores impactos ambientais sem comprometer os benefícios econômico-financeiros, tornando a busca pela preservação do meio ambiente mais atrativa.

1.3. Objetivos geral e específicos

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um método de avaliação de desempenho em transportes voltado para a escolha modal e que permita a hierarquização de alternativas de transportes para produtos perigosos. O método deve estar pautado no conceito de ecoeficiência, apresentando-se como uma alternativa as avaliações tradicionais.

Por meio da análise das características associadas aos modos de transporte, perfil das empresas, tipos de produtos e demais variáveis a serem investigadas, pretende-se chegar a um modelo hierárquico que considere, além da eficiência em termos competitivos, os

impactos ambientais que podem ocorrer tanto pelo risco de acidentes com a carga quanto pela poluição causada pela operação do transporte. O modelo deve priorizar o modo que, para uma dada situação de transporte de produtos perigosos, apresente a melhor ecoeficiência.

Os objetivos específicos são:

- Analisar conceitualmente os aspectos referentes à utilização dos modos de transporte e seus impactos ambientais;
- Levantar a bibliografia e o referencial teórico que retratem o estado da arte do tema da pesquisa;
- Identificar o perfil das empresas brasileiras que movimentam e transportam produtos perigosos;
- Levantar as informações necessárias para a aplicação do método desenvolvido em uma situação real (estudo de caso);
- Apresentar contribuição teórica e prática à área de conhecimento em Transportes de Carga, especificamente em avaliação de desempenho aplicada à escolha modal.

1.4. Justificativa

A degradação dos recursos naturais leva a sociedade, o poder público e a iniciativa privada a repensarem sobre a questão ambiental. O uso descontrolado desses recursos gera um risco eminente da extinção dos mesmos, comprometendo a sobrevivência das gerações futuras.

O poder público, preocupado com a preservação do meio ambiente, tem procurado, mediante assinatura de protocolos, proposição de legislação e acordos, encontrar alternativas e comprometimento para a diminuição de emissão de poluentes e materiais nocivos à natureza.

A iniciativa privada, preocupada em proteger sua imagem, visa a tomar ações de preservação ambiental, uma vez que a sociedade e seus clientes exigem produtos que não agridam o meio ambiente ou coloquem em risco algum recurso vital à sobrevivência humana.

Neste contexto, uma das atividades empresariais em que a boa prática operacional pode fazer diferença no que diz respeito aos impactos no meio ambiente é o transporte. Os custos logísticos para as empresas consomem uma significativa quantia dos seus recursos financeiros e o transporte é o setor que merece destaque, pois tem grande participação nas práticas nocivas ao meio ambiente, dada a quantidade de produtos que são movimentados. O setor de transportes consome, em todo o mundo, mais de 50% do petróleo, uma das suas principais fontes de energia, e é responsável por cerca de 20% da emissão de dióxido de carbono – CO₂ – na atmosfera (IEA, 2006).

Em alguns casos, as organizações são levadas a decidir entre serem eficientes e atender ao cliente, em detrimento de causar menos danos ambientais. Uma possibilidade de compensar esses objetivos conflitantes encontra-se no conceito da ecoeficiência, pois a desconsideração da variável ambiental tende a resultar, no longo prazo, em múltiplos tipos de ônus para as organizações, como aumento de custos, redução de lucros devido ao uso ineficiente dos recursos, perda da posição no mercado ou a cessação das suas atividades (Hunt e Auster, 1990 *apud* Oliveira *et al.*, 2005)

No transporte de produtos perigosos, um acidente que envolve o derrame de um produto químico pode provocar perda de vidas e causar um forte impacto sobre o meio ambiente, exigindo décadas para a sua recuperação.

Na pesquisa realizada, não foram encontradas abordagens que utilizam a ecoeficiência para a avaliação de desempenho dos modos de transporte e também da escolha modal, o que se ressalta como ineditismo da contribuição do presente trabalho.

Diante do exposto, este trabalho se justifica pela importância que o tema apresenta para as organizações e para a sociedade e porque visa apresentar alternativas que reduzam impactos no meio ambiente e que contribuam para a melhoria da qualidade de vida pela preservação da água, ar e solo, essenciais à sobrevivência no planeta ao mesmo tempo em que procuram garantir a sua eficiência financeira.

1.5. Delimitação da pesquisa

O estudo visou trabalhar com a avaliação de desempenho aplicada à escolha modal sob o enfoque da ecoeficiência. Considerou-se a avaliação de desempenho da operação de transporte, excluindo as questões referentes à infra-estrutura e sua manutenção, principalmente no que diz respeito aos impactos ambientais. Também não se levam em consideração conceitos como ciclo de vida.

O método desenvolvido baseia-se em conceitos e ferramentas já consagradas, porém, de forma estruturada, acrescentando-se o que o autor, com base em conhecimento proveniente de pesquisa, considera necessário para complementar a prática corrente.

A escolha modal foca também em alternativas previamente definidas para o caso de um produto perigoso. Como os combustíveis constituem a maior parte do total dos produtos perigosos transportados no mundo (USDOT, 2004), estes foram escolhidos para aprofundamento do estudo. Especificamente focou-se no bioetanol, cuja maior produção ocorre na Região Centro-sul do país, sendo escolhida uma cidade com representatividade no total produzido e por permitir o escoamento do produto por vários modos. A rede de transporte considerada também é restrita para simplificação da aplicação. Não foram consideradas em sua totalidade as vias, os terminais e os modos.

No caso dos impactos ambientais, são utilizados aqueles abordados pela teoria voltada aos transportes. Os atributos empregados também são genéricos para o caso dos transportes e aplicáveis para todos os modos.

A questão ambiental considera os potenciais impactos decorrentes da emissão de poluentes provenientes da atividade de transportes.

1.6. Estrutura da pesquisa

O presente trabalho foi elaborado em capítulos e está estruturada da seguinte forma: o Capítulo 1 contém a introdução que aborda problemática e motivação, hipóteses, objetivos, justificativa e delimitação da pesquisa. O Capítulo 2 apresenta os produtos perigosos, seu transporte e os impactos ambientais associados. O Capítulo 3 trata a

avaliação de desempenho em transporte e como os conceitos de ecoeficiência se associam ao assunto. O Capítulo 4 detalha a metodologia empregada para desenvolvimento do trabalho e apresenta os tipos de pesquisa, o universo e a amostra, a forma de levantamento de dados, a elaboração do modelo teórico de avaliação, os instrumentos de coleta de dados e a técnica de análise de dados utilizada. O Capítulo 5 aborda a proposição e desenvolvimento do Método de Escolha Modal. O Capítulo 6 mostra uma aplicação piloto do método desenvolvido para o caso do transporte de bioetanol no Brasil e faz a discussão dos resultados e a análise de sensibilidade. O Capítulo 7 apresenta as considerações finais, as limitações e as proposições para novos estudos. A última parte lista as referências utilizadas, a bibliografia e os anexos.

2. PRODUTOS PERIGOSOS, SEU TRANSPORTE E OS IMPACTOS AMBIENTAIS ASSOCIADOS

Neste capítulo discutem-se os conceitos e as principais características dos produtos perigosos a fim de se obter um panorama da complexidade do tema. Também se discute o principal foco, que é o transporte de produtos perigosos, levantando-se o panorama mundial e brasileiro. Uma pesquisa realizada pelo autor é apresentada para que se conheça melhor o perfil dos produtores e transportadores dos produtos em questão. Por fim, são apresentados os principais impactos ambientais do transporte de produtos perigosos.

2.1. O transporte de produtos perigosos no Brasil e no mundo

Um produto perigoso é toda e qualquer substância que, dadas as suas características físicas e químicas, possa oferecer, quando em transporte, riscos à segurança pública, à saúde de pessoas e ao meio ambiente, de acordo com os critérios de classificação da ONU, publicados pela Portaria nº 204/97 do Ministério dos Transportes. A classificação desses produtos é feita com base no tipo de risco que apresentam.

Santos (2006), com base no Decreto N° 96.044 de 18 de maio de 1988, simplifica o conceito ao citar que um produto perigoso é todo aquele que representa risco para a saúde de pessoas, para a segurança pública ou para o meio ambiente. De acordo com a CETESB (2004a), são produtos de origem química, biológica ou radiológica que apresentam um risco potencial à vida, à saúde e ao meio ambiente, em caso de vazamento.

Para fins de transporte, por via pública, consideram-se como produtos perigosos substâncias encontradas na natureza ou produzidas por qualquer processo que possuam propriedades físico-químicas, biológicas ou radioativas que representam risco para a saúde de pessoas, para a segurança pública e para o meio ambiente, segundo ANTT (2008).

Nos EUA, existe uma classificação mais abrangente denominada *hazardous materials*, que inclui outros produtos que no Brasil não estariam classificados como perigosos, mas

que podem, quando derramados, conduzir à insegurança na direção, impedir a visibilidade ou causar obstruções (Real, 2000).

Os produtos perigosos são divididos pela ONU de acordo com suas classes que englobam uma grande gama de substâncias com características próprias, sendo: Classe 1 – Explosivos; Classe 2 – Gases; Classe 3 – Líquidos Inflamáveis; Classe 4 – Sólidos Inflamáveis; Classe 5 – Substâncias Oxidantes e Peróxidos Orgânicos; Classe 6 – Substâncias Tóxicas e Substâncias Infectantes; Classe 7 – Material Radioativo; Classe 8 – Substâncias Corrosivas e Classe 9 – Substâncias e Artigos Perigosos Diversos.

Os produtos perigosos apresentam também conseqüências ou agravos à saúde semelhantes, variando muitas vezes a intensidade (Santos, 2006). Por suas características específicas, os produtos perigosos apresentam uma legislação nacional e internacional extensa, além de normas técnicas, certificações e licenças exigidas para seu uso e transporte.

Conforme Tabela 2.1, os Estados Unidos da América (EUA) são os maiores produtores de produtos químicos do mundo e sua posição em relação ao segundo colocado, que é a China, é 41% superior. Somando a produção dos principais produtores da Europa (Alemanha, França, Reino Unido, Itália e Espanha), chega-se a um total próximo ao dos EUA (ABIQUIM, 2009).

Tabela 2.1 – Os 10 maiores países produtores de produtos químicos do mundo

País	Faturamento Líquido (US\$ bilhões)
Estados Unidos	664
China	388
Alemanha	238
Japão	234
França	143
Coréia	116
Reino Unido	116
Itália	106
Brasil	104
Índia	92
Espanha	65

Fonte: ABIQUIM (2009)

Observando-se a Tabela 2.2, constata-se que a classe 3 (líquidos inflamáveis) é responsável por 81,6% do volume transportado em toneladas nos EUA. Nessa classe, encontram-se os combustíveis derivados de petróleo e os biocombustíveis.

Tabela 2.2 - Produtos perigosos transportados por classe nos EUA em 2002

Classe de produtos perigosos	Valor		Toneladas		t-milhas		Milhas médias por carregamento
	(Milhões de US\$)	%	(mil)	%	(mil)	%	
Total	660.181	100,0	2.191.519	100,0	326.727	100,0	136
Classe 1 – Explosivos	7.901	1,2	5.000	0,2	1.568	0,5	651
Classe 2 – Gases	73.932	11,2	213.358	9,7	37.262	11,4	95
Classe 3 – Líquidos inflamáveis	490.238	74,3	1.788.986	81,6	218.574	66,9	106
Classe 4 – Sólidos inflamáveis	6.566	1,0	11.300	0,5	4.391	1,3	158
Classe 5 – Peróxidos	5.471	0,8	12.670	0,6	4.221	1,3	407
Classe 6 – Infectantes	8.275	1,3	8.459	0,4	4.254	1,3	626
Classe 7- Radioativos	5.850	0,9	57	—	44	—	S
Classe 8 – Corrosivos	38.324	5,8	90.671	4,1	36.260	11,1	301
Classe 9 – Substâncias diversas	23.625	3,6	61.018	2,8	20.153	6,2	368

— = igual ou próximo de zero. S = não encontrado

Fonte: USDOT (2004).

Ao analisar o transporte de produtos perigosos nos EUA, verifica-se que 53,72% são realizados pelo modo rodoviário, seguidos pelo transporte dutoviário com 30,64%. O detalhamento da divisão modal de produtos perigosos nos EUA é apresentado na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Transporte de Produtos perigosos por modo nos EUA em 2002

Modo de Transporte	Toneladas	
	2002 (Mil)	Percentual
Rodoviário	1.159.514	53,72%
Ferroviário	109.369	5,07%
Aquaviário	228.197	10,57%
Aéreo	64	0,00%
Dutoviário	661.390	30,64%
Total	2.158.534	100,00%

Fonte: USDOT (2004)

A predominância do modo rodoviário é verificada em todas as classes de produtos perigosos transportados nos EUA, conforme Tabela 2.4. Nota-se uma grande utilização do modo dutoviário, ficando este em segundo lugar no transporte da maioria das classes.

Tabela 2.4 - Produtos Perigosos transportados por classe e modo nos EUA em 2002.

Classe	Modo de Transporte	Toneladas (milhares)	Toneladas (%)
Classe 1, Explosivos	Dutoviário ⁽²⁾	-	-
	Ferrovário	352	7,0
	Rodoviário ⁽¹⁾	4.631	92,6
	Aquaviário	-	-
Classe 2, Gases	Dutoviário ⁽²⁾	78.857	37,0
	Ferrovário	29.230	13,7
	Rodoviário ⁽¹⁾	96.865	45,4
	Aquaviário	7.133	3,3
Classe 3, Líquidos inflamáveis	Dutoviário ⁽²⁾	576.739	32,2
	Ferrovário	36.083	2,0
	Rodoviário ⁽¹⁾	948.619	53,0
	Aquaviário	199.304	11,1
Classe 4, Sólidos inflamáveis	Dutoviário ⁽²⁾	-	-
	Ferrovário	3.157	27,9
	Rodoviário ⁽¹⁾	6.711	59,4
	Aquaviário	1.263	11,2
Classe 5, Peróxidos	Dutoviário ⁽²⁾	-	-
	Ferrovário	2.430	19,2
	Rodoviário ⁽¹⁾	9.870	77,9
	Aquaviário	-	-
Classe 6, Tóxicos	Dutoviário ⁽²⁾	1.753	20,7
	Ferrovário	1.908	22,6
	Rodoviário ⁽¹⁾	2.255	26,7
	Aquaviário	2.325	27,5
Classe 7, Radioativos	Dutoviário ⁽²⁾	-	-
	Ferrovário	-	-
	Rodoviário ⁽¹⁾	52	100,0
	Aquaviário	-	-
Classe 8, Corrosivos	Dutoviário ⁽²⁾	3.959	4,4
	Ferrovário	23.949	26,4
	Rodoviário ⁽¹⁾	51.385	56,7
	Aquaviário	9.552	10,5
Classe 9, Substâncias diversas	Dutoviário ⁽²⁾	-	-
	Ferrovário	12.260	20,1
	Rodoviário ⁽¹⁾	39.126	64,1
	Aquaviário	8.619	14,1

(1) Como um modo único, inclui as transferências que foram feitas apenas por caminhão privado, apenas para locação de caminhão, ou uma combinação de particulares e de aluguel de caminhão. (2) Estimativas de dutoviário, exclui o transporte de petróleo cru.

Fonte: USDOT (2004)

No Brasil, a movimentação de produtos perigosos tem aumentado muito. As exportações e as importações brasileiras de produtos químicos vêm crescendo a cada ano. Segundo a ABIQUIM (2008a), o volume financeiro movimentado passou de US\$ 5,7 bilhões em 1991 para US\$ 47,0 bilhões em 2008, um crescimento médio de 49% ao ano.

Também é possível observar um aumento da produção de produtos químicos no Brasil. Comparando-se o ano de 1990 com 2007, observa-se uma variação de 68,2% (ABIQUIM, 2008a), o que poderia levar a um aumento no volume de produtos transportados.

A indústria química participa ativamente de quase todas as cadeias produtivas e complexos industriais, inclusive serviços e agricultura, desempenhando papel de destaque no desenvolvimento das diversas atividades econômicas do país. De acordo com dados recentemente revisados pelo IBGE, a participação da indústria química no PIB total foi de 3,2% em 2007. Levando-se em consideração toda a matriz industrial brasileira, segundo o IBGE (2008), o setor químico ocupou, em 2005, a terceira posição, respondendo por 11,3% do PIB da indústria de transformação (ABIQUIM, 2008a).

Atualmente a indústria química brasileira está entre as dez maiores do mundo, chegando a um faturamento líquido de US\$ 104,0 bilhões em 2007 (ABIQUIM, 2008a). A Tabela 2.1 mostra a posição brasileira no *ranking* mundial.

Os produtos químicos podem ser agrupados em dois grandes blocos: produtos químicos de uso industrial (orgânico, inorgânicos, resinas, elastômeros e produtos e preparados químicos diversos), que respondem por 50% da indústria brasileira, e produtos químicos de uso final (farmacêuticos, higiene pessoal, perfumes e cosméticos, adubos e fertilizantes, sabões, detergentes e produtos de limpeza, defensivos agrícolas, tintas, esmaltes e vernizes). Ainda segundo a ABIQUIM (2009), existem 1.091 fábricas de produtos químicos de uso industrial cadastradas no Guia da Indústria Química Brasileira, sendo 70% concentradas na Região Sudeste.

Os derivados de petróleo e os biocombustíveis representam um alto volume de tudo o que é transportado no país em termos de produtos perigosos. Observa-se (Tabela 2.5) que o total de produtos produzidos vem aumentando gradativamente, sendo a produção de 2008 aproximadamente 25% superior a de 2000. Apesar das variações individuais em que há uma queda de alguns derivados de petróleo e um aumento dos biocombustíveis (bioetanol e biodiesel).

Tabela 2.5 - Produção nacional dos principais derivados de petróleo, gás natural e biocombustíveis.

Produto (m³)	2000	2004	2008
Gasolina A	18.576.362	17.603.279	20.216.219
Gasolina de Aviação	85.480	79.829	67.966
GLP	6.907.019	8.164.354	8.312.521
Óleo Combustível	16.066.498	16.497.346	14.961.872
Óleo Diesel	30.780.051	38.252.441	40.648.511
QAV	3.744.299	4.142.460	3.793.497
Querosene Iluminante	199.639	112.858	23.158
Lubrificante	915.612	759.667	756.200
Nafta	10.182.022	8.743.655	8.134.049
Solvente	514.635	1.080.176	478.226
Gás Natural	13.282.877	16.971.156	21.592.652
Bioetanol	13.021.804	14.808.705	22.478.949
Biodiesel	-	-	1.167.128
Total (m³)	114.276.298	127.215.926	142.630.948

Fonte: ANP (2009); UNICA (2009)

A quantidade de petróleo importado e exportado pelo Brasil também é um indicador do volume de produtos perigosos transportados. Somando-se o total importado e exportado, observa-se um aumento de mais de 100% do volume movimentado entre os anos 2000 (24.185.016 m³) e 2008 (48.663.162 m³). Constata-se um aumento de 22% nas transações com o exterior dos derivados de petróleo para o mesmo período, destacando-se o volume de exportação, que cresceu 64% nos últimos 8 anos (ANP, 2009).

Atualmente, o Brasil está entre os 15 maiores produtores de petróleo no *ranking* mundial e disputa a primeira posição com os Estados Unidos na produção de bioetanol (Planeta Sustentável, 2008).

Como demonstrado, o volume de produtos perigosos produzido e, conseqüentemente, o transportado no Brasil, é bastante expressivo. Tendo em vista que o transporte de carga no país concentra-se no modo rodoviário, é natural que a movimentação de produtos perigosos siga a mesma tendência. Embora não existam pesquisas que permitam quantificar o total de produtos perigosos transportados por modo no Brasil, pode-se considerar que o percentual seja semelhante à conhecida matriz de transporte brasileira, com destaque para o duto no caso dos líquidos inflamáveis. Segundo a CETESB (2009), a maioria dos produtos perigosos é transportada por rodovias, em função do modelo de transporte adotado no país.

A Rodovia Presidente Dutra, que liga São Paulo ao Rio de Janeiro, é um dos maiores corredores no escoamento de produtos, bens ou serviços do país, incluindo os produtos perigosos. A Tabela 2.6 demonstra o percentual de produtos transportados por classe nessa rodovia. Observa-se a predominância dos líquidos inflamáveis, destacando-se os combustíveis, assim como apresentado na divisão modal de produtos perigosos nos EUA.

Tabela 2.6 - Produtos transportados por classe de risco.

Classe	%
Classe 1 – Explosivos	0,07%
Classe 2 – Gases	12,60%
Classe 3 – Líquidos inflamáveis	56,16%
Classe 4 – Sólidos inflamáveis	0,36%
Classe 5 – Peróxidos	1,71%
Classe 6 – Infectantes	3,08%
Classe 8 – Corrosivos	11,64%
Classe 9 – Substâncias diversas	14,38%

Fonte: Nova Dutra (2005 *apud* Leal Jr, 2006)

O transporte de produtos perigosos pode ser realizado de duas formas: (1) carga a granel em que o produto deve ser transportado sem qualquer embalagem, contido apenas pelo equipamento de transporte, seja ele tanque, caçamba ou contêiner; (2) carga embalada ou fracionada em que o produto no ato do carregamento, descarregamento ou transbordo do veículo transportador é manuseado juntamente com o seu recipiente (ANTT, 2008).

2.2. Perfil dos transportadores e produtores brasileiros de produtos perigosos

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 infra-estrutura necessária.

Para maior entendimento do perfil dos transportadores e produtores brasileiros de produtos perigosos, realizou-se uma pesquisa de campo, já que a quantidade de dados disponíveis sobre esse assunto em fontes bibliográficas e documentais é pequena. A pesquisa de campo se dividiu em duas fases. A primeira envolveu visitas a *sites* de produtores e transportadores de produtos perigosos para levantamento de informações principais como: localização, área de atuação, tipos de produtos transportados e endereço eletrônico para a elaboração de um cadastro para posterior aplicação de um questionário referente à segunda fase da pesquisa.

Por sua vez, o cadastro foi feito com base nas empresas que constam no Anuário do Transporte de Cargas (2007), em *sites* de associações de produtores e transportadores (ABIQUIM e ABTLP) e agências governamentais (ANTT, ANTAq e ANAC). Para realização dessa pesquisa de campo, contou-se com a participação do autor da tese e de mais dois bolsistas de iniciação científica durante 3 meses.

Foram cadastradas 907 transportadoras que atuam nos 5 modos de transporte e 64 produtoras de químicos de uso industrial. Nesse cadastro, também está incluída a Petrobras como maior produtora de combustíveis do país e sua subsidiária transportadora, a Transpetro.

Os resultados obtidos com a pesquisa de campo são apresentados a seguir. Nota-se que o perfil levantado foi feito com base nas empresas que responderam ao questionário para complementar algumas informações que não constam em seus *sites*.

2.2.1. Perfil dos transportadores de produtos perigosos

Transporte Rodoviário

Foram levantadas 165 empresas de transporte rodoviário do Brasil cadastradas na ANTT e no Anuário de Transportes de Cargas (2008), sendo que, desse total, 85 atuam no transporte de produtos perigosos, as quais foram incluídas na pesquisa realizada. Das transportadoras pesquisadas, 90% atuam na Região Sudeste, devido ao grande número de empresas que existem nessa região. A Região Sul apresenta 70% das empresas que atuam em seus estados. Em terceiro lugar, aparece a Região Centro-Oeste com 58% das empresas pesquisadas. A menor atuação dessas transportadoras ocorre nas regiões Nordeste, com 52%, e Norte, com 39%. Das empresas pesquisadas, 22% atuam internacionalmente, sendo a maioria na Argentina, Uruguai, Chile e Paraguai (Cone Sul e Mercosul). A idade média da frota pesquisada é de 5 anos.

Quanto à localização das sedes, 70% das empresas pesquisadas estão na Região Sudeste. A Região Sul aparece em segundo lugar, com 23% das empresas. Norte, Nordeste e Centro-Oeste somam 7%. A maioria das empresas que transportam produtos perigosos se encontra na Região Sudeste e com filiais na Argentina, transportando principalmente produtos químicos e petroquímicos.

Transporte Ferroviário

De acordo com a Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2008), boa parte da malha ferroviária do país concentra-se em três estados: São Paulo, Minas Gerais e Rio Grande do Sul, com predominância da operação ferroviária no transporte de cargas. Em consequência, a maioria das empresas encontra-se nas regiões Sul e Sudeste.

Foram pesquisadas 7 concessionárias (ALL, EFC, EFVM, FCA, FERROESTE, FTC, FNS, MRS e TNL) e observou-se o baixo índice de transporte de produtos perigosos, sendo o foco principal a produção agrícola, a siderurgia e o minério. No que se referem aos produtos perigosos, os combustíveis, derivados de petróleo e álcool, adubos e fertilizantes são os mais transportados e somam juntos 3,7% da produção do transporte ferroviário no Brasil (ANTT, 2009).

Transporte Aquaviário

Foram pesquisadas 50 empresas de transporte aquaviário interior. Observou-se que 70% das empresas pesquisadas atuam no Norte do país. Isso provavelmente ocorre devido ao grande número de rios naturalmente navegáveis que se concentram nessa região. O Sul vem em segundo lugar com 12% das empresas e as demais regiões, com 6% cada uma. As empresas de navegação interior também atuam em regiões estrangeiras, como Peru (7%), Argentina (9%) e Colômbia (16%).

Foram pesquisadas 34 empresas de cabotagem. Apurou-se que 73% das empresas pesquisadas se localizam na Região Sudeste. Isso ocorre devido à grande quantidade de carga que essa região recebe para suprir as empresas nela localizadas. Pelo fato da maioria das empresas estarem localizadas na Região Sudeste, é natural que as mesmas tenham uma atuação maior também nessa região.

Foram pesquisadas 22 empresas de transporte aquaviário de longo curso (internacional) que, em sua maior parte, têm suas sedes localizadas no Estado do Rio de Janeiro (72%) e São Paulo (13%). O restante das empresas está localizado em Sergipe, Rio Grande do Sul e Paraná, cada estado com 5%.

A área de atuação dessas empresas é vasta, fazendo comércio com praticamente todas as partes do mundo, importando e exportando cargas, para América do Norte, Europa, Ásia, África Ocidental e América do Sul.

As transportadoras (navegação interior, cabotagem e longo curso) dividem sua capacidade para as mais variadas cargas, incluindo os produtos perigosos como: produtos químicos, combustíveis derivados de petróleo, bioetanol, gás liquefeito de petróleo, gás natural, biodiesel, lubrificantes, fertilizantes, emulsão asfáltica etc.

Transporte Aéreo

Para a pesquisa do transporte aéreo, foram levantadas 629 empresas de transporte aéreo que constam no cadastro da ANAC (2009a). Desse total, apenas 21 empresas (3,34%) foram consideradas para o estudo e estas estão distribuídas entre as regiões Sudeste (36%), Sul (23%), Centro Oeste (20%), Norte (16%) e Nordeste (5%).

O alto número de empresas cadastradas na ANAC se deve ao fato da necessidade desse tipo de transporte para a aviação agrícola e/ou trabalhos cinematográficos, sendo que a maioria dessas empresas (96,66%) possuem 1 ou 2 veículos. As aeronaves transportam fertilizantes e defensivos agrícolas para aplicação nas plantações em todo o país e, mesmo sendo empresas pequenas, lidam com produtos perigosos.

As empresas de transporte de carga internacional, com atuação em todo o mundo, afirmaram transportar produtos perigosos de todas as classes, mas não especificaram qual o percentual por classe.

Transporte dutoviário

O transporte dutoviário se dedica, praticamente, ao petróleo, a seus derivados e ao gás natural, representando quase que exclusivamente o transporte de produtos perigosos. No Brasil, a maior parte da rede de dutos pertence à Transpetro, subsidiária da Petrobras. Segundo Terzian (2005), 82% da movimentação por oleodutos estão na Região Sudeste. Para o autor, grande parte dos dutos está destinada ao transporte de derivados claros², com 65,4%, seguido pelos derivados escuros (20,3%) e pelo gás natural, com 14,3%.

Transporte multimodal e intermodal

Nesse tipo de transporte há a combinação de dois ou mais modos de transporte em um mesmo percurso. Entretanto, no Brasil, o transporte multimodal diferencia-se do intermodal por questões legais. A Lei n.º 9.611 de 19 de fevereiro de 1998 dispõe sobre o Transporte Multimodal de Cargas, transporte este que, regido por um único contrato, utiliza duas ou mais modalidades de transporte, desde a origem até o destino e é executado sob a responsabilidade única de um Operador de Transporte Multimodal (OTM).

No Brasil, principalmente, os combustíveis se utilizam de estrutura intermodal na sua cadeia de distribuição física, que inclui o transporte para terminais de armazenamento, por modos de maior capacidade, como os dutos, ou a distribuição física para os pontos de venda pelo modo rodoviário.

² **Derivados claros** – Designação genérica de alguns derivados de petróleo, entre os quais a gasolina, o querosene e o óleo diesel. Possuem coloração clara, se comparados ao petróleo, daí sua classificação. São líquidos e pouco viscosos. **Derivados escuros** – Designação genérica de alguns derivados de petróleo, entre os quais o óleo combustível e o asfalto. Possuem coloração semelhante a do petróleo (escura) e alta viscosidade.

2.2.2. Perfil dos produtores de produtos perigosos

As empresas fabricantes de produtos químicos industriais que atuam em segmentos específicos do mercado estão organizadas na Associação Brasileira da Indústria Química (ABIQUIM).

A ABIQUIM, com algumas exceções, concentra-se no segmento de produtos químicos de uso industrial. Esse segmento abrange aproximadamente 3 mil produtos, utilizados no âmbito de outros setores industriais ou da própria indústria química, fabricados por cerca de 800 empresas, associadas ou não à entidade, que figuram no cadastro da ABIQUIM e no Guia da Indústria Química Brasileira (ABIQUIM, 2008a).

Foram pesquisadas 64 empresas produtoras de produtos químicos de uso industrial que estão localizadas na sua maioria na Região Sudeste, que concentra 69% das empresas, seguida pela Região Sul, com 16%, e pela Região Nordeste, com 11%. Os outros 4% estão na Região Norte e Centro-Oeste. Buscou-se identificar as principais classes de produtos perigosos produzidos e transportados pelas empresas participantes do estudo e o resultado foi o seguinte: Classe 1 – 5%, Classe 2 – 5%, Classe 3 – 14%, Classe 4 – 5%, Classe 5 – 18%, Classe 6 – 23%, Classe 7 – 0%, Classe 8 – 18% e Classe 9 – 5%. Aproximadamente 9% das empresas não responderam a essa questão. Nota-se que a classe 3 possui um percentual inferior, pois, nesse caso, não está incluída a produção de petróleo, seus derivados e biocombustíveis, detalhados mais adiante.

As empresas possuem como principais fornecedores empresas localizadas nas Regiões Norte (8%), Nordeste (8%), Sudeste (29%) e Sul (14%) do Brasil. Além disso, existem fornecedores que atuam em outros países dos continentes Americano (27%) e Asiático (14%). A amostra utilizada na pesquisa possui clientes distribuídos por todo o Brasil e pelo continente Americano da seguinte forma: Norte – 11%, Nordeste – 22%, Centro-oeste – 6%, Sudeste – 39%, Sul – 17% e Países da América – 6%.

O transporte dos produtos perigosos das empresas analisadas é realizado pelo modo rodoviário (78%) e aquaviário/marítimo (22%). A adoção do transporte rodoviário como principal modo de transporte desse setor pode se justificar pela sua maior disponibilidade e flexibilidade.

Além disto, é necessário considerar toda a produção de petróleo, seus derivados e biocombustíveis que se enquadram na classe 3. Com base nos dados da ANP (2009) e UNICA (2009), é possível elaborar a Tabela 2.1, já apresentada, na qual a maior participação dos produtos dessa classe fica com o óleo diesel, com 28,5%.

Ao observar a distribuição da capacidade de fabricação de derivados de petróleo pelo Brasil, é possível observar a grande concentração na Região Sudeste, principalmente no Estado de São Paulo, que responde por 42,24% de toda a capacidade produtiva nacional (Petrobras, 2009). A Tabela 2.7 mostra a capacidade produtiva de derivados de petróleo no país.

Tabela 2.7 - Capacidade produtiva de derivados de petróleo por região no Brasil.

Região	%
Norte	2,32%
Nordeste	16,62%
Centro-Oeste	0,00%
Sudeste	62,03%
Sul	19,03%
Total	100,00%

Fonte: Petrobras (2009)

Observa-se ainda que a produção de bioetanol está concentrada na Região Centro-Sul do Brasil, com cerca de 91%, sendo só o Estado de São Paulo responsável por 59,37% da produção em 2008.

2.3. Impactos ambientais associados ao transporte de produtos perigosos

O meio ambiente é fonte de recursos naturais imprescindíveis para a sobrevivência do homem e seu desenvolvimento. As atividades humanas causam impactos nesses recursos, os quais, pela sua classificação, podem representar maiores ou menores riscos na sua renovação (Barbieri, 2006).

Segundo Fogliatti *et al.* (2004 p.8), impacto ambiental é qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e/ou biológicas do meio ambiente, provocada direta ou indiretamente por atividades humanas, podendo afetar a saúde, a segurança e/ou a qualidade dos recursos naturais.

O termo impacto ambiental é definido como toda alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: I – a saúde, a segurança e o bem-estar da população; II – as atividades sociais e econômicas; III – a biota; IV – as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; V – a qualidade dos recursos ambientais (CONAMA, 2007).

A operação dos transportes causa diversos impactos ambientais, principalmente sobre os recursos não-renováveis, o que têm sido fonte de preocupação para o mundo. Cada modo utilizado apresenta um nível de influência diferenciado. Na literatura pesquisada (Banister e Button, 1993 *apud* Silva, 2001; BTS, 1998 *apud* Simões, 2003; Davis, 2000 *apud* Mattos, 2001; FHWA US DOT, 2005; Fleury, 2003; Kharel e Charmondusit, 2007; Mattos, 2001; MCT, 1999 *apud* Mattos, 2001; MCT, 2003; Michelsen *et al.*, 2005; MME, 2006; OCDE, 2000 *apud* Mattos, 2001; WBCSD, 2000), destacam-se: consumo de energia, consumo de água, consumo de material³, emissão de gases de efeito estufa, emissão de poluentes atmosféricos (locais e regionais), térmicos, sonoros, visuais, de resíduos sólidos e líquidos na água e no solo.

Por outro lado, a eficiência e a integração entre os diversos modos de transportes são fatores fundamentais para o crescimento econômico de uma nação, pois permitem o deslocamento das pessoas, a acessibilidade à educação, a informação, a saúde, a comercialização de bens, a integração social e a criação de pólos comerciais, industriais e de lazer. Além de representar um fator positivo para a vida econômica dos países, a existência de um sistema de transporte efetivo contribui para o bem-estar dos cidadãos (Fogliatti *et al.*; 2004).

Entretanto, enquanto os sistemas de transporte são essenciais à sociedade moderna, com benefícios econômicos significativos para esta, eles também trazem impactos negativos ao meio ambiente (Fogliatti *et al.*, 2004). Segundo Vasconcellos (2008), esses impactos podem inicialmente ser divididos em dois grandes grupos: os que implicam em consumo de recursos naturais e os que afetam a vida das pessoas. Portanto, quando da avaliação de um modo de transporte, devem-se considerar, além das questões de cunho

³ Aqui se considera por material: matérias primas, partes e componentes e material de consumo.

econômico-financeiro, as de cunho socioambiental, que muitas vezes são ignoradas nas tomadas de decisão.

Ainda segundo Fogliatti *et al.* (2004), os sistemas de transporte causam impactos ambientais distintos nas fases de planejamento, projeto, construção e operação, sendo que as duas primeiras não são comparativamente significativas, verificando-se apenas expectativas relacionadas às duas últimas fases.

Neste trabalho, enfoca-se na avaliação de desempenho e escolha modal com base na operação do transporte de carga, esclarecendo-se que existe outro campo de estudo relacionado à construção dos sistemas de transporte de igual forma importante. A seguir, são apresentados os principais impactos ambientais relacionados à operação dos modos de transporte.

2.3.1. Consumo de energia

Segundo Capriglione (2006), as fontes energéticas podem ser classificadas em relação às categorias de recursos naturais que as originam. Assim, as fontes podem ser renováveis (eólica, geotérmica, biomassa, solar e hidráulica) e não renováveis (petróleo, carvão mineral e atômica).

Conforme Weil (2005), uma fonte renovável é aquela que pode ser reabastecida por processos naturais e pode ser usada repetidamente. Já uma fonte não-renovável, é aquela que depois de esgotada não pode mais ser produzida e sua quantidade é limitada na natureza.

Os transportes utilizam diversas fontes de energia renováveis ou não-renováveis. Neste caso, o consumo de energia renovável está associado à utilização de fontes como os biocombustíveis, enquanto que a não-renovável utiliza fontes como combustíveis fósseis e que provoca a extinção destes. Independente do tipo de fonte de energia, existem impactos ambientais associados. No caso das fontes de energia não renováveis, a influência ambiental associada seria a exaustão de recursos naturais, nesse caso, o petróleo. Para as fontes de energia renováveis, baseadas em biocombustíveis, as florestas são indiretamente destruídas para a produção de combustíveis.

No Brasil, segundo MME (2006), o modo rodoviário representava em 1985 81% da energia consumida pelo transporte e em 2005 esse percentual passou para 91,8%. Destaca-se a diminuição da participação no modo aquaviário que caiu de 9,6% para 2,1% no mesmo período.

2.3.2. Consumo de água

Nesse caso considera-se a água consumida na operação dos veículos de carga bem como a utilizada na sua lavagem e manutenção.

Dados da Organização das Nações Unidas (ONU) mostram que cerca de 1,1 bilhões de pessoas em todo o mundo não têm acesso à água potável. Um total de 26 países sofre escassez crônica de água e a previsão é de que em 2025 serão 3,5 bilhões de pessoas em 52 países nessa situação (Agência Brasil, 2007 *apud* Cunha, 2009). Esses dados mostram a relevância desse recurso natural para o contexto mundial.

No caso de produtos perigosos, a água utilizada na lavagem e na manutenção dos veículos é contaminada por resíduos e seu manejo inadequado pode gerar distúrbios econômicos e ambientais imprevisíveis, além de efeitos nocivos para a saúde humana (Cunha, 2009).

2.3.3. Consumo de material

Refere-se à matéria-prima utilizada nas peças de reposição ao longo de sua vida útil do veículo. O consumo de material varia em relação ao modo avaliado. Podem ser considerados, inclusive, os materiais gastos para a construção da infra-estrutura de vias, que não é o foco deste trabalho.

Grande parte do material utilizado nas partes que compoem os veículos é constituído de aço, plástico e borracha. Todos esses materiais apresentam forte influência ambiental em sua fabricação, pois envolvem processos relacionados à siderurgia e à indústria petroquímica.

2.3.4. Emissão de gases de efeito estufa

Esses gases são liberados pela operação do transporte e sua emissão causa influência em todo o globo terrestre. Existem diferentes tipos de gases de efeito estufa, destacam-se o

dióxido de carbono – CO₂, metano – CH₄, óxido nitroso – N₂O, vapor de água e clorofluorcarbonos – CFC, que em certos casos são tratados como poluentes atmosféricos globais.

O setor de transportes é, entre as fontes de emissão de gases de efeito estufa, o que cresce mais rapidamente (MATTOS, 2001). No que diz respeito à emissão de gases que contribuem para o efeito estufa, cada modo de transporte de carga tem a sua intensidade e representatividade. Observa-se uma grande parcela de emissão de CO₂ associada ao modo rodoviário, com 77,8% do total, seguido pelos modos aquaviário (10,6%), ferroviário (8,7%) e aéreo (2,8%), segundo FHWA US DOT (2005).

No Brasil, de acordo com MCT (2003) e MME (2006), o setor de transporte é o segundo responsável pela emissão de CO₂ na atmosfera, com 33% do total, ficando atrás apenas da indústria, com 38%. Os outros setores se apresentam na seguinte ordem: residencial (10%), agricultura e agropecuária (7%), transformação de energia (6%) e outros (6%).

Na emissão de gases de efeito estufa pelos transportes, destaca-se o CO₂, que é emitido pela queima direta do diesel, o combustível mais utilizado para os transportes de carga. Os gases de efeito estufa não necessariamente são classificados como poluentes, visto que em alguns casos fazem parte de processos naturais, como é o caso do vapor de água e do dióxido de carbono.

2.3.5. Poluentes

Os transportes são grande fonte de poluição. Todos esses poluentes podem ser agravados pelas más condições dos veículos e das vias, das tecnologias empregadas e das formas de gerenciamento da operação.

Poluentes Atmosféricos

Envolve a emissão na atmosfera de gases, sólidos ou aerossóis líquidos finamente divididos a taxas que excedem a capacidade da atmosfera de dissipá-los ou de dispô-los pela incorporação em camadas sólidas e líquidas da biosfera, resultando em danos à saúde dos seres humanos e de demais seres vivos e materiais. Os poluentes atmosféricos são divididos em: locais (poluentes liberados pelos modos de transporte e que afetam a

região local, como, monóxido de carbono – CO, óxido de nitrogênio – NOx, hidrocarbonetos – HC, Material Particulado – MP e Aldeídos); regionais (poluentes liberados pelos modos de transporte e que afetam a região local e regiões próximas com maior abrangência que os poluentes locais, como óxido de enxofre – SOx e óxido de nitrogênio – NOx) e globais (poluentes liberados pelos modos de transporte e que afetam o globo terrestre, como dióxido de carbono – CO₂, metano – CH₄, óxido nitroso – N₂O, clorofluorcarbonetos – CFC) (Ministério dos Transportes, 2010). Há a discussão se esses últimos são poluentes, pois alguns deles, como o caso do CO₂, são emitidos naturalmente pelos seres vivos.

Poluentes Térmicos

Referem-se à adição de calor nos ecossistemas. No caso dos transportes, essa poluição provém do funcionamento dos veículos em operação e pela infra-estrutura necessária para o funcionamento dos mesmos (estradas, ferrovias, terminais etc). Nota-se que a infra-estrutura do transporte e seus veículos contribuem para as referidas ilhas de calor⁴.

Poluentes Sonoros

Essa forma de poluição é observada principalmente nos grandes centros urbanos. Os ruídos liberados pelos transportes por meio do funcionamento dos motores, vibração de peças, atrito das rodas com a via e sinais sonoros são exemplos de como os transportes contribuem para esse tipo de poluição.

Observa-se também que existem os ruídos provocados pelos terminais de carga que utilizam equipamentos auxiliares para movimentação de produtos na carga/descarga de veículos.

Poluentes Visuais

Elementos que promovem o desconforto espacial e visual daqueles que transitam pelos locais. Diz respeito ao uso e ocupação do solo pelos sistemas de transporte. Segundo Fogliatti *et al.* (2004), afetam a qualidade estética e interferem na privacidade das pessoas.

⁴ As grandes cidades que são “ilhas de calor”, pois retêm calor, aumentando a temperatura do ambiente nesses locais, em consequência da retirada da cobertura vegetal e do uso de materiais que absorvem grande quantidade de calor

Os sistemas de transporte em sua implantação e operação modificam e descaracterizam a paisagem local, impactando na vida não só das pessoas, mas da fauna e flora existentes.

Poluentes da água e solo por meio de resíduos sólidos e líquidos

No caso da água, compreende o lançamento em rios, lagos e oceanos de substâncias que se dissolvem ou ficam em suspensão na água ou depositadas sobre o fundo dos corpos d'água e se acumulam na medida em que eles interferem no funcionamento do ecossistema aquático. Também podem incluir a liberação de energia na forma radioativa e calor, como no caso da poluição térmica. Os contaminantes da água são substâncias químicas inorgânicas, substâncias químicas orgânicas, radionucleotídeos e microorganismos.

A poluição do solo e do subsolo envolve a deposição de resíduos sólidos (sucatas, latas, garrafas, recipientes plásticos, papel etc.) que não podem ser quebrados rapidamente ou, em alguns casos, não podem ser quebrados inteiramente pela ação de forças orgânicas e inorgânicas. Esse tipo de poluição também compreende a acumulação no solo de substâncias químicas nas formas sólidas ou líquidas que são prejudiciais à vida. No caso do transporte, essa poluição se dá pela emissão de substâncias nas formas sólidas ou líquidas, que são prejudiciais à vida e ao meio ambiente, como óleo, pneus, peças e partes de veículos etc.

2.3.6. Segurança

No caso específico dos produtos perigosos, além da agressão ao meio ambiente causada pela poluição oriunda da operação do transporte, existe outro agravante, que são os possíveis acidentes com a carga transportada. Por essa razão, a segurança foi abordada como mais um atributo de influência ambiental. Por conta da especificidade, essa influência é apresentada de forma mais detalhada.

Um acidente com produto perigoso é uma situação na qual o produto escapa para o ambiente que o rodeia. Destaca-se que um acidente com produtos perigosos pode ampliar os impactos ambientais citados anteriormente, poluindo atmosfera, solo, água e comprometendo o estado do meio ambiente.

Cunha (2009) apresenta uma comparação entre dados nacionais e internacionais, constatando que as instalações fixas brasileiras correspondem a 14,7% dos acidentes com produtos perigosos, os quais consistem no somatório de 11,1% da indústria e 3,6% do armazenamento. O mesmo autor cita que os acidentes no transporte de produtos perigosos correspondem a 69,8% e outros motivos somam 15,5% do total. Também relata que as ocorrências internacionais dos acidentes em instalações fixas correspondem a 54%, os acidentes no transporte correspondem a 41% e outros 5%.

Com base nessas informações, constata-se que o transporte é um dos grandes responsáveis pelos acidentes com produtos perigosos no Brasil e no mundo. Cunha (2009) apresenta também a participação dos modos de transporte nos acidentes. No Brasil, tem-se a seguinte distribuição: 83,9% rodoviário, 8,4% marítimo, 5,4% dutoviário e 2,3% ferroviário. Já a literatura estrangeira, segundo Cunha (2009), aponta que os acidentes por modo são divididos da seguinte forma: 37% ferroviário, 29% rodoviário, 18% dutoviário, 6% transporte marítimo, 4% navegações interiores e o restante ocorreu durante o carregamento e o descarregamento dos produtos químicos.

Essa comparação permite constatar que peculiaridade brasileira da divisão modal de transportes se estende para o caso dos produtos perigosos, ocasionando uma maior concentração de acidentes no modo rodoviário. Nos EUA, apesar da matriz de transporte ser mais equilibrada, o número de ocorrência por modo também aponta o transporte rodoviário como responsável pela maior parte dos acidentes, conforme Tabela 2.8, que mostra o histórico de ocorrências de acidentes com produtos perigosos nos EUA entre 1996 e 2005. Ressalta-se que essa não é uma medida relativa ao volume transportado, o que pode modificar a análise dos dados.

Um dado preocupante é o fato de não se ter uma medida precisa do quanto esses acidentes degradaram o meio ambiente, tanto no Brasil quanto nos EUA.

Tabela 2.8 - Acidentes com produtos perigosos nos EUA: Ocorrências por modo e ano

Modo	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	Total
Aéreo	0	1	3	2	3	2	2	0	0	9	22
Rodoviário	294	267	277	331	329	357	319	300	283	296	3053
Ferrovário	44	52	52	65	62	54	41	42	46	49	507
Aquaviário	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dutoviário	194	171	153	167	146	130	147	131	144	137	1520
Total	532	491	485	565	540	543	509	473	473	491	5102

Fonte: HAZMAT/DOT (2006).

Como a estatística a respeito de acidentes com produtos perigosos é escassa em âmbito nacional, apresentam-se a seguir as realizadas pela CETESB, referentes aos dados do Estado de São Paulo.

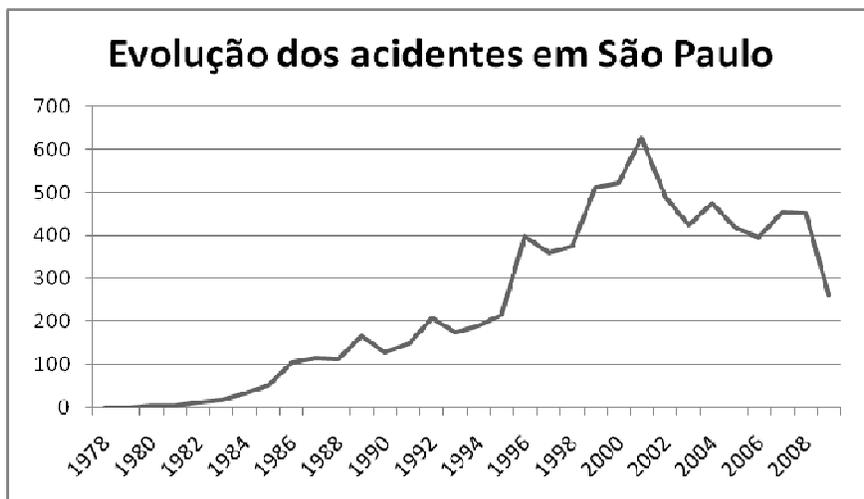
De 1978 a agosto de 2009, foram registrados em São Paulo 7859 acidentes (CETESB, 2009). Desse total, 48,9% são referentes a transporte, sendo que a maior parte das ocorrências é registrada no modo rodoviário, conforme Tabela 2.9.

Tabela 2.9 - Acidentes com produtos perigosos em São Paulo

Fonte	%
Armazenamento	2,5
Descarte	5,4
Indústria	7,2
Mancha Órfã	1,6
Nada Constatado	9,1
Não Identificada	5,3
Outras	11,2
Postos e Sistemas Retalhistas de Combustíveis	8,8
Transporte Ferroviário	1,2
Transporte Marítimo	4,6
Transporte por Duto	2,6
Transporte Rodoviário	40,5

Fonte: CETESB (2009)

Observando-se a evolução desde 1978, verifica-se um crescimento até o ano de 2001 no número de acidentes e, a partir desse ano, uma redução significativa até o ano de 2009, conforme Figura 2.1.



Fonte: CETESB (2009)

Figura 2.1 - Evolução dos acidentes no Estado de São Paulo

Analisando-se ainda as ocorrências de acidentes com produtos perigosos, observa-se que grande parte acontece na região metropolitana (50,5%), seguida pelo interior com 34,5% e pelo litoral com 15% dos acidentes.

Os acidentes por classe de risco apresentam destaque para os líquidos inflamáveis com 30,9% dos acidentes, devido à grande quantidade de combustíveis transportados. A Tabela 2.10 mostra o percentual de acidentes por classe de risco. Como o risco de acidentes com esses produtos vem crescendo consideravelmente devido ao aumento da produção e transporte dos mesmos, é cada vez mais necessária a escolha de um modo de transporte seguro e confiável.

Tabela 2.10 - Acidentes com produtos perigosos por classe de risco em São Paulo

Classe de risco	%
Gases	9,6
Líquidos Inflamáveis	30,9
Sólidos Inflamáveis	1,7
Oxidantes / peróxidos	1,1
Tóxicas / infectantes	2,3
Corrosivas	9,6
Substâncias perigosas diversas	5,3
Diversas	3,1
Não identificadas	17,2
Não Classificados	10,1
Nada Constatado	9,1

Fonte: CETESB (2009)

Analisando os acidentes por modo de transporte em uma série histórica de 1987 a agosto de 2009 (CETESB, 2009), observa-se que o modo de transporte que predomina no número de acidentes é o rodoviário, com uma média de 82% dos acidentes.

Analisando-se os acidentes por classe de risco e por modo, observa-se a predominância daqueles relacionados aos líquidos inflamáveis, com um valor bem maior que os apresentados na Tabela 2.11. Apenas o modo dutoviário apresenta predominância de ocorrência de acidente para o caso dos gases pelo fato de ser a maior quantidade desses produtos transportada por esse modo. Destacam-se também os acidentes com substâncias perigosas diversas para o caso do modo marítimo.

Tendo em vista que o transporte de carga no país concentra-se no modo rodoviário, é natural que a movimentação de produtos perigosos siga a mesma tendência e, conseqüentemente, o número de acidentes desse modo seja superior aos demais. O modo ferroviário se destaca no número de acidentes de líquidos e sólidos inflamáveis.

Tabela 2.11 – Percentual de acidentes com produtos perigosos por classe de risco e modo em São Paulo

Classe de risco	Rodoviário	Ferrovário	Marítimo	Dutoviário
Gases	8,5	2,2	1,1	59,7
Líquidos Inflamáveis	37,5	69,9	46,2	22,3
Sólidos Inflamáveis	2,9	10,8	0,3	0
Oxidantes / peróxidos	2,3	0	0,8	0
Tóxicas / infectantes	3,9	0	1,6	0
Corrosivas	19,3	2,2	2,2	0
Substâncias perigosas diversas	5,5	3,2	33,3	16
Diversas	3,2	3,2	0	0
Não identificadas	4,2	3,2	4,6	0
Não Classificados	12,8	5,4	9,8	1,9

Fonte: CETESB (2009)

Segundo a CETESB (2009), 78,62% dos acidentes acontecem nas rodovias e o restante (21,38%) em vias urbanas. A maioria dos casos apresenta contaminação do solo, conforme Tabela 2.12.

Tabela 2.12 – Contaminação por meio de acidentes com produtos perigosos no modo rodoviário

Contaminação/rodoviário	%
Solo	39,8
Ar	13,4
Fauna	1,2
Flora	3,8
Água	13,3
Não houve	28,4

Fonte: CETESB (2009)

Analisando-se a média de acidentes por mês ao longo do ano para o modo rodoviário, constata-se que existe um equilíbrio nas ocorrências, sendo que o mês de fevereiro apresenta a menor média pela diminuição do fluxo de carga nesse período.

No transporte ferroviário, 89,2 % dos acidentes acontecem na região metropolitana, seguidos de 7,5% no interior e 3,2% no litoral. Registra-se também que 84,9% dos acidentes acontecem na via férrea, enquanto que 15,1% são registrados nos pátios das estações. Na maioria dos casos, os acidentes da ferrovia são causados por descarrilamento (55,9%), por colisão (9,7%), 3,2% por falha operacional e o restante aplica-se a outras causas, sendo a consequência de maior ocorrência o vazamento de produtos (76,3%), conforme CETESB (2009).

No transporte dutoviário, a maior parte dos acidentes acontece na região metropolitana (71,4%), seguida pelo litoral com 16,5% e pelo interior com 12,1%.

2.4. Conclusão do capítulo

Com bases nas pesquisas realizadas, a avaliação de desempenho para a escolha modal do transporte de produtos perigosos deve ser feita de modo mais criterioso do que aquela praticada para o transporte de outros tipos de carga. Isso se deve pelo fato que essa atividade causa impactos ambientais comuns ao transporte e ao próprio produto, no caso de acidentes.

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. 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. 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. Os acidentes, além de estarem ligados às questões citadas, interferem em questões ambientais, o que justifica todo o aparelho de controle imposto pelo governo, as associações e os órgãos internacionais.

3. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO EM TRANSPORTE E ECOEFICIÊNCIA

O presente trabalho se apóia em dois pilares que são a avaliação de desempenho em transportes e a escolha modal. O primeiro será a base para se chegar a um resultado que permita a tomada de decisão quanto ao segundo.

Neste capítulo serão discutidos os conceitos relacionados à avaliação de desempenho em transporte e as abordagens e os componentes principais para a montagem de um método de escolha modal com base em avaliação de desempenho. Ao final é apresentado o conceito de ecoeficiência e como o mesmo se enquadra no tema deste trabalho.

3.1. Avaliação do desempenho em transportes

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).

As decisões em transportes estão relacionadas muitas das vezes ao dia-a-dia das operações. Entretanto, em outras ocasiões, interferem fortemente na forma como a empresa irá atuar no mercado, em como irá atender a seus clientes e em como irá competir com seus concorrentes.

O serviço de transporte envolve o atendimento da movimentação de cargas dentro de condições pré-estabelecidas. Um sistema de transporte deve atender ao desejo por movimentação com base nos níveis de serviço demandados. Para que se possa controlar e acompanhar o desempenho desses serviços, torna-se necessário estabelecer uma sistemática de avaliação que leve em consideração processos adequados aos objetivos estabelecidos. A avaliação de desempenho deve proporcionar visão do resultado dos esforços do transporte.

A avaliação de desempenho aplicada ao serviço de transporte é entendida como um conjunto de procedimentos que permite avaliar, analisar e descrever o atendimento a determinados requisitos da movimentação de pessoas e de bens, utilizando critérios pré-definidos e visando à melhoria desse serviço (Manheim, 1980; Morlok, 1980; D'Agosto, 1999).

A avaliação de desempenho pode trazer vantagem estratégica para as organizações que operam transporte de carga pelo fato de possibilitar medir os resultados da operação e de auxiliar na tomada de decisões (Leal Jr. e D'Agosto, 2008).

Oliveira *et al.* (2005) afirmam que a ferramenta de avaliação de desempenho deve propiciar subsídios que permitam comparar diversas bases de informações e deve refletir o real diagnóstico da situação, possibilitando identificar os pontos fortes da gestão, bem como os pontos fracos merecedores de maior atenção (Gasparetto *et al.*; 2003).

Segundo Leal Jr e Macedo (2004), apesar dos inúmeros trabalhos que tratam a avaliação de desempenho, não é possível observar um consenso quanto aos melhores métodos. Machado *et al.* (2006) chamam a atenção para a carência de ferramentas adequadas, com enfoque estruturado, para a avaliação de desempenho em transportes. Por isso, o desenvolvimento de um método com essa característica contribui para aprimorar o processo em questão.

Com o levantamento na literatura especializada, Bowersox e Closs (2001), Chopra e Meindl (2003), Christopher (1997), Dreyer (2000), Fontana *et al.* (2009), Gonçalves e Costa (2009), Granemann e Gartner (2000), Lambert e Pohlen (2001), Leal Jr e Macedo (2004), Martins *et al.* (2005), Mello *et al.* (2009), Oliveira e Cury (2004), Pacheco *et al.* (2008), Pereira (1983), Pereira Neto (2001), Pezerico (2002), Santana Filho (1984), SCC (2002), Silva e Leal Jr (2009), Silva Neves (2000), Tuzkaya e Onut (2008), perceberam-se alguns itens mais citados pelos autores com relação à avaliação de desempenho em transportes, os quais são detalhados a seguir.

Primeiramente, as ações para se avaliar o desempenho devem iniciar com um claro entendimento dos processos existentes e sua complexidade. A partir dessa compreensão, é possível avaliar o desempenho, que pode ser medido em níveis operacionais, táticos e estratégicos.

Para um melhor entendimento do processo avaliado, destaca-se o *benchmarking* como ferramenta. Conhecer as melhores práticas adotadas por outras organizações, identificar a posição da organização frente a um nível de desempenho ideal ou verificar se o atual é coerente com as necessidades requeridas constituem bases fortes para um modelo de avaliação de desempenho.

Em função do caráter sistêmico e integrado do serviço de transporte (Ballou, 2001), a avaliação do seu desempenho deve considerar o ponto de vista e a abrangência da avaliação e o nível da análise (Pereira, 1983; Santana Filho, 1984, 1992).

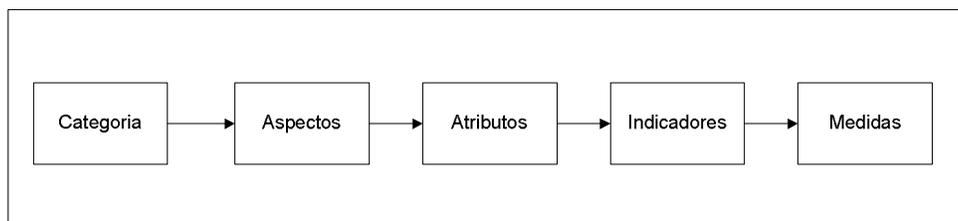
No que se refere ao ponto de vista da avaliação, este pode considerar o enfoque do embarcador, do transportador, da sociedade, do governo ou de qualquer outro elemento

do sistema de transporte. Cada um desses envolvidos no processo possui objetivos diferentes que podem alterar o resultado da avaliação.

A avaliação do desempenho pode ter um foco restrito ou considerar todo o sistema de transporte. A definição do foco estará associada aos objetivos da avaliação e ainda ao grau de complexidade que se quer imprimir no processo. É possível avaliar apenas uma simples operação de transferência de produtos de uma fábrica para um centro de distribuição ou ampliar a abrangência para toda a cadeia de suprimentos.

O nível de análise divide-se em: estratégico, que define como deve ser o sistema; tático, que analisa como o sistema pode ser eficiente; e operacional, que compreende a implementação do sistema (Novaes e Alvarenga, 1994; D'Agosto, 1999). Novaes e Alvarenga (1994) complementam essa idéia, citando que o planejamento de transporte inclui o conhecimento de elementos que se enquadram nos níveis apresentados e estão associados ao horizonte de tempo que se quer abranger.

Em função das abordagens apresentadas e para um melhor entendimento da avaliação de desempenho, se faz necessária a definição de alguns termos que são freqüentemente utilizados, mas que apresentam conceitos que variam dependendo da fonte utilizada e que muitas vezes são confundidos. A avaliação de desempenho em transportes é composta de categorias, aspectos, atributos, indicadores e medidas que possuem uma relação hierárquica entre si, conforme mostra a Figura 3.1.



Fonte: Elaboração própria (2009)

Figura 3.1 - Componentes conceituais da Avaliação de Desempenho em Transportes

A forma como se definem e identificam categorias, aspectos, atributos, indicadores e medidas de desempenho auxilia no estabelecimento dos critérios de avaliação de desempenho e apóia a escolha modal. A literatura especializada (Alegre, 2004; Novaes

e Alvarenga, 1994; Ballou, 2001; Chopra e Meindl, 2003; D'Agosto, 1999; Maximiano, 2000; Pereira, 1983; Santana Filho, 1984 e 1992) apresenta diferentes enfoques para esses conceitos. O entendimento de cada um deles fornece um melhor resultado na avaliação de desempenho em transporte. A seguir, cada um desses componentes é comentado.

3.1.1. Categorias

As categorias definem o foco que será dado à avaliação e que todo o processo deve levar em conta, em cada etapa desenvolvida. As três categorias normalmente utilizadas são: (1) Eficácia – está relacionada à produção de um efeito (resultado) desejado. Esse conceito não prevê a determinação dos recursos utilizados para o alcance do resultado. (2) Eficiência – considera a necessidade de determinar a dimensão dos recursos utilizados e dos resultados obtidos. A eficiência mede até que ponto os recursos disponíveis são utilizados de modo otimizado para a produção do serviço. A eficácia mede até que ponto os objetivos de gestão, definidos específica e realisticamente, foram cumpridos. (3) Efetividade – quando um determinado sistema alcança determinado resultado com utilização adequada de recursos. Nesse caso, considera-se a combinação da eficiência com a eficácia.

A avaliação de desempenho pode ser focada para apenas apurar o quão eficaz é o sistema ou o quanto de recurso foi utilizado para o alcance desse resultado. Também é possível ter como objetivo a avaliação em conjunto dessas duas categorias, ou seja, da efetividade.

3.1.2. Aspectos

Os aspectos orientam a perspectiva da avaliação e devem ser definidos após a definição das categorias com o entendimento do foco da avaliação. Os aspectos usualmente considerados são: (1) econômico-financeiro, que abrange questões que interferem no resultado monetário da empresa e (2) socioambiental, que considera questões de impactos sociais e ambientais causados pelos transportes, não necessariamente influenciando nos custos.

Observa-se que esses aspectos possuem *trade-offs*⁵ inerentes como nível de serviço *versus* custo ou ainda impactos ambientais *versus* geração de valor para o cliente. As categorias podem ser combinadas com os aspectos, o que permite a criação de modelos de avaliação de desempenho baseados em conceitos como o de ecoeficiência (WBCSD, 2000) que aborda a relação entre impactos ambientais e utilização de recursos.

3.1.3. Atributos

Um atributo é uma qualidade ou característica associada a um elemento e em transporte se refere a uma característica da rede, modo de transporte, tipo de operação etc. Os atributos são genéricos e podem representar idéias diferentes, dependendo de quem os interpreta.

Por meio da opinião de especialistas, os atributos a serem considerados para a tomada de decisão são levantados e ainda colocados em ordem de importância. Além disso, outras questões qualitativas e subjetivas podem ser trabalhadas por meio de técnicas como utilizada neste trabalho e apresentada no capítulo 4.

Os atributos representam os aspectos e constituem uma direção para a criação de indicadores que os irão representar preferencialmente de forma quantitativa. Para o transporte de carga, muitos são os atributos abordados pela literatura e os mais citados são apresentados na Tabela 3.1.

⁵ *Trade offs* são entendidas como trocas compensatórias

Tabela 3.1 - Atributos levantados por meio da pesquisa bibliográfica

Aspectos	Atributos	Unidades
Econômico-financeiros	Custo	Novaes, 2004; Chopra e Meindl, 2003; Pozo, 2004; Ballou, 2001; Bowersox e Closs, 2001; Tuzkaya e Önüt, 2008
	Receita	Fleury e Wanke, 2003; Bowersox e Closs, 2001; Pozo, 2004
	Segurança	Pozo, 2004; Ballou, 2001; Tuzkaya e Önüt, 2008
	Confiabilidade	Ballou, 2001; Tuzkaya e Önüt, 2008; Martins <i>et al.</i> , 2005
	Tempo	Chopra e Meindl, 2003; Pozo, 2004; Ballou, 2001; Fleury e Wanke, 2003; Bowersox e Closs, 2001; Tuzkaya e Önüt, 2008; Martins <i>et al.</i> , 2005;
	Flexibilidade	Fleury e Wanke, 2003; Tuzkaya e Önüt, 2008
	Capacidade	Pozo, 2004; Fleury e Wanke, 2003; Bowersox e Closs, 2001
Socioambientais	Consumo de Energia	Fleury e Wanke, 2003; Davis, 2000 <i>apud</i> Mattos, 2001; MME, 2006; Banister e Button, 1993 <i>apud</i> Silva, 2001; WBCSD, 2000; Kharel e Charmondusit, 2007; Michelsen <i>et al.</i> , 2005
	Emissão de Gases de Efeito Estufa	Fleury e Wanke, 2003; OCDE, 2000 <i>apud</i> Mattos, 2001; FHWA US DOT, 2005; MCT, 1999 <i>apud</i> Mattos, 2001; Banister e Button, 1993 <i>apud</i> Silva, 2001; WBCSD, 2000; MCT, 2003; BTS, 1998 <i>apud</i> Simões, 2003 ; WBCSD, 2000; Kharel e Charmondusit, 2007; Michelsen <i>et al.</i> , 2005
	Poluição Atmosférica	Fleury e Wanke, 2003; OCDE, 2000 <i>apud</i> Mattos, 2001; FHWA US DOT, 2005; MCT, 1999 <i>apud</i> Mattos, 2001; Banister e Button, 1993 <i>apud</i> Silva, 2001; WBCSD, 2000; MCT, 2003; BTS, 1998 <i>apud</i> Simões, 2003; WBCSD, 2000; Kharel e Charmondusit, 2007; Michelsen <i>et al.</i> , 2005
	Poluição da água e do solo	Banister e Button, 1993 <i>apud</i> Silva, 2001; WBCSD, 2000; Mattos, 2001; Kharel e Charmondusit, 2007; Michelsen <i>et al.</i> , 2005
	Poluição Sonora	Banister e Button, 1993 <i>apud</i> Silva, 2001; Mattos, 2001
	Consumo de Água	Banister e Button, 1993 <i>apud</i> Silva, 2001; WBCSD, 2000; Mattos, 2001; Kharel e Charmondusit, 2007; Michelsen <i>et al.</i> , 2005
	Poluição Térmica	Banister e Button, 1993 <i>apud</i> Silva, 2001; Mattos, 2001
	Poluição Visual	Banister e Button, 1993 <i>apud</i> Silva, 2001; Mattos, 2001
Consumo de Material	Banister e Button, 1993 <i>apud</i> Silva, 2001; Mattos, 2001; Fogliatti <i>et al.</i> , 2004	

Fonte: Elaboração própria (2009)

Alguns desses atributos econômico-financeiros são encontrados na literatura com nomenclatura diferente ou definidos de forma parecida, causando confusão entre aqueles que se dedicam a estudá-los. Por isso, torna-se necessária a definição de cada um dos atributos, observando-se as contradições e as semelhanças de conceitos encontradas na bibliografia.

Custo

Esse atributo é um dos mais citados pela literatura e normalmente considerado um dos mais importantes no grupo dos econômico-financeiros. Praticamente todos os outros atributos podem ser transformados em custos para o transporte. Dependendo do ponto

de vista de quem faz a avaliação, esse atributo pode ter diferentes conceitos. Do ponto de vista do transportador, os custos compreendem os custos médios totais de transporte (fixos e variáveis) mais as taxas adicionais (impostos, seguros etc). Do ponto de vista do usuário/clientes, os custos são os valores de frete, que representam a receita recebida pelos transportadores.

Receita

A receita é um atributo considerado sob o ponto de vista financeiro e, combinado com o custo, traz o resultado líquido dos esforços da organização. Neste trabalho, cabe reforçar que o custo de transporte para os usuários é a receita do transportador.

A receita pode ser bruta, quando engloba todo o valor ganho pela empresa referente ao serviço de transporte prestado, ou líquida, quando não são considerados os impostos, uma vez que estes podem variar dependendo da atividade, carga, região e estado.

A receita pode ser também em função do trabalho de transporte que leva em consideração as distâncias percorridas e a carga transportada em volume (litros ou m³) ou quantidade (toneladas, quilos etc).

Confiabilidade

A confiabilidade refere-se ao número de serviços de transporte comprometidos por perdas e danos como avarias, extravios e não conformidades ocorridas com a carga, não resultante de acidentes. Esse atributo também é apresentado pela literatura como perdas e danos e freqüentemente confundido com problemas de variabilidade de tempo de entrega, sendo o último um indicador relacionado ao atributo tempo.

Segurança

A segurança refere-se à garantia de um transporte sem acidentes e pode interferir diretamente em outros atributos, como custo e confiabilidade. Em alguns casos, a segurança tem impacto em atributos socioambientais pelas características da carga que podem causar danos ao meio ambiente, à saúde e à vida das pessoas.

Tempo

Esse atributo é freqüentemente considerado, combinado com a distância percorrida na forma de velocidade que se relaciona ao tempo médio gasto no percurso da origem até o destino, considerando o deslocamento porta a porta. Também se associa com a capacidade de cumprir os tempos previstos, referindo-se à variação de tempo (máximo e mínimo) em relação ao tempo médio.

Flexibilidade

A flexibilidade é a possibilidade de um determinado modo de transporte trabalhar com diferentes variedades e volumes de cargas. Modos com maiores capacidade de carga podem possuir maior flexibilidade, desde que os veículos e os terminais sejam apropriados para tal.

Capacidade

Esse é um atributo que se relaciona inversamente com a freqüência, que, em uma definição ampla, é o número de vezes em que o modo de transporte pode ser utilizado em dado horizonte de tempo. A capacidade é definida como a possibilidade de um determinado modo de transporte trabalhar com diferentes volumes de produtos, o que vai ao encontro da definição de flexibilidade apresentada. O conceito de capacidade mais adequado relaciona-se à quantidade máxima que um modo de transporte, por meio de todo o seu sistema, pode produzir de serviço de transporte.

Para o método de avaliação de desempenho proposto neste trabalho, a capacidade deve ser considerada como um pré-requisito. Avalia-se um modo de transporte em relação ao outro, considerando que todos possuem a capacidade necessária para a quantidade de carga a ser movimentada.

Outro atributo que se relaciona à capacidade, encontrado na literatura pesquisada, é a disponibilidade, que pode ser entendida como a facilidade de acesso aos serviços de transporte oferecidos em uma dada localidade onde o modo se encontra presente. Uma vez que haja a disponibilidade, a capacidade do sistema deve ser avaliada.

Os atributos socioambientais estão relacionados aos impactos ambientais dos transportes já apresentados no capítulo 2: Consumo de Energia, Emissão de Gases de

Efeito Estufa, Poluição Atmosférica, Poluição da Água e do Solo, Poluição Sonora, Consumo de Água, Poluição Térmica, Poluição Visual e Consumo de Material.

3.1.4. Indicadores

Os indicadores representam de forma específica, e preferencialmente quantitativa, os atributos de desempenho com o objetivo de possibilitar a criação de medidas e a sua comparação com metas numéricas pré-estabelecidas (FPNQ, 2004).

Para estabelecimento dos indicadores, os mesmos devem ser: facilmente compreensíveis e definíveis; de fácil obtenção; mensuráveis a partir de dados disponíveis; metodologicamente corretos; de fácil comparação com referenciais e aceitáveis pelas partes envolvidas.

Os indicadores podem representar as categorias de avaliação de aspectos específicos de desempenho, sendo de eficiência e/ou eficácia. Cada indicador expressa o nível do desempenho efetivamente atingido, tornando direta e transparente a comparação entre objetivos desejados e resultados obtidos.

No caso do serviço de transporte, a análise criteriosa e o monitoramento dos indicadores devem identificar os aspectos críticos, objetivando melhorar o desempenho do sistema. A Tabela 3.2 apresenta uma seleção de indicadores associados aos seus atributos.

Por meio dos indicadores, é possível controlar e monitorar as atividades das empresas visando à garantia de melhor utilização dos recursos e o alcance de resultados. Os indicadores podem ser utilizados para formar medidas para atributos.

3.1.5. Medidas

Medidas são combinações de indicadores que representam de forma coerente, por relações lógicas e/ou matemáticas, os atributos do sistema cujo desempenho se está analisando.

Por si só, os indicadores não representam resultados relativos, sendo difícil a comparação entre os mesmos. Assim, atributos podem ser medidos por meio de

indicadores que dão origem a medidas. A Tabela 3.2 apresenta uma seleção de medidas associadas a indicadores, atributos e aspectos.

Pezerico (2002) cita que um dos papéis da avaliação de desempenho é o de atribuir notas ao desempenho por meio de comparação a padrões. As medidas devem possibilitar que o avaliador identifique os desvios em relação aos padrões estabelecidos de modo que possam ser tomadas ações para correção ou prevenção de problemas.

Moreira (1996 *apud* Pezerico 2002) estabelece que as medidas de desempenho devem ser confiáveis, válidas, relevantes e consistentes. Essas qualidades devem ser levadas em consideração no estabelecimento de medidas em um processo de avaliação.

De acordo com Neely *et al.* (1995), a medição de desempenho define-se como o processo de quantificação da eficácia e da eficiência de uma ação, sendo que as medidas de desempenho são as métricas utilizadas para tal quantificação. O conjunto dessas métricas compõe os sistemas de medição de desempenho.

Tabela 3.2 - Aspectos, atributos, indicadores e medidas usualmente aplicados ao serviço de transporte^{(1), (2)}

Aspectos	Atributos	Indicadores	Unidades	Medidas ⁽³⁾	Unidades
Econômico-financeiros	Custo	Despesa total de operação	US\$	Despesa total de operação/Distância percorrida Despesa total de operação/Quantidade transportada	US\$/km US\$/t
	Receita	Receita total com operação	US\$	Receita total com operação/Distância percorrida Receita total com operação/Quantidade transportada	US\$/km US\$/t
	Segurança	Número de acidentes com a carga transportada Custo total com acidentes	qtd US\$	Número de acidentes com a carga transportada/Período de tempo Custo total com acidentes/Número de acidentes com a carga transportada	qtd/ano US\$/qtd
	Confiabilidade	Número de pedidos sem avaria Quantidade avariada Número de pedidos atrasados Número total de pedidos Custos com perdas e danos Variação do tempo de entrega	qtd t qtd qtd US\$ h	Número de pedidos sem avaria/Número total de pedidos Quantidade avariada/Quantidade transportada Número de pedidos atrasados/Número total de pedidos Variação do tempo de entrega/Tempo médio de entrega Custo com perdas e danos/Despesa total de operação	Adimensional Adimensional Adimensional Adimensional
	Tempo	Distância percorrida Tempo total de entrega Tempo máximo de entrega Tempo médio de entrega Período de tempo Tempo médio de entrega	km h h h dia, mês, ano h	Distância percorrida/Tempo total de entrega Tempo total de entrega/Número total de pedidos Tempo máximo de entrega/Tempo médio de entrega	km/h h/qtd Adimensional
	Flexibilidade	Número de produtos transportados Variação do número de pedidos	qtd qtd	Número de produtos transportados/Número de veículos em operação Variação do número de pedidos/Período de tempo	Adimensional qtd/dia
	Capacidade	Quantidade transportada Número de viagens realizadas ⁽⁴⁾ Número de veículos em operação Demanda do produto Capacidade do veículo ⁽⁴⁾ Número de localidades em que o veículo se encontra presente ⁽⁴⁾ Número total de pedidos	t qtd qtd t t qtd qtd	Quantidade transportada/Número de viagens realizadas Quantidade transportada/Número de veículos disponíveis em operação Quantidade transportada/Distância percorrida Número de viagens realizadas/Período de tempo Demanda do produto/Número de veículos disponíveis em operação x capacidade do veículo Demanda do produto/Número de localidades que o veículo se encontra presente	t/qtd t/qtd t/km qtd/dia Adimensional t/qtd

Aspectos	Atributos	Indicadores	Unidades	Medidas ⁽³⁾	Unidades
Socioambientais	Consumo de Energia	Consumo total de energia ⁽⁵⁾⁽⁶⁾ Consumo total de energia renovável ⁽⁷⁾	MJ MJ	Consumo total de energia/Distância percorrida Consumo total de energia/Quantidade transportada Consumo total de energia/Distância percorrida	MJ/km MJ/t MJ/km
	Emissão de Gases de Efeito Estufa	Emissão de CO ₂ Emissão de vapor de H ₂ O Emissões de metano Emissões de CFC Emissão total de GEE	kg kg kg kg kg	Emissão de CO ₂ /Distância percorrida Emissão de CO ₂ /Quantidade transportada Emissão de vapor de H ₂ O/Distância percorrida Emissão de vapor de H ₂ O/Quantidade Transportada Emissões de metano/Distância percorrida Emissões de CFC/Quantidade transportada Emissão total de GEE/Distância percorrida	kg /km kg/t kg/km kg/t t/km kg/t kg/km
	Poluição Atmosférica	Emissão de hidrocarbonetos Emissão de Aldeídos Emissão de CO Emissão de N ₂ O Emissão de gases acidificantes (SO _x , NO _x) Emissão de materiais particulados	kg kg kg kg kg kg	Emissão de hidrocarbonetos/Distância percorrida Emissão de Aldeídos/Quantidade transportada Emissão de CO/Distância percorrida Emissão de N ₂ O/Quantidade Transportada Emissão de materiais particulados/Distância percorrida Emissão de gases acidificantes (SO _x , NO _x)/Distância percorrida	kg /km kg/t kg/km kg/t t/km t/km
	Poluição da água e do solo	Quantidade descartada de óleo de motor na manutenção	l	Quantidade descartada de óleo de motor/Distância percorrida	l/km
	Poluição Sonora	Intensidade total de ruído emitido pelos escapamentos dos veículos ⁽⁴⁾ Intensidade total de ruído emitida por aparelhos sonoros dos veículos ⁽⁴⁾ Intensidade de ruído do motor Intensidade média de ruído emitida por motores	Db Db Db Db	Intensidade total de ruído emitido pelos escapamentos dos veículos + Intensidade total de ruído emitida por aparelhos sonoros dos veículos + Intensidade de ruído do motor Intensidade de ruído do motor/Intensidade média de ruído emitida por motores	Db Adimensional
	Consumo de Água	Consumo de água em operação Volume de água reutilizado	l l	Consumo de água em operação/Distância percorrida Consumo de água em operação/ Período de tempo Consumo de água em operação/Volume de água reutilizado	l/km l/dia Adimensional
	Poluição Térmica	Quantidade de calor liberado Volume de efluentes superaquecidos descarregados no ambiente aquático	MJ m ³	Quantidade de calor liberado/Distância percorrida Volume de efluentes superaquecidos descarregados no ambiente aquático/Quantidade transportada	MJ/km m ³ /t
	Poluição Visual	Espaço ocupado pela infra-estrutura do modo de transporte Área total disponível	km ² km ²	Espaço ocupado pela infra-estrutura do modo de transporte/Área total disponível	Adimensional
	Consumo de Material	Quantidade descartada de peças de reposição Consumo de aço, plástico e borracha na fabricação	kg kg	Quantidade descartada de peças de reposição/Quantidade transportada Consumo de aço, plástico e borracha na fabricação/Quantidade transportada	kg/t l/km kg/t

Notas: (1) A tabela apresenta uma estrutura genérica para avaliação do transporte de carga, por isso os indicadores não se aplicam especificamente a todos os modos; (2) Os indicadores de atributos diferentes podem ser combinados para formar medidas específicas (por exemplo: distância percorrida, quantidade transportada etc); (3) Não há intenção do autor em listar todos os indicadores possíveis; (4) Exceto para dutos; (5) Considera-se a soma de energia renovável e não renovável; (6) Para muitos casos, são considerados combustíveis derivados de petróleo (diesel e gasolina) e gás natural; (7) No Brasil, é possível usar o bioetanol de cana-de-açúcar, o biodiesel e o hidroeletricidade

Por se tratar de um sistema dinâmico e integrado, um processo de avaliação de desempenho em transporte deve estar em constante revisão e aperfeiçoamento. Para o início da elaboração de um modelo de avaliação, Lambert e Pohlen (2001), Dreyer (2000) e Chopra e Meindl (2003) enfatizam a importância de um claro entendimento da sua complexidade.

Brewer e Speh (2001) complementam, recomendando que o processo de avaliação se inicie pequeno, com poucos indicadores de baixa complexidade. Essa recomendação leva aos avaliadores a montarem projetos-piloto e assim poderem ampliar a abrangência da avaliação de uma forma consistente e coerente à medida que se entende melhor todo o processo.

Outro item a ser considerado é a identificação dos níveis individuais de desempenho de cada atributo para cada alternativa e a necessidade de uma posterior agregação para se obter níveis de desempenho globais e assim poder realizar comparações. Neste trabalho, enquadram-se as técnicas de auxílio multicritério que serão apresentadas no capítulo 4.

A contemplação da combinação de modos de transporte, a intermodalidade, como alternativa para escolha modal, em vez de se considerar que existem apenas os modos individuais para serem avaliados, foi outro item citado nas referências pesquisadas. Para o caso de certos produtos perigosos que apresentam a necessidade de transporte de grandes volumes por grandes distâncias, como os combustíveis, essa é uma consideração pertinente.

3.2. Ecoeficiência

Ao se avaliar o desempenho sob o enfoque tradicional, costuma-se privilegiar aspectos econômico-financeiros em detrimento dos socioambientais. Tradicionalmente as organizações têm a idéia de que considerar questões ambientais aumenta os custos, o que prejudica o desempenho econômico. O conceito de ecoeficiência vem ao encontro desses conceitos, mostrando que é possível combinar as idéias antagônicas de desempenho econômico-financeiro e de redução de influências ambientais⁶.

⁶ Conforme conceito da ecoeficiência, impactos ambientais passam a se chamar influências ambientais.

Odum (1998) relata que alcançar a sustentabilidade implica caminhar rumo ao desenvolvimento sustentável. Esse conceito surgiu da constatação de que a capacidade assimilativa dos ecossistemas e da regeneração dos recursos naturais ocorre a taxas incompatíveis com o acelerado desgaste imposto à natureza, inspirando o surgimento do novo conceito de desenvolvimento, também conhecido como desenvolvimento sustentável.

O conceito de desenvolvimento sustentável adaptado ao enfoque empresarial é uma forma de gestão que combina competitividade e desenvolvimento sustentável e, segundo o WBCSD (2000), ecoeficiência é a entrega de bens e serviços a preços competitivos que satisfaçam as necessidades humanas e que resultam em melhor qualidade de vida, enquanto progressivamente reduz as influências ambientais e a intensidade do uso dos recursos em todas as etapas do ciclo de vida do produto ou serviço até um nível pelo menos de acordo com a estimada capacidade do planeta.

A combinação eficiente entre as atividades econômicas e o meio ambiente parece ilusória na prática, em particular quando se considera ganho financeiro e reduções das influências ambientais (Walley e Whitehead, 1994). Segundo Frota Neto *et al.* (2009), as questões de como conciliar aspectos ambientais e econômicos e quais *trade-offs* estão envolvidas devem ser respondidas. No caso dos transportes, essas questões são pertinentes para se buscar a adequada escolha modal. As soluções nas quais é possível diminuir os danos ao meio ambiente e melhorar a qualidade ambiental sem aumentar os custos são chamadas ecoeficientes, pois conciliam o bom desempenho em três dimensões: meio ambiente, economia e sociedade.

No setor de transporte de cargas, é possível aplicar esses conceitos e conciliar as questões econômicas com as ambientais. Um transportador pode, por exemplo, melhorar o desempenho de seus veículos, reduzindo consumo de combustível, contribuindo para menores emissões de CO₂ e conseqüentemente reduzindo seus custos.

Na literatura pesquisada, há carência de referências que relacionam o conceito de ecoeficiência especificamente ao transporte, sendo ainda um campo vasto para exploração do assunto.

Observando-se as referências pesquisadas, Schmidt e Schwegler (2008), Michelsen *et al.* (2005), English *et al.* (2006), Tsoulfas e Pappis (2005), Jollands *et al.* (2004), D’Agosto e Ribeiro (2004), Becken (2007), Saari *et al.* (2006), Frota Neto *et al.* (2009) e Mickwitz *et al.* (2005), percebe-se uma forte aplicação dos conceitos de ecoeficiência genericamente no contexto da cadeia de suprimentos ou para auxiliar questões ambientais de regiões ou ainda em processos produtivos. Apesar de algumas referências específicas que abordam a utilização da ecoeficiência especificamente nos transportes (Varig, 2002; Salgado, 2007; D’Agosto e Ribeiro, 2004; VALE, 2007; Silva, 2004), estas, geralmente, aparecem como mais um setor dentre muitos. Nesta pesquisa, não foram encontradas fontes que abordam a ecoeficiência para a avaliação de desempenho dos modos de transporte e também da escolha modal, o que se ressalta como importante contribuição do presente trabalho.

A abordagem da ecoeficiência enfoca a utilização adequada de recursos materiais e energéticos com o sentido de se reduzir custos e/ou de se maximizar lucros. Neste trabalho, o conceito de ecoeficiência fornece a base para a escolha dos atributos de desempenho, contribuindo para uma visão ambiental na avaliação de desempenho para a escolha do modo de transporte (WBCSD, 2000). Essa escolha visa a inserir a atividade de transporte e sua avaliação no contexto do desenvolvimento sustentável.

O Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável (*World Business Council for Sustainable Development* – WBCSD) desenvolveu um conceito que, ao unir melhorias ambientais e econômicas, pudesse “criar um negócio a partir do desafio da sustentabilidade”. Surgiu então o conceito de ecoeficiência que reúne os aspectos essenciais – progresso econômico e ambiental – necessários para o aumento da prosperidade econômica, a partir da utilização mais eficiente dos recursos e de menos influências nocivas para o ambiente (Salgado, 2007).

A ecoeficiência também pode ser entendida como a habilidade de simultaneamente atingir os objetivos de produção e de 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 (EPA, 2002).

Segundo o WBCSD (2000), a ecoeficiência é alcançada mediante o fornecimento de bens e serviços a preços competitivos que satisfaçam as necessidades humanas e tragam qualidade de vida, ao mesmo tempo em que reduz progressivamente o impacto ambiental e o consumo de recursos ao longo do ciclo de vida, em um nível, no mínimo, equivalente à capacidade de sustentação estimada da Terra (Salgado, 2007).

De acordo com BCDS Portugal (2007 *apud* Salgado, 2007), a ecoeficiência é uma filosofia de gestão que encoraja as empresas a procurarem melhorias ambientais que potenciem, paralelamente, benefícios econômicos. Concentra-se em oportunidades de negócio e permite às empresas tornarem-se mais responsáveis do ponto de vista ambiental e mais lucrativas. Incentiva a inovação e, por conseguinte, o crescimento e a competitividade. A inserção de práticas ecoeficientes na empresa é uma forma de ultrapassar o desempenho da concorrência.

Ainda segundo BCDS Portugal (2007 *apud* Salgado, 2007), para que a ecoeficiência seja atingida, é necessário que três conceitos básicos sejam aplicados: (1) Redução do consumo de recursos – inclui minimizar a utilização de energia, materiais, água e solo, favorecendo a reciclabilidade e a durabilidade do produto e fechando o ciclo de materiais; (2) Redução do impacto na natureza – inclui a minimização das emissões gasosas, descargas líquidas, eliminação de desperdícios e a dispersão de substâncias tóxicas, assim como promover a utilização sustentável de recursos renováveis e (3) Melhoria do valor do produto ou serviço – o que significa fornecer mais benefícios aos clientes, pela funcionalidade, flexibilidade e modularidade do produto, fornecendo serviços adicionais e concentrando-se em vender necessidades funcionais de que, de fato, os clientes necessitam, o que levanta a possibilidade do cliente receber a mesma necessidade, com menos materiais e menor utilização de recursos.

A ecoeficiência gera vantagens para as empresas, seus clientes e a comunidade em que está inserida. O CEBDS (2008) lista alguns desses benefícios: (1) Redução de custos devido à otimização do uso de recursos e da redução de capital destinado à infraestrutura; (2) Minimização do dano ambiental pela redução dos riscos e de responsabilidades derivadas; (3) Melhoria nas condições de segurança e saúde ocupacional; (4) Maior eficiência e competitividade, favorecendo a inovação; (5) Melhoria da imagem e aumento da confiança das partes interessadas (*stakeholders*); (6)

Melhor relacionamento com os órgãos ambientais, com a comunidade do entorno e com a mídia.

Todas as ações desenvolvidas pelas organizações devem ser monitoradas e controladas para posterior verificação do atendimento dos objetivos. A necessidade de se medir e quantificar a ecoeficiência resulta na inserção dos termos indicadores e das medidas de ecoeficiência. A coleta de informações e dados para o desenvolvimento de indicadores de ecoeficiência é uma etapa pertinente ao processo de avaliação de desempenho empresarial e conseqüentemente da atividade de transporte de carga.

De acordo com Salgado (2007), a identificação dos indicadores é uma etapa de valor significativo no processo, uma vez que a meta da ecoeficiência é aprimorar o desempenho de um empreendimento e monitorar sua evolução por meio de dados que sejam transparentes, capazes de serem obtidos e possam ser transformados em informações significativas tanto para o gerenciamento interno do empreendimento como para os agentes externos interessados.

Segundo Verfaillie e Bidwell (2000), os indicadores de ecoeficiência para serem aplicados devem ser relacionados aos valores globais dos negócios ou a questões ambientais globais, relevantes para todos os tipos de empresas e com métodos definidos para medição. Os indicadores de ecoeficiência podem ser gerais e usados para todas as atividades de negócios, ou específicos para um determinado setor. No estabelecimento de indicadores, têm-se os relacionados a valor de produtos/serviços produzidos ou vendidos que pode ser tanto em função de valores monetários quanto por quantidade/volume de produtos vendidos.

Existem também os indicadores referentes aos atributos de influências ambientais, tais como: consumo de energia, consumo de água, consumo de materiais, emissões de gases causadores de efeito estufa, emissões de substâncias que podem degradar a camada de ozônio etc.

Da mesma forma, são estabelecidos indicadores específicos em que cada empresa avalia o seu próprio negócio e determina indicadores próprios às suas atividades. Estes são menos abrangentes na sua aplicabilidade, porém, não são necessariamente menos

importantes que os de aplicação geral. Também são chamados de complementares por serem selecionados com base nas necessidades da empresa. São exemplos desses indicadores: total de perdas e rejeitos gerados em uma atividade, número de acidentes e emissões fugitivas de gases poluentes.

O WBCSD (2000) recomenda alguns princípios na determinação dos indicadores relevantes para a empresa. São eles: (1) Ser relevante e significativo quanto à proteção do meio ambiente, à saúde humana e/ou aprimoramento da qualidade de vida; (2) Informar aos tomadores de decisão como melhorar o desempenho do empreendimento; (3) Reconhecer a diversidade intrínseca de uma atividade particular; (4) Amparar a elaboração de metas e seu monitoramento; (5) Ser claramente definido, capaz de ser medido, ter transparência e ser criticável; (6) Ser compreensível e significativo a todos os grupos interessados no empreendimento (internos e externos); (7) Ser baseado numa avaliação das atividades do empreendimento, incluindo produtos e/ou serviços, com foco nas áreas sob gerenciamento direto; (8) Reconhecer aspectos relevantes relacionados às atividades externas ao empreendimento, envolvendo fornecedores e cliente.

O WBCSD (2000) apresenta uma metodologia para avaliação da ecoeficiência que pode ser usada para medir a sustentabilidade econômica e ambiental. Para determinar a ecoeficiência em transportes, este trabalho propõe uma estrutura, baseada em WBCSD (2000), composta de aspectos, atributos e indicadores conforme a Tabela 3.3. Cada aspecto é composto de um conjunto de atributos que por sua vez são compostos por indicadores, os quais podem ser usados para construir medidas de ecoeficiência. Nota-se que os termos utilizados pelo WBCSD foram adaptados para a terminologia adotada neste trabalho, descrita nas seções anteriores.

Tabela 3.3 - Aspectos, atributos e indicadores relacionados ao conceito de ecoeficiência.

Aspectos	Atributos	Indicadores	Unidade
Valor do Serviço	Valor Monetário	Valor monetário da carga transportada Receita de frete recebida Receita líquida	US\$ US\$ US\$
	Serviço Produzido	Distância Percorrida Quantidade Transportada Volume transportado Momento de transporte	km t m ³ t.km
Influências Ambientais	Consumo de Energia	Consumo total de energia Consumo total de energia renovável	MJ MJ
	Segurança ⁽¹⁾	Número de acidentes com a carga transportada Custo total com acidentes	qtd US\$
	Emissão de Gases de Efeito Estufa	Emissão de CO ₂ Emissão de vapor de H ₂ O Emissões de metano Emissões de CFC Emissão total de GEE	kg kg kg kg kg
	Poluição Atmosférica	Emissão de hidrocarbonetos Emissão de Aldeídos Emissão de CO Emissão de N ₂ O Emissão de gases acidificantes (SO _x , NO _x) Emissão de materiais particulados	kg kg kg kg kg kg
	Poluição da Água E Do Solo	Quantidade descartada de óleo de motor na manutenção	l
	Poluição Sonora	Intensidade total de ruído emitido pelos escapamentos dos veículos Intensidade total de ruído emitida por aparelhos sonoros dos veículos Intensidade de ruído do motor Intensidade média de ruído emitida por motores	Db Db Db Db
	Consumo de Água	Consumo de água em operação Volume de água reutilizado	l l
	Poluição Térmica	Quantidade de calor liberado Volume de efluentes superaquecidos descarregados no ambiente aquático	MJ m ³
	Poluição Visual	Espaço ocupado pela infra-estrutura do modo de transporte Área total disponível	km ² km ²
	Consumo de Material	Quantidade descartada de peças de reposição Consumo de aço, plástico e borracha na fabricação	kg kg

Notas: (1) A segurança foi incluída como atributo de influência ambiental devido aos danos ao meio ambiente causados pelo derrame ou vazamento de produtos perigosos.

Fonte: Elaborado pelo autor com base na Tabela 3.2 e a partir WBCSD (2000)

A utilização dos indicadores de ecoeficiência gera medidas específicas baseadas na relação de valor do produto ou serviço com a influência ambiental. As medidas que representam a ecoeficiência podem ser expressas a partir de duas relações distintas (Salgado, 2007).

A primeira relação é representada pela equação 3.1, conforme WBCSD (2000), e a segunda, pela equação 3.2 proposta pelo *Working Group of International Standards and Accounting Reports* – ISAR/UNCTAD (Salgado, 2007).

$$\text{Ecoeficiên cia} = \frac{\text{Valor do produto ou serviço}}{\text{Influência s ambientais}} \quad (3.1)$$

$$\text{Ecoeficiên cia} = \frac{\text{Influência s ambientais}}{\text{Valor do produto ou serviço}} \quad (3.2)$$

Segundo Salgado (2007), o WBCSD recomenda a utilização da equação 3.1, pois, deste modo, um aumento reflete uma melhoria positiva no desempenho e seu resultado representa a eficiência, visto que leva em consideração o quanto se produz (valor do produto ou serviço) sobre os recursos utilizados representados pelas influências ambientais. De forma inversa, o ISAR/UNCTAD recomenda a equação 3.2, na qual os indicadores representarão a intensidade ambiental do impacto. Considerando o conceito de eficiência apresentado neste capítulo, somente é possível utilizar a equação 3.1, uma vez que a equação 3.2 não representa eficiência.

Com base no exposto, podem ser propostas medidas de ecoeficiência para o transporte de carga, aplicadas ao processo de avaliação de desempenho para 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.

3.3. Conclusão do capítulo

A avaliação de desempenho em transportes é uma ferramenta que apóia a tomada de decisão quanto à escolha modal, podendo ser empregada na proposição de um método para essa finalidade. Muitas são as abordagens sobre avaliação de desempenho para a cadeia de suprimentos e logística. Em transporte, porém, encontram-se métodos mais estruturados para o transporte de passageiros, existindo uma aparente carência destes na área de transporte de carga.

Apesar da grande quantidade de abordagens citadas neste capítulo, não se encontrou algo em um nível de estruturação que facilite o uso de um procedimento que oriente a avaliação de desempenho em transporte.

O entendimento dos componentes da avaliação de desempenho em transportes é necessário para que esta seja usada na elaboração de um método de escolha modal. O encadeamento dos conceitos apresentados serve de base para uma estrutura de avaliação coerente.

Na literatura consultada, encontra-se confusão de conceitos entre os termos atributos, indicadores e medidas. Neste capítulo, buscou-se a padronização dos termos de modo a facilitar o entendimento dos interessados no tema.

O conceito de ecoeficiência promove uma contribuição à área de avaliação de desempenho em transportes por meio de uma abordagem específica que a princípio está principalmente associada ao contexto dos sistemas de produção, sendo perfeitamente possível adequá-la ao contexto do transporte de carga.

A literatura pesquisada mostra que a utilização do conceito de ecoeficiência na avaliação do desempenho de transporte pode trazer vantagem para transportadores, usuários e sociedade, contribuindo para o desenvolvimento sustentável.

4. METODOLOGIA ADOTADA NO TRABALHO

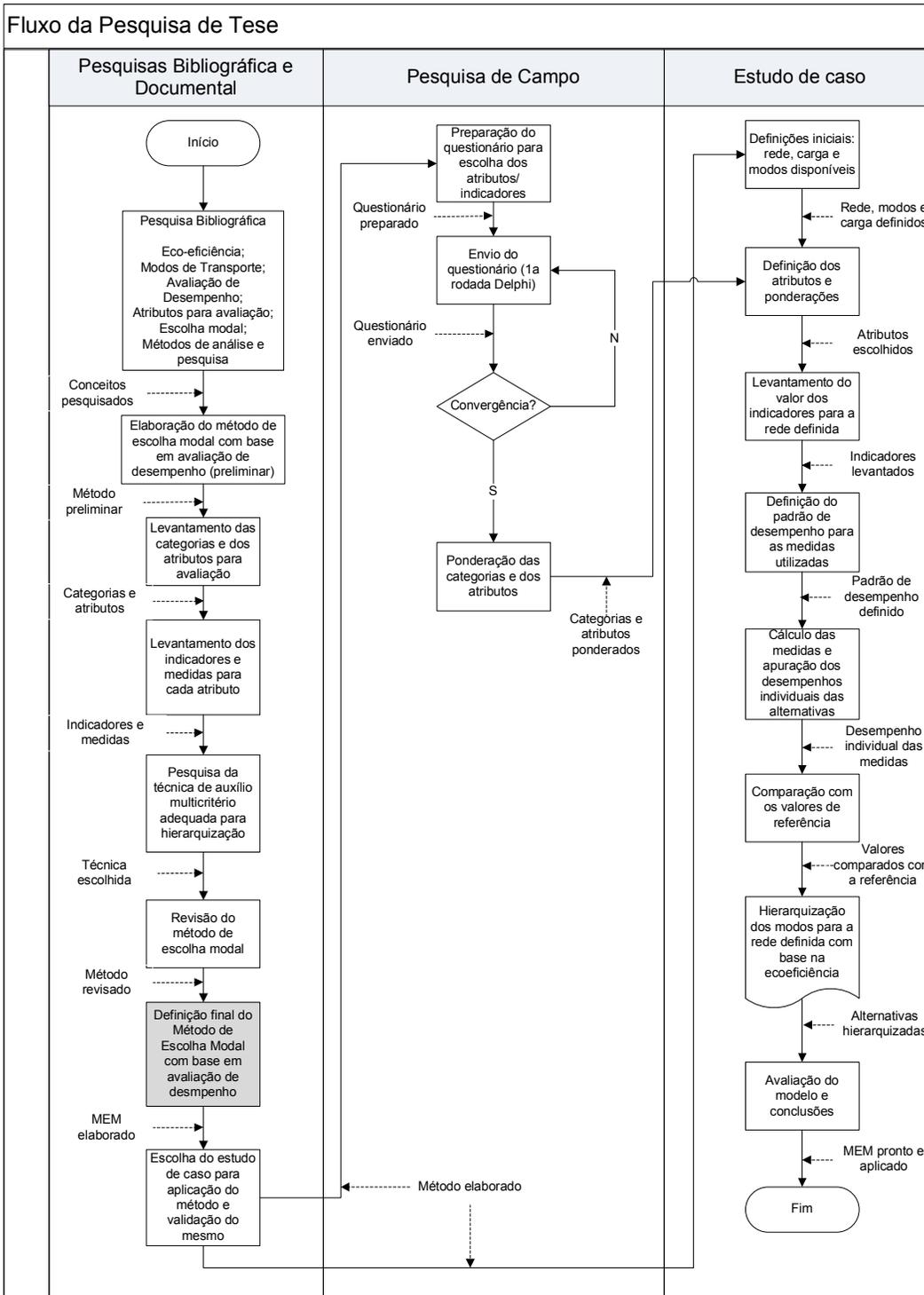
Para a realização deste trabalho, pesquisou-se a metodologia mais adequada para a resolução da problemática e para o atendimento dos objetivos propostos. Segundo Gil (1991), a pesquisa tem um caráter pragmático e é um processo formal e sistemático de desenvolvimento do método científico. Para Silva e Menezes (2001), a metodologia visa a definir o tipo de pesquisa, a população (universo da pesquisa), a amostragem, os instrumentos de coleta de dados e a forma como se pretendem tabular e analisar seus dados, conforme apresentado a seguir.

4.1. Classificação da pesquisa

Para um maior detalhamento das etapas de desenvolvimento deste trabalho, a Figura 4.1 apresenta um fluxograma que ilustra o inter-relacionamento das pesquisas associadas aos procedimentos técnicos e à pesquisa de campo (Silva e Menezes, 2001).

Conforme Figura 4.1, as etapas do trabalho estão divididas em três grupos: pesquisa bibliográfica e documental, pesquisa de campo e estudo de caso, sendo que houve interação entre as etapas dos diferentes grupos no decorrer da pesquisa. O início da pesquisa concentrou-se no entendimento dos conceitos necessários para estruturação e desenvolvimento do trabalho. Por meio dessa etapa, foi possível definir o foco da aplicação e todo o embasamento teórico para o desenvolvimento das demais etapas.

As pesquisas bibliográfica e documental permitiram conhecer e dominar uma seleção de métodos de avaliação de desempenho, sua nomenclatura e estrutura, considerando categorias, aspectos, atributos, indicadores, medidas e demais variáveis empregadas para a escolha modal e ainda as várias técnicas de auxílio multicritério à decisão para suporte à proposição do método. A principal contribuição desse grupo de atividades foi o desenvolvimento do Método de Escolha Modal – MEM, que apresenta contribuição para o tema proposto e reúne o resultado da aplicação de todas as pesquisas mencionadas. As etapas desse método são detalhadas no capítulo 5 deste trabalho.



Fonte: Elaboração própria (2009)
 Figura 4.1 - Fluxo da pesquisa do trabalho

Após entendimento teórico e proposição do Método de Escolha Modal, foi possível preparar o instrumento de coleta de dados e a forma de aplicação do mesmo, adequados ao problema da pesquisa. Essa etapa serviu para a identificação das variáveis (atributos e indicadores) que deveriam ser usadas na aplicação proposta. Foi utilizada a técnica *Delphi* para aplicação do questionário, detalhada mais adiante. Com o MEM desenvolvido e os atributos e indicadores definidos, partiu-se para a aplicação em uma situação prática a fim de ilustrar e testar sua aplicação.

A pesquisa de campo foi baseada nas informações levantadas nas pesquisas anteriores e teve o intuito de coletar dados. A pesquisa de campo teve como finalidade conhecer o perfil das empresas que produzem ou lidam com produtos perigosos no Brasil. Também foi possível identificar as variáveis que devem ser consideradas em uma escolha modal com base em avaliação de desempenho. Assim, foi possível identificar grupos e seus respectivos perfis quanto aos modos utilizados para movimentar seus produtos, ações relacionadas a aspectos ambientais, atributos e indicadores de ecoeficiência e principais dificuldades para executar o transporte

4.2. Universo e Amostra

Segundo Silva e Menezes (2001), o universo da pesquisa (ou população) é a totalidade de indivíduos que possuem as mesmas características definidas para um determinado estudo. Nesta pesquisa, o universo foi o setor de transporte de produtos perigosos no Brasil. Incluindo também especialistas, acadêmicos ou atuantes em empresas, voltados à área de meio ambiente e de transporte de produtos perigosos.

Silva e Menezes (2001) definem a amostra como parte da população ou do universo, selecionada de acordo com uma regra ou plano. A amostra pode ser probabilística e não-probabilística. A amostra, neste caso, refere-se ao grupo que participou, respondendo aos questionários para opinião sobre os atributos.

Pelas características do problema e objetivos desta pesquisa, a amostra foi não-probabilística intencional pelo fato de se recorrer aos especialistas para que os mesmos opinem sobre a importância de atributos em um processo de avaliação de desempenho para escolha modal.

Segundo Richardson (1999), os elementos desse tipo de amostragem relacionam-se intencionalmente de acordo com certas características estabelecidas no plano e nas hipóteses formuladas pelo pesquisador.

4.3. Instrumentos da coleta de dados

Nesta pesquisa, foi utilizado o questionário para levantamento da importância dos atributos de desempenho a serem considerados no método de escolha modal. Neste caso, o questionário deve ser objetivo, limitado em extensão e estar acompanhado de instruções que devem esclarecer o propósito de sua aplicação, ressaltar a importância da colaboração do informante e facilitar o preenchimento (Silva e Menezes, 2001).

O questionário aplicado (Anexo I e II) contém questões abertas e fechadas com a finalidade de caracterizar os participantes da amostra e de levantar os dados necessários para a proposição e aplicação do método de escolha modal fundamentado nos conceitos de avaliação de desempenho.

O questionário divide-se em três partes: a primeira dedica-se a caracterização da amostra e visa a identificar o perfil dos respondentes e o grau de conhecimento dos mesmos em relação ao assunto pesquisado. A segunda parte visa a identificar os atributos e indicadores de desempenho relevantes para serem considerados em um processo de escolha modal. Nesta parte, foram apresentados dois blocos de indicadores de ecoeficiência: os relacionados ao valor do serviço e os relacionados à influência ambiental. Cada respondente teve que atribuir notas de 1 a 7 a cada atributo. A nota 1 significa pouca importância do indicador para escolha modal de produtos perigosos, enquanto 7 refere-se à importância máximo do indicador.

A terceira parte foi destinada a identificar o grau de relevância do assunto, do ponto de vista dos pesquisados, e a disposição dos mesmos em responder a outros questionários, em função das características da técnica *Delphi*. Nessa última parte, foi incluída uma questão aberta que permitiu ao grupo pesquisado fornecer informações que de alguma forma não foram abordadas e/ou justificar respostas dadas em questões anteriores.

O instrumento de coleta de dados utilizado baseia-se no questionário aplicado por Helmer em 1963, com base na técnica *Delphi*, conforme (Ayyub, 2001). O detalhamento dessa técnica está na seção 4.4.1 deste capítulo.

Para a aplicação do questionário a especialistas, é necessário o entendimento de alguns conceitos. O primeiro é o de especialista, que pode ser definido como uma pessoa muito competente, a qual foi bem treinada e preparada, e que tem um conhecimento em algum campo especial. O especialista é o provedor de opinião em um processo de elicitação. Qualquer um pode tornar-se um especialista em algum campo especial do conhecimento por ter o treinamento e o conhecimento em um nível divulgado que o faria reconhecido pelos outros como tal (Ayyub, 2001).

Segundo Coelho (2003), existem vantagens e desvantagens em se utilizar a opinião dos especialistas, conforme Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Vantagens e desvantagens da utilização da opinião de especialistas.

Vantagens	Desvantagens
Incorpora aqueles que realmente entendem da área que está sendo pesquisada	Às vezes são ambíguas e divergentes entre especialistas da mesma área
Permite que a intuição encontre espaço na pesquisa	Muitas vezes é difícil identificar os especialistas
Permite a identificação de muitos modelos e percepções internalizados pelos especialistas que o tornam explícitos	Muitas vezes as projeções que os especialistas fazem são erradas ou preconceituosas

Fonte: Coelho (2003)

Outro conceito apresentado por Ayyube (2001) refere-se à opinião de especialistas que, segundo o autor, pode ser definida como um julgamento formal de um especialista em um assunto ou questão, no qual seu conselho é procurado. Além disso, a opinião poderia significar uma sentença ou uma crença baseada em informações incertas ou conhecimento.

Ainda Segundo Ayyube (2001), vários métodos podem ser utilizados para levantamento de opinião de especialistas. Para aumentar as chances de sucesso na utilização desses métodos, Cooke (1991) apresenta algumas orientações:

1. As questões ou dúvidas não devem ter ambigüidade. Às vezes pode haver uma necessidade de testar as questões ou dúvidas para garantir a sua adequada interpretação por outros;
2. As dúvidas ou questões devem ser colocadas em formato adequado com as respostas constantes, talvez graficamente expressas, a fim de facilitar e agilizar os processos de levantamento e pontuação;
3. É aconselhável testar os processos por meio da realização de uma rodada de questões;
4. Os analistas devem estar presentes durante o levantamento de processos e de pontuação;
5. O treinamento e nivelamento de informação dos peritos devem ser realizados. Exemplos devem ser apresentados com explicações de levantamento e contabilização de processos e agregação e redução dos resultados. Os analistas devem evitar influenciar os peritos, levando-os a certos pontos de vista e respostas;
6. As sessões de levantamento de dados e informações não devem ser muito longas. A fim de lidar com muitas questões, várias sessões com intervalos curtos podem ser necessários.

4.3.1. Método *Delphi*

O método *Delphi* é o mais conhecido para elicitación e síntese de opinião de especialistas (Ayyube, 2001). Foi desenvolvido pela Rand Corporation para a Força Aérea Americana nos anos 50 e passou a ser disseminado no começo dos anos 60, com base em trabalhos desenvolvidos por Olaf Helmer e Norman Dalker, pesquisadores da Rand Corporation. O método foi amplamente utilizado em uma grande variedade de aplicações nos anos 1960 e 1970, superior a 10.000 estudos, principalmente da previsão tecnológica e análise de política (Linstone e Turoff, 1975).

Segundo Grisi e Brito (2002), o método parte de três premissas básicas: (1) Anonimato dos respondentes para evitar que haja influência prévia das idéias de uns sobre os outros e também o constrangimento de eventuais mudanças futuras de opinião. (2) Representação estatística dos resultados de cada rodada de questões de modo a possibilitar uma melhor visualização, por parte dos respondentes, de qual a sua posição perante o grupo. (3) *Feedback* de respostas do grupo para reavaliação nas rodadas subseqüentes.

Segundo Helmer (1968), o método *Delphi* consiste nos seguintes passos:

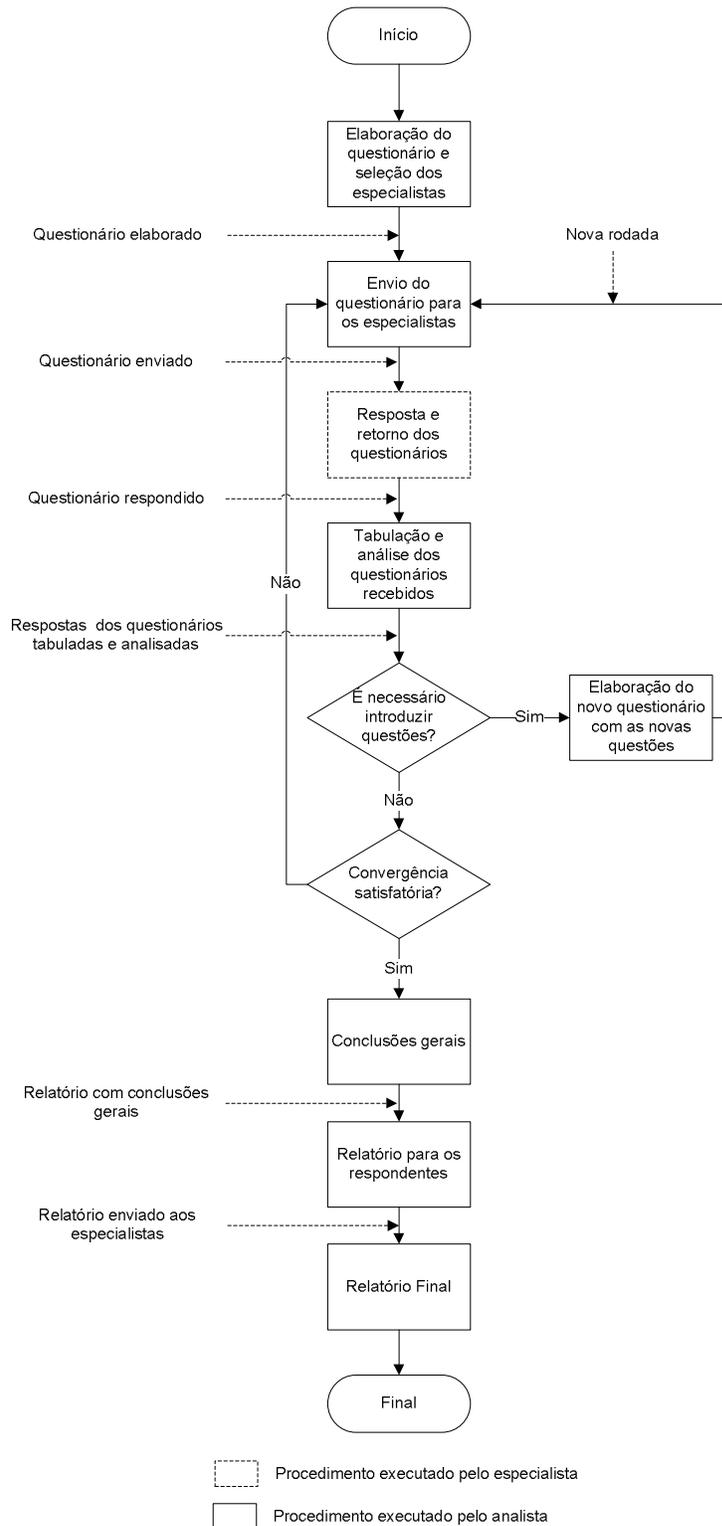
1. Seleção de problemas ou questões e elaboração de questionários;
2. Seleção dos especialistas que estão mais bem informados sobre as questões;
3. Familiarização dos especialistas com o assunto, fornecendo detalhes suficientes do questionário;
4. Elicitação de especialistas sobre as questões, os quais não podem saber quem são os outros especialistas;
5. Agregação e apresentação dos resultados na forma de valores medianos e um intervalo interquartil (isto é, 25% e 75% valores percentuais);
6. Revisão dos resultados por parte dos especialistas e revisão de suas respostas iniciais. Esse reexame iterativo de questões aumenta a precisão dos resultados. Os respondentes que dão respostas fora do intervalo interquartil devem justificar por escrito os argumentos sobre o segundo ciclo de questionários;
7. Revisão dos resultados e revisão para outro ciclo. O processo deve ser repetido até que um consenso seja alcançado. Normalmente, o método *Delphi* requer cerca de dois ciclos ou iterações;
8. Um resumo é preparado com os resultados e argumentos para valores fora da faixa interquartil.

Com base em Wright e Giovinazzo (2000) e nos passos apresentados por Helmer (1968), propõe-se uma seqüência para a execução da pesquisa *Delphi*, conforme ilustrado na Figura 4.2.

Alguns passos de aplicação do *Delphi* (envio de questionário, resposta do questionário e apresentação de relatórios) podem ser feitos de forma eletrônica, preservando-se as mesmas características do *Delphi* tradicional (Giovinazzo e Fichimann, 2001). Neste trabalho, o questionário em suas rodadas e os relatórios para os especialistas foram passados de forma eletrônica, via *e-mail* e utilizando-se a ferramenta *GoogleDocs*.

Desta forma, o *Delphi* é um método que busca um consenso entre especialistas a respeito de eventos futuros, ou ainda, de acordo com Grisi e Brito (2002), é um método para estruturar processos de comunicação coletiva, permitindo a um grupo de indivíduos lidar com um problema complexo. De acordo com Wright e Giovinazzo (2000), o

método *Delphi* trata-se de um questionário interativo que circula repetidas vezes por um grupo de peritos, preservando o anonimato das respostas individuais.



Fonte: Elaboração própria com base em Wright e Giovinazzo (2000) e Helmer (1968).

Figura 4.2 - Seqüência de execução de uma pesquisa *Delphi*

O método *Delphi* é especialmente recomendável quando não se dispõe de dados quantitativos ou estes não podem ser projetados para o futuro com segurança, em face de expectativa de mudanças estruturais nos fatores determinantes das tendências futuras e quando há rupturas ou descontinuidades no ambiente ou no assunto específico que se pretende estudar (Grisi e Brito, 2002). No caso deste trabalho, o método foi utilizado para identificar os atributos e a importância de cada um no processo de escolha modal.

Algumas recomendações devem ser seguidas para evitar erros na elaboração do questionário. Alguns erros fazem com que os respondentes percam tempo para transmitir as informações desejadas, ou apresentem respostas distorcidas por não terem entendido a pergunta, ou ainda deixem de responder alguma questão. Os principais aspectos a serem observados são apresentados a seguir (Wright e Giovinazzo, 2000).

1. Evitar questões que o respondente em parte concorda e em outra discorda;
2. Evitar colocações ambíguas com termos como “comum”, “normal”, “uso geral”.
3. Tornar o questionário simples de ser respondido para que o respondente use seu tempo pensando, em vez de desperdiçar tempo preenchendo o questionário;
4. Elaborar um número de questões dentro de um limite que não desmotive o especialista a responder;
5. Esclarecer previsões contraditórias, caso existam eventos excludentes em um questionário, para auxiliar o raciocínio;
6. Permitir complementações dos respondentes com algum comentário que considere relevante.

Segundo Wright e Giovinazzo (2000) e Ayyub (2001), o método *Delphi* apresenta vantagens e desvantagens que são apresentadas na Tabela 4.2. Apesar de suas limitações, o método *Delphi* é adequado às atividades que buscam a opinião de especialistas. Este trabalho utilizou o método *Delphi* para realizar uma análise do setor de transporte de produtos perigosos por meio de especialistas que atuam nesse segmento e, assim, possuem conhecimentos que foram úteis na formulação e enriquecimento da pesquisa.

Tabela 4.2 - Vantagens e desvantagens do método *Delphi*.

Vantagens	Desvantagens
Realiza previsões em situações de carência de dados históricos.	Seleção de “amostra” de respondentes e tratamento dos resultados estatisticamente não aceitáveis.
Traz à análise do problema pelo menos no nível de informação do membro melhor informado.	Excessiva dependência dos resultados em relação à escolha dos especialistas.
Conduz a uma maior reflexão e cuidado nas respostas, facilitando o seu registro, em comparação a uma discussão em grupo.	Possibilidade de forçar o consenso indevidamente.
Elimina a influência de fatores como o “status” acadêmico ou profissional do respondente, por meio do anonimato.	Dificuldade de se redigir um questionário sem ambigüidades e não enviesado.
Reduz a supressão de posições minoritárias, a omissão de participantes, a adesão espúria de posições majoritárias, a manipulação política etc.	Demora excessiva para a realização do processo completo.
Não há custo de deslocamento de pessoal, e os peritos podem responder sem a restrição de conciliar agendas para uma reunião, pois os questionários são mandados por <i>email</i> ou correio.	Tempo de elaboração elevado.
Induz à criatividade e confere credibilidade ao estudo devido à participação de vários especialistas	Sucessivas rodadas freqüentemente implicam a desistência não anunciada de alguns participantes, sendo comum que, entre a primeira e a última rodada, o abandono gire em torno de 50% dos participantes originais.

Fonte: Wright e Giovinazzo (2000) e Ayyub (2001)

A seguir, as razões para a escolha do Método *Delphi*, com base no trabalho de Maia (2008), são apresentadas. A primeira refere-se a não existência de séries históricas sobre a importância dos atributos de avaliação de desempenho em transportes para realizar projeções quantitativas das alternativas avaliadas. A segunda é que há a pretensão de superioridade da opinião do grupo sobre a do indivíduo, pois a utilização de especialistas visa a reunir opiniões com maior grau de conhecimento específico sobre as questões tratadas. A terceira razão é que há a preferência da emissão de opiniões de forma anônima e sem o confronto face a face.

Além disso, segundo Marchau e Heijden (2003 *apud* Maia, 2008), o método *Delphi* é considerado o mais proeminente dentre os métodos de prospecção baseados em consenso.

4.4. Tabulação e análise dos dados

Para a tabulação e apresentação de dados, foram utilizados métodos estatísticos, instrumentos manuais e computacionais que deram suporte à elaboração de cálculos, índices, tabelas, quadros e gráficos, a fim de facilitar a interpretação e a análise das informações.

Neste trabalho, foram utilizadas duas formas para o tratamento dos dados e informações levantadas. A primeira é qualitativa, que, segundo Richardson (1999), é caracterizada como a tentativa de uma compreensão detalhada dos significados e das características situacionais apresentadas, em lugar de produção de medidas quantitativas.

A segunda forma, para a criação do Método de Escolha Modal baseado nos conceitos de ecoeficiência e nas características dos modos de transporte, utiliza-se de abordagem quantitativa por meio de tratamento estatístico dos dados. Como a pesquisa analisa múltiplas variáveis em um único relacionamento ou conjunto de relações, foi utilizada uma técnica de auxílio multicritério.

Para o caso do questionário (método *Delphi*), o tratamento a ser dispensado depende do tipo de questão considerado. De uma forma geral, as questões tratam de valores (data de ocorrência de um evento, porcentagem de utilização de uma técnica, relevância de uma atitude etc), podem apresentar média, mediana, extremos e quartis inferior e superior (Wright e Giovinazzo, 2000).

A primeira parte do questionário, que possui questões para caracterização dos respondentes, foi analisada por meio de estatística descritiva, utilizando-se medidas de tendência central (média, moda e mediana) dos valores encontrados em cada questão.

A mediana deve ser utilizada, em lugar da média, quando há grande liberdade de opções. Para evitar distorções, opta-se pelo valor central das respostas (a mediana). A apresentação dos quartis permite uma avaliação do grau de convergências das respostas, auxiliando especialistas e organizadores na análise das mesmas. Há a convergência quando a medida de dispersão das respostas dos especialistas não ultrapassa um limite

arbitrado pelo pesquisador, indicando que há concordância dos mesmos com relação a uma resposta ou valor atribuído a um determinado evento.

As questões que pedem justificativas ou comentários adicionais exigem uma consolidação das respostas de todos os especialistas.

É necessário ressaltar que o método *Delphi* não pretende fazer um levantamento estatisticamente representativo da opinião de um determinado grupo amostrado, consistindo de uma consulta a um grupo limitado e seletivo de especialistas. Nesta situação, as questões de validade estatística da amostra e dos resultados não se aplicam, contudo, conforme Cardoso (2005), chegam-se a resultados satisfatórios com amostras compreendidas no intervalo de 5 a 100 especialistas.

Maia (2008) destaca que o número de especialistas consultados depende da complexidade do assunto, prazo de duração da pesquisa e recursos disponíveis. Segundo Miles e Scapolo (2006), um bom número de especialistas para aplicação do método *Delphi* está entre 10 e 20. Já para Huber e Delbeq (*apud* Rocha, 2004), devem ser considerados pelo menos 5, sendo que 10 gera melhores resultados. Com base em estudos empíricos, Buarque (*apud* Rocha, 2004) concluiu que um número ótimo estaria entre 5 a 9.

Segundo Wright e Giovinazzo (2000), há em média uma abstenção de 30 a 50% dos respondentes na primeira rodada e de 20 a 30%, na segunda rodada. Grisi e Brito (2002) citam que a desistência não anunciada de alguns participantes, entre a primeira e a última rodada, gira em torno de 50% dos participantes originais.

Podem ser utilizadas três estatísticas (Coeficientes de Variação – CV) para verificar a ocorrência da convergência a fim de validar os resultados. Primeiro, a equação 4.1, que se constitui na relação entre o desvio padrão e a média que deve atingir valores inferiores a 30%, segundo Kayo e Securato (1997) e Wright e Giovinazzo (2000).

A segunda, a equação 4.2, relação entre diferença do terceiro e primeiro quartil dividida pelo tamanho da escala utilizada menos um, que deve atingir valores inferiores a 25%, segundo Cardoso (2005).

$$CV_1 = \frac{\delta}{K} < 30\% \quad (4.1)$$

onde: δ é o desvio padrão e K é a média aritmética dos resultados

$$CV_2 = \frac{Q_3 - Q_1}{n-1} < 25\% \quad (4.2)$$

onde: Q_3 é o Terceiro quartil, Q_1 é o Primeiro Quartil e n corresponde ao número de eventos

A terceira medida de cálculo para o coeficiente de variação utiliza a mediana, conforme equação 4.3 (Estes e Kuespert, 1976).

$$CV_3 = \frac{Q_3 - Q_1}{M} < 25\% \quad (4.3)$$

onde: Q_3 é o Terceiro quartil, Q_1 é o Primeiro Quartil e M a Mediana dos resultados

Ainda dentro da abordagem quantitativa, utilizaram-se técnicas de auxílio multicritério à decisão, uma vez que existem muitas alternativas de decisão para se escolher, sendo cada uma delas baseada em variáveis com diferentes resultados.

4.4.1. Técnicas de pesquisa operacional para auxílio multicritério à decisão

De acordo com Gomes *et al.* (2004), os métodos de apoio multicritério à decisão, começaram a surgir a partir da década de 70 com o intuito de ajudar a resolver problemas para a tomada de decisão. Os mesmos autores citam algumas vantagens da abordagem multicritério:

- A constituição de uma base de diálogo, utilizando diversos pontos de vista comuns;
- Maior facilidade de incorporar incertezas;
- Enfrentar cada solução como um compromisso de objetivos em conflito.

Segundo Malczewski (1999 *apud* Romero, 2006), a tomada de decisão multicriterio se divide em duas classes:

- *Multiobjective Decision Making* (tomada de decisão multiobjetivo) – trabalha com problemas que têm objetivos múltiplos, nos quais as alternativas podem adquirir um número infinito de valores. Neste caso, o objetivo é considerado em uma função de maximização ou minimização com base em variáveis ou atributos considerados. A melhor solução se encontra dentro de uma região de soluções viáveis (Duckstain e Parent, 1994; Malczewski, 1999 *apud* Romero 2006). Os métodos com essa característica fazem parte do ramo contínuo da decisão multicritério (Gomes *et al.*, 2004).

- *Multiattribute Decision Making* (tomada de decisão multiatributo) – neste caso, tem-se um conjunto de alternativas de decisão formado por um número finito e geralmente pequeno de variáveis. Nos problemas de decisão multiatributo, a solução consiste em encontrar a melhor alternativa baseada em seus atributos. Neste trabalho, se encontram os métodos do ramo discreto da decisão multicritério (Gomes *et al.*, 2004).

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 *et al.*, 2004). Além disso, medir todos os critérios pesquisados, sem a utilização de julgamento *a priori*, 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 essa atividade.

Como alternativa a essa quantificação sem julgamento de especialistas da importância dos critérios, são utilizadas técnicas baseadas em julgamento *a priori*. Essas técnicas se embasam em experiência de especialistas para que, 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 pode não ser representativo ou considerado válido. Para contornar essa situação, as técnicas baseadas em quantificação sem julgamento *a priori* buscam atuar utilizando dados quantitativos resultantes da operação analisada.

Uma análise comparativa das técnicas baseadas em julgamento *a priori* e em quantificação sem julgamento *a priori* leva à conclusão que ambas apresentam

vantagens e desvantagens que, se combinadas, podem trazer um resultado mais consistente para a tomada de decisão. Neste trabalho, o objetivo é a escolha de alternativas pré-definidas com base em seus atributos e não há intenção de minimização ou maximização de um objetivo. Portanto, não serão abordados os métodos multiobjetivos. Várias técnicas de auxílio multicritério foram pesquisadas e estão apresentadas na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Técnicas de auxílio multicritério discretas

Técnica	Natureza dos dados	Referência	Referência de utilização em transporte	Comentário
GRA	Julgamento somente <i>a posteriori</i>	Deng (1989); Liu e Lin (2006)	Garcia <i>et al.</i> (2005) Leal Jr e Garcia (2008) Lo <i>et al.</i> (2009)	A GRA (<i>Grey Relational Analysis</i>) 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 resultado desejado.
DEA	Julgamento somente <i>a posteriori</i>	Charnes <i>et al.</i> (1978)	Silva Neves (2000)	O modelo DEA (<i>Data Envelopment Analysis</i>) consiste de uma abordagem não paramétrica, baseada em programação matemática, que permite comparar as eficiências relativas entre entidades homogêneas que são chamadas unidades de tomadas de decisão (DMU – “ <i>Decision Making Unit</i> ”) (Silva Neves, 2000). Originalmente a DEA não foi concebida para fins de análise multicritério, entretanto, Lins e Angulo Meza (2000) apresentam como a técnica pode ser adaptada para tratar essa classe de problema.
AHP Clássico	Julgamento <i>a priori</i>	Saaty (1980)	Granemann e Gartner (2000) Tuzkaya e Önüt (2008) Romero (2006)	A AHP (<i>Analytic Hierarchy Process</i>) é uma técnica em que o problema de decisão é dividido em níveis hierárquicos, facilitando, assim, sua compreensão e avaliação. Um grupo de decisores faz 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.

Tabela 4.3 - Técnicas de auxílio multicritério discretas (continuação)

Técnica	Natureza dos dados	Referência	Referência de utilização em transporte	Comentário
AHP Multiplicativo	Julgamento <i>a priori</i>	Lootsma (1990)		Permite superar pontos críticos como: a escala proposta por Saaty; o uso do autovetor para o cálculo dos valores de impacto das alternativas; os valores finais calculados por uma regra de média aritmética de agregação. Trabalha com uma regra de agregação geométrica.
AHP Referenciado e AHP B-G	Julgamento <i>a priori</i>	Belton e Gear (1985)		O AHP referenciado utiliza em sua metodologia uma constante de proporcionalidade que surgiu da comparação dos valores relativos dos critérios das alternativas. O Método B-G procura a alternativa que apresenta o maior valor de prioridades a fim de usar esse valor na normalização do vetor de prioridades.
PROMÉTHÉE I	Julgamento <i>a priori</i>	Brans <i>et al.</i> (1984); Brans e Mareshal (1997)	Brito <i>et al.</i> (2006); Assis (2007)	Os Promethee I, II, III e IV foram propostos para dispor as alternativas em ordem de prioridade. No I, a ordenação corresponde a uma pré-ordem parcial.
PROMÉTHÉE II	Julgamento <i>a priori</i>			Obtém-se uma pré-ordem total.
PROMÉTHÉE III	Julgamento <i>a priori</i>			Obtém-se uma ordem por intervalos.
PROMÉTHÉE IV	Julgamento <i>a priori</i>			Generaliza a versão II para o caso de um número infinito de alternativas.
PROMÉTHÉE V	Julgamento <i>a priori</i>			Amplia a aplicação do II e é apropriado para selecionar um subconjunto de alternativas dentre as consideradas em razão de restrições existentes no problema.
ELECTRE I	Julgamento <i>a priori</i>	Roy (1968)	Soares <i>et al.</i> (2001); Soares de Mello <i>et al.</i> (2005)	Os métodos Electre partem do conceito de superação e empregam a informação dos pesos a fim de construir índices de concordância e discordância. O Electre I resulta em uma relação de superação entre alternativas, que é útil para selecioná-las.

Tabela 4.3 - Técnicas de auxílio multicritério discretas (continuação)

Técnica	Natureza dos dados	Referência	Referência de utilização em transporte	Comentário
ELECTRE II	Julgamento <i>a priori</i>	Roy e Bertier (1973)		É considerado o aprimoramento do I e objetiva a solução da problemática de esclarecer a decisão por meio de uma ordenação de alternativas.
ELECTRE III	Julgamento <i>a priori</i>	Roy (1978)		É uma técnica que trabalha com o conceito de superação e classifica as alternativas para a solução de um problema de um único decisor.
ELECTRE IV	Julgamento <i>a priori</i>	Roy e Hugonnard (1982)		Não considera a utilização de pesos e sim uma seqüência de relação de superação agrupada. Assim como o III, utiliza os pseudocritérios. Os critérios são associados a um limite de preferência estrita e a um limite de indiferença.
ELECTRE IS	Julgamento <i>a priori</i>	Roy e Skalka (1985)		Resulta em uma relação de superação entre alternativas que é útil para selecioná-las.
ELECTRE TRI	Julgamento <i>a priori</i>	Yu Wei (1992)		Classifica as alternativas para a solução de um problema por meio da comparação de cada alternativa potencial com uma referência estável (padrão).
TODIM	Julgamento <i>a priori</i>	Gomes e Lima (1992)	Fernandes (1996)	O TODIM (Tomada de Decisão Interativa Multicritério) foi desenvolvido para esclarecer a decisão por meio de uma ordenação de alternativas. É um método contrutivista, pois a solução do problema de decisão constrói-se ao longo de um processo interativo. É um método híbrido, pois utiliza escala verbal e valoração quantitativa por meio de medições (Gomes <i>et al.</i> , 2004).
MAUT	Julgamento <i>a priori</i>	Fishburn (<i>apud</i> Neiva e Gomes, 2007)	Romero (2006)	O método MAUT (<i>Multiattribute Utility Theory</i>) trabalha com a agregação de diferentes pontos de vista e atributos em uma única função que deve ser otimizada. Aceita apenas variáveis quantitativas. Possui muita similaridade com o AHP (Romero, 2006).

Tabela 4.3 - Técnicas de auxílio multicritério discretas (continuação)

Técnica	Natureza dos dados	Referência	Referência de utilização em transporte	Comentário
TOPSIS	Julgamento somente <i>a posteriori</i>	Hwang e Yoon (1981)	Romero (2006) Krohling e Campanharo (2009) Gumus (2009)	É uma técnica que permite a ordenação por meio da utilização do conceito de similaridade e é classificado como um método de ranqueamento (Romero, 2006).
VIP ANALISYS	Julgamento <i>a priori</i>	Dias e Clímaco (2000)	Campos e Almeida (2006)	O modelo multicritério de agregação aditiva <i>VIP Analysis (Variable Interdependent Parameters)</i> tem como finalidade trabalhar com informações imprecisas e permite calcular o intervalo de valor global de cada alternativa e a matriz de confrontação extrema, em que as alternativas são confrontadas aos pares. Tem como objetivo apoiar a avaliação de um conjunto de alternativas de forma a escolher a mais preferida, de acordo com a função aditiva (Campos e Almeida, 2006).
MACBETH	Julgamento <i>a priori</i>	Bana e Costa e Vasnick. (1995 e 1997)	Pereira (2001)	O método Macbeth requer apenas julgamentos qualitativos sobre as diferenças de atratividade entre elementos para gerar pontuações para as opções em cada critério e para ponderar os critérios (Bana e Costa e Chagas, 2004).

Fonte: Elaboração própria (2009)

Foram encontradas ainda referências em que essas técnicas podem ser utilizadas, baseadas em lógica *Fuzzy* (Zadeh, 1987). A teoria dos conjuntos *fuzzy* permite lidar com a incerteza e a imprecisão, associadas a informações sobre os parâmetros. Os tomadores de decisão normalmente precisam quantificar eventos incertos e objetos, usando termos que não são precisos e quantitativos (Tuzkaya e Önut, 2008). Portanto, a Lógica *Fuzzy* não se enquadra como uma técnica de auxílio multicritério e sim como uma forma de abordagem e de interpretação da opinião de especialistas, não aplicada neste trabalho.

O processo de escolha do método de multicritério a ser utilizado como apoio à decisão depende de fatores, tais como: as características do problema, o contexto, a estrutura de preferência do decisor e o tipo de problemática (Almeida e Costa, 2003). Gomes *et al.*

(2004) comentam que os problemas complexos de tomada de decisão apresentam, pelo menos, uma das características a seguir:

- Os critérios de solução são, no mínimo, dois que conflitam entre si;
- Tanto os critérios quanto as alternativas não estão claramente definidos e as conseqüências da escolha não são devidamente compreendidas;
- Os critérios e as alternativas podem estar interligados de forma que um dado critério parece refletir parcialmente outro critério, enquanto a eficácia em optar por uma alternativa específica depende de que outra seja ou não escolhida, no caso das alternativas não serem mutuamente excludentes;
- A solução do problema depende de um conjunto de pessoas com pontos de vista próprios, muitas das vezes conflitantes.
- As restrições do problema não estão bem definidas;
- Alguns critérios são quantificáveis enquanto outros somente o são por meio dos juízos de valor efetuados sobre uma escala;
- A escala para um determinado critério pode ser cardinal, verbal ou ordinal, dependendo dos dados disponíveis e da natureza dos critérios.

Os componentes básicos de um problema de decisão multicritério são:

- Decisor – Indivíduo ou grupo que faz escolhas e especifica preferências, sendo assumidos como uma entidade única, chamada de decisor, agente ou tomador de decisão;
- Analista – É quem fica encarregado por interpretar e quantificar as opiniões dos decisores, estruturar os problemas, elaborar o modelo matemático e apresentar os resultados para que a decisão seja tomada;
- Alternativas – Conjunto de escolha baseado no objetivo da análise. São ações globais que podem ser avaliadas isoladamente. Podem representar diferentes cursos de ação, hipóteses sobre a natureza de uma característica, conjuntos de características etc. A cada alternativa incluída no conjunto de escolha, o modelo deve ser reformulado;

- Modelo – É o conjunto de regras e operações matemáticas que permitem transformar as preferências e opiniões dos decisores e valores de um atributo em um resultado que facilite a tomada de decisão;
- Critérios/atributos – Elementos que direcionam a análise e permitem a comparação entre alternativas. São as ferramentas que permitem a comparação das ações em relação a pontos de vista particulares (Roy, 1985). É a expressão qualitativa ou quantitativa de um ponto de vista utilizado na avaliação das alternativas (Bouyssou, 1990);
- Pesos – Referem-se à importância de um atributo em relação aos outros. É a medida de importância relativa dos atributos para o decisor (peso ou ponderação);
- Tipos de problema – Os problemas abordados pelas análises multiatributo podem ser classificados da seguinte forma: (1) selecionar a melhor alternativa; (2) realizar classificação de alternativas; (3) gerar uma ordenação de alternativas; (4) realizar uma descrição de alternativas. Esses tipos de problemas não são independentes entre si, podendo ser abordados mais de um no mesmo estudo. Por exemplo, ordenar as alternativas para escolher a melhor.

Segundo Pinheiro e Soares de Melo (2005), em um problema multicritério é necessário determinar de forma explícita qual o objetivo da análise, sendo necessária a definição de quatro problemáticas: correta descrição do problema, ordenação, escolha e alocação em classes. Definem-se também as alternativas, os critérios, o método e o decisor.

Para a aplicação proposta neste trabalho, o analista possui dados quantitativos referentes a cada atributo e por isso será aplicada uma técnica que permita trabalhar sem a necessidade de julgamento *a priori* ou de juízos de valor efetuados sobre uma escala para quantificação dos atributos. Também se pretendeu isentar ao máximo possível a avaliação de subjetivismo, ficando apenas nesse campo a questão da atribuição da importância dos atributos. Com base na Tabela 4.3, as técnicas levantadas e que se enquadram nessa classificação são: GRA, DEA e TOPSIS. Para ajudar na escolha da técnica mais adequada, a Tabela 4.4 mostra as vantagens e as desvantagens de cada uma.

Tabela 4.4 - Vantagens e desvantagens da GRA, DEA e TOPSIS

Técnica	Vantagem	Desvantagem
GRA	<ul style="list-style-type: none"> • É utilizada para analisar o grau de relacionamento de muitas seqüências discretas e selecionar a melhor; • Evita os defeitos inerentes dos métodos estatísticos convencionais; • Necessita de uma quantidade limitada de dados (entradas multidados, dados discretos e dados insuficientes) para estimar o comportamento de um sistema incerto; • Apresenta simplicidade na aplicação. 	<ul style="list-style-type: none"> • É necessário ter quantificação de atributos; • Poucos fatores são permitidos e podem ser expressos funcionalmente.
DEA	<ul style="list-style-type: none"> • Não há necessidade de converter os dados em uma unidade de medida padrão (Lins e Angulo Meza, 1999); • Na DEA, é suficiente dispor apenas dos dados sobre os níveis dos <i>inputs</i> e <i>outputs</i> de cada DMU para que a eficiência relativa delas possa ser calculada; • Para a atribuição dos pesos aos fatores, não há necessidade de nenhuma informação <i>a priori</i>; • Considera a possibilidade de que os <i>outliers</i> não representem apenas desvios em relação ao comportamento “médio”, mas possíveis <i>benchmarks</i> a serem estudados pelas demais DMUs (Garcia, 2001). 	<ul style="list-style-type: none"> • É recomendável um número de DMUs 3 vezes maior que o número de atributos (Novaes, 2004). Observa-se que esse valor é empírico e não há demonstrações científicas que comprovem isso; • A DEA diferencia os pesos conforme a necessidade da DMU sob análise. Caso um dos atributos contribua mais para que a DMU seja considerada mais eficiente, o peso será majorado em relação a outro que contribua negativamente, podendo ser até igual a zero (Lobianco e Angulo Meza, 2008).
TOPSIS	<ul style="list-style-type: none"> • Apresenta popularidade e simplicidade no conceito (Krohling e Campanharo, 2009); • Modo como aborda um problema de decisão, comparando duas situações hipotéticas: ideal e indesejável (Salomon e Pamplona; 1999). 	<ul style="list-style-type: none"> • Incapacidade para tratar adequadamente incerteza e imprecisão, inerentes ao processo de mapeamento da percepção dos tomadores de decisões; • Os julgamentos pessoais são representados por valores numéricos; • Os tomadores de decisões poderiam ser incapazes de atribuir valores numéricos a julgamentos de comparação (Krohling e Campanharo, 2009).

Nota: Apesar de essas técnicas serem apresentadas como de Julgamento, somente *a posteriori* as mesmas podem trabalhar com dados baseados em julgamento.

Fonte: Elaboração própria (2009)

Entendido o grupo de técnicas que pode ser utilizado na solução do problema, abaixo estão descritas as principais características do processo de decisão, baseado em escolha modal, conforme Tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Características do processo de decisão para escolha modal.

Item	Aplicação
Tipo de dados	Quantitativos e não baseados em julgamento
Características do problema	Os critérios de solução são, no mínimo, dois que conflitam entre si; Tanto os critérios quanto as alternativas não estão claramente definidos e as conseqüências da escolha não são devidamente compreendidas; Os critérios e as alternativas podem estar interligados de forma que um dado critério parece refletir parcialmente um outro critério, enquanto a eficácia em optar por uma alternativa específica depende de que uma outra seja ou não escolhida, no caso de as alternativas não serem mutuamente excludentes; As restrições do problema não estão bem definidas.
Decisor	Produtores de bioetanol, Governo, Investidores
Analista	Quem aplica o método.
Alternativas	Modos de transporte para produtos perigosos
Modelo	Um daqueles apresentados na Tabela 4.4.
Atributos	Definidos com base em pesquisa bibliográfica e em pesquisa de campo, utilizando o método <i>Delphi</i>
Pesos	Definidos com base em pesquisa de campo, utilizando o método <i>Delphi</i>
Tipos de problema	(1) Selecionar a melhor alternativa; (2) Realizar classificação de alternativas;

Fonte: Elaboração própria (2009)

Com base nas informações das Tabelas 4.4 e 4.5, a Análise Relacional *Grey* (GRA) foi escolhida para a aplicação deste trabalho, pois, além de se adequar às características do problema de decisão, apresenta como principal vantagem a possibilidade de se trabalhar com uma quantidade limitada de dados para estimar o comportamento de um sistema incerto. Suas desvantagens também não comprometem sua aplicação e os resultados do trabalho. A Técnica TOPSIS poderia ser aplicada neste trabalho, no entanto, por preferência do autor, a mesma foi substituída pela GRA. A DEA não foi utilizada em função de sua pouca discriminação em relação às alternativas e devido ao número de DMUs não ser adequado para a aplicação da mesma.

Além disso, é uma técnica simples e de fácil aplicação para o problema estudado (Leal Jr e D'Agosto, 2009a) e há a familiarização do autor devido a outros trabalhos já realizados (Leal Jr e D'Agosto, 2011; Leal Jr *et al.*, 2009b; Leal Jr e D'Agosto, 2009a., 2009b e 2009c; Leal Jr e Garcia, 2008). Nota-se que as outras duas técnicas poderiam

ser utilizadas, desde que houvesse adaptação da forma como os dados são apresentados. A análise relacional *grey* está detalhada a seguir.

Análise Relacional Grey (Grey Relational Analysis)

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.

Segundo Wen (2004), a teoria *grey* apresenta diferenças se comparada à estatística e à teoria *Fuzzy*. Uma comparação é apresentada na Tabela 4.6 para auxiliar a justificativa de escolha dessa técnica de auxílio multicritério à decisão.

Tabela 4.6 - Comparação entre estatística, teoria *fuzzy* e teoria *grey*.

Ponto de vista	Estatística	Teoria <i>Fuzzy</i>	Teoria <i>Grey</i>
Principal	Incerteza causada pela infinidade de dados e regras aleatórias	Incerteza causada pela fuga de reconhecimento	Incerteza causada pela insuficiência de dados não muito claros
Operação matemática	Métodos estatísticos	Inferência <i>Fuzzy</i> , usando método de máximo e mínimo	Método relacional <i>grey</i>
Quantidade de dados	Grande quantidade	Depende de experiência	Apenas poucos dados
Distribuição de dados	Distribuições típicas	Adesão como distribuição de dados	Qualquer tipo de distribuição

Fonte: Wen (2004)

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 $x_i^{(o)} = \{x_i^{(o)}(k), \dots, x_i^{(o)}(n)\}$, onde cada componente dessa série, antes de qualquer operação, é normalizado da forma a seguir.

Se quanto maior melhor (equação 4.4).

$$x'_i(k) = \frac{x_i^{(o)}(k) - \min_{\forall i} (x_i^{(o)}(k))}{\max_{\forall i} (x_i^{(o)}(k)) - \min_{\forall i} (x_i^{(o)}(k))} \quad \text{para } i: 0..m, \quad k: 1..n \quad (4.4)$$

Se quanto menor melhor (equação 4.5).

$$x'_i(k) = \frac{\max_{\forall i} (x_i^{(o)}(k)) - x_i^{(o)}(k)}{\max_{\forall i} (x_i^{(o)}(k)) - \min_{\forall i} (x_i^{(o)}(k))} \quad \text{para } i: 0..m, \quad k: 1..n \quad (4.5)$$

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* γ (equação 4.6).

$$\gamma(x'_0(k), x'_i(k)) = \frac{\min_{\forall i} \min_{\forall k} |x_0(k) - x_i(k)| + \zeta \max_{\forall i} \max_{\forall k} |x_0(k) - x_i(k)|}{x_0(k) - x_i(k) + \zeta \max_{\forall i} \max_{\forall k} |x_0(k) - x_i(k)|} \quad (4.6)$$

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 ζ , pode-se atribuir qualquer valor entre 0 e 1, mas usualmente adota-se 0,5. É possível demonstrar que a mudança no valor de ζ não altera o *ranking* dos graus de relacionamento *grey* (Zuo, 1995). Se o valor de ζ 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 ζ 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* (Γ_i) para cada série (Deng, 1989), conforme equação 4.7, que é a média aritmética simples dos coeficientes relacionais *grey* para cada alternativa.

$$\Gamma_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \gamma_i(x'_0(k), x'_i(k)) \quad (4.7)$$

Os graus de relacionamento *grey* podem ser calculados ponderando os coeficientes relacionais *grey*. Neste caso, os pesos podem ser os atribuídos pelos especialistas consultados. A equação 4.8 é utilizada para calcular a média ponderada.

$$\Gamma_i = \sum_{k=1}^n \beta_k \gamma_i(x'_0(k), x'_i(k)) \quad (4.8)$$

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

No caso da utilização de medidas de ecoeficiência, os pesos devem ser dados às medidas. Se o avaliador dispuser dos pesos dos atributos de influência ambiental, os

mesmos poderão ser usados para as respectivas medidas, já que os pesos dos atributos de valor do serviço serão anulados pelo fato de serem os mesmos em cada medida formada.

Caso não se trabalhe com medidas de ecoeficiência e sim com grupos de aspectos como os apresentados (econômico-financeiros e socioambientais), ainda assim é possível utilizar a equação 4.9, proposta pelo autor, para que os aspectos tenham também pesos individuais

$$\Gamma'_i = \sum_{t=1}^a F_t \sum_{k=1}^n \gamma(x'_0(k), x'_i(k)) f_z \quad \text{para } j:1\dots m, \quad z:1\dots y \quad (4.9)$$

Após o cálculo dos graus de relacionamento *grey*, ranqueiam-se as seqüências, sendo esse procedimento chamado *Ranking Relacional Grey*.

As aplicações da Análise Relacional *Grey* em transportes são várias. A Tabela 4.8 apresenta os trabalhos pesquisados e a área de aplicação em transportes.

Tabela 4.7 - Aplicação da Análise Relacional *Grey* na área de transportes.

Referência	Aplicação
Wen (2004)	Avaliação da qualidade dos serviços das linhas aéreas em Taiwan
Garcia <i>et al.</i> (2005)	Avaliação e escolha de fornecedores e transportadores
Leal Jr e Garcia (2008)	Escolha de modos de transporte de carga para produtos perigosos
Leal Jr e D'Agosto (2009a)/Leal Jr e D'Agosto (2011)	Escolha de modos de transporte de carga
Wang <i>et al.</i> (2004)	Análise comparativa da <i>performance</i> operacional dos aeroportos de Taiwan
Yang e Chen (2005)	Seleção de fornecedores
Lu e Wevers (2007)	Avaliação de medidas de segurança no tráfego rodoviário
Pai <i>et al.</i> (2007)	Avaliação dos efeitos do transporte na qualidade do ar
Qu <i>et al.</i> (2007)	Previsão de volume de frete
Lo <i>et al.</i> (2009)	Avaliação de modelos de entrega rodoviários
Hsu <i>et al.</i> (2009)	Gestão de segurança aérea
Cheon <i>et al.</i> (2009)	Avaliação dos impactos das reformas institucionais sobre as mudanças da eficiência dos portos

Fonte: Elaboração Própria (2010)

A Tabela 4.8 apresenta as características da pesquisa e como ela é adequada à utilização da Análise Relacional *Grey*.

Tabela 4.8 - Características da pesquisa e aderência à GRA.

Característica da Pesquisa	Aderência à GRA
Os dados coletados para a formação de medidas são incompletos e alguns são estimados.	Incerteza causada pela insuficiência de dados não muito claros
Para muitos indicadores utilizados, não existe uma série histórica para avaliação, sendo necessário um método que aceite essa insuficiência de dados.	Poucos dados
Não se conhece a distribuição dos dados utilizados que podem ser diferentes uns dos outros.	Qualquer tipo de distribuição
Todos os atributos são quantificados para formação das medidas de ecoeficiência.	É necessário ter quantificação de atributos
O objetivo da aplicação será a escolha de melhor alternativa para o transporte de bioetanol.	É utilizada para analisar o grau de relacionamento de muitas seqüências discretas e selecionar a melhor

Fonte: Elaboração Própria (2010)

4.5. Conclusões do capítulo

Os tipos de pesquisa selecionados para elaboração do trabalho são adequados ao objetivo geral do trabalho e trazem vantagens metodológicas de um método de escolha modal.

O questionário baseado na pesquisa *Delphi* é apropriado aos objetivos do trabalho pelo fato de permitir retratar a opinião dos especialistas por meio da interação entre as rodadas.

Muitas são as técnicas de auxílio multicritério existentes e que podem ser aplicadas ao processo de avaliação de desempenho. O fato de existirem técnicas baseadas em necessidade de julgamento *a priori* e outras não fornece uma gama de opções ao avaliador para sua utilização, bastando o mesmo ter o entendimento do problema de decisão e suas características.

A técnica escolhida para aplicação é adequada às características da pesquisa e proporciona o atendimento dos objetivos propostos. Além disso, outras técnicas podem ser aplicadas, não sendo o método desenvolvido neste trabalho restrito à Análise Relacional *Grey*.

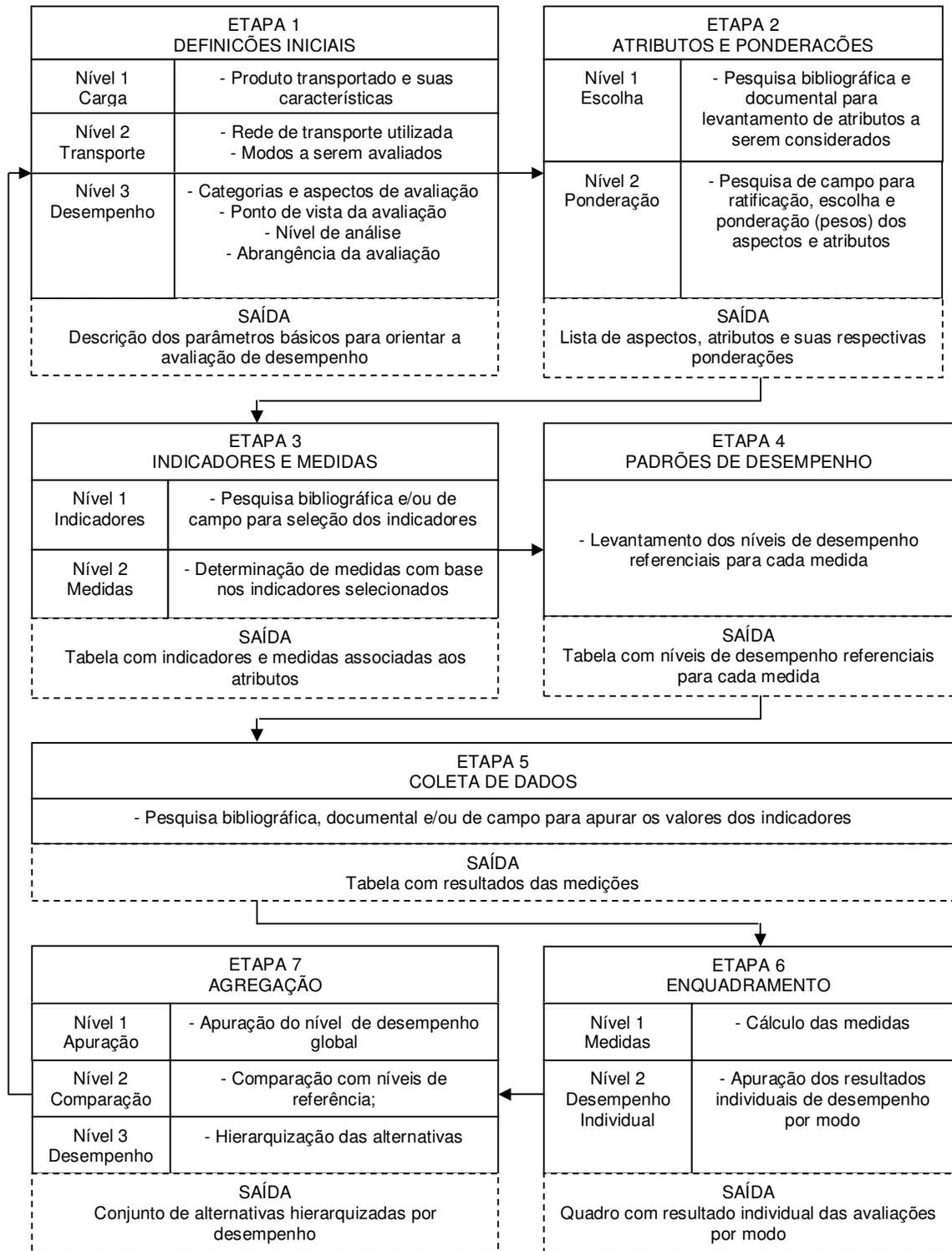
5. PROPOSTA DO MÉTODO DE ESCOLHA MODAL – MEM

A partir das pesquisas realizadas descritas nos capítulos anteriores, desenvolveu-se um método para a escolha modal baseado no conceito de avaliação de desempenho em transportes. Pela sua característica de adaptabilidade, o método permite, inclusive, a utilização de medidas de ecoeficiência em sua aplicação. A Figura 5.1 apresenta uma síntese do Método de Escolha Modal – MEM proposto e desenvolvido pelo autor deste trabalho, composto de sete etapas, sendo cinco divididas em níveis.

Cada uma das etapas prevê um resultado prático, denominado “saída”, e por isso o MEM apresenta total aplicabilidade à prática das organizações que se preocupam em avaliar o seu desempenho ou que desejam tomar decisões mais assertivas, pautadas em ferramentas desenvolvidas para esse fim.

Este método é essencialmente dinâmico e seus resultados podem ser revistos ao longo do tempo, pois a última etapa pode ser utilizada para alimentar a primeira de um novo ciclo de avaliação. Cada etapa também pode ser modificada para adequação às técnicas de levantamento, coleta, tratamento e análise de dados e informações.

Nas próximas seções deste capítulo, cada etapa do MEM é detalhada para auxiliar sua compreensão e posterior aplicação.



Fonte: Elaboração própria (2009)

Figura 5.1 - Método de Escolha Modal com procedimento de avaliação de desempenho em transporte

5.1. Etapa 1 – Definições iniciais

O primeiro nível dessa etapa refere-se ao tipo de carga. Deve-se conhecer o produto transportado e suas características que podem influenciar no desenvolvimento do método. Neste trabalho, deve ser entendido todo o arcabouço legal aplicável aos embarcadores, transportadores, destinatários e demais envolvidos no processo.

O segundo nível considera por um lado as questões referentes à rede de transporte, incluindo os terminais (nós) e suas ligações e, por outro lado, as alternativas modais disponíveis e as respectivas capacidades de movimentação. A capacidade de todo sistema deve ser determinada antes do início da aplicação do método para que não sejam consideradas alternativas de transporte que sejam inviabilizadas por apresentar capacidade insuficiente.

O terceiro nível está relacionado com questões de desempenho que compreende o estabelecimento do ponto de vista da avaliação, que pode ser do operador/transportador, usuário/embarcador, governo (órgãos reguladores, normatizadores, fiscalizadores, planejadores, de meio ambiente, gestores de infra-estrutura) ou ainda de seguradoras, apoio e assistência emergencial. Também se inclui o nível de análise (operacional, tático ou estratégico) e a abrangência da avaliação (parte ou todo o sistema). Também se atenta para os aspectos a serem avaliados (econômico, financeiro, social, ambiental etc) e para as três categorias básicas que definem o que avaliar: eficácia, eficiência e efetividade. Acrescenta-se a essas categorias a denominada ecoeficiência, que é foco deste trabalho.

O avaliador deve investir um tempo maior nessa etapa, pois todas as demais dependerão da acuracidade das informações e das diretrizes levantadas nessa fase e, em face de qualquer mudança nos resultados desta etapa ao logo do desenvolvimento do método, todas as demais etapas deverão ser revistas.

Nessa etapa, recomenda-se que seja montada uma matriz com as distâncias entre os terminais, considerando cada modo de transporte. Dessa forma, haverá maior facilidade no momento em que forem definidas as alternativas de transporte para decisão.

As atividades nos terminais e os impactos nos respectivos atributos a serem avaliados podem ser considerados se forem relevantes para o processo de tomada de decisão. Neste caso, o avaliador deve ter ciência de que a complexidade do processo aumenta, podendo comprometer o tempo para obtenção dos resultados finais.

O resultado dessa etapa é um descritivo dos parâmetros básicos para orientar a avaliação de desempenho e uma lista de alternativas modais a serem consideradas. Cabe ressaltar que as alternativas podem ser formadas por apenas um modo ou por dois ou mais modos (intermodais).

5.2. Etapa 2 – Atributos e ponderações

A segunda etapa do método refere-se à escolha dos atributos e ao estabelecimento de ponderações (incluindo as dos aspectos), especificando-se a ordem de importância de cada um no processo da avaliação de desempenho que farão parte.

O primeiro nível dessa etapa envolve a escolha dos atributos que deve garantir um equilíbrio entre o que se está avaliando (objetivo e definições iniciais) e ainda permitir a medição e a máxima representação das categorias definidas, por meio dos atributos. Para a aplicação dessa etapa, recomenda-se a realização de pesquisa bibliográfica e documental para subsidiar a determinação dos atributos que serão considerados. A grande quantidade de material disponível nessa área justifica a utilização desses dois tipos de pesquisa. As Tabelas 3.4 e 3.5 apresentam um resumo dos principais atributos pesquisados neste trabalho e sugere-se a utilização dos mesmos em outros processos de avaliação, além do abordado neste trabalho.

O segundo nível tem por objetivo ratificar os aspectos e atributos escolhidos e determinar seus pesos (ponderação), podendo ser utilizada pesquisa de campo com especialistas. Recomenda-se que essa pesquisa seja feita por meio de um questionário composto de questões fechadas aplicado aos especialistas em transporte e/ou áreas afins. O objetivo é o de traduzir avaliações intuitivas e individuais de diversos especialistas em um resultado único para incorporar o conhecimento global do grupo de forma sistemática. Os respondentes devem ser instruídos a responder aos questionários, levando em consideração as definições iniciais (Etapa 1).

O questionário deve possuir uma parte dedicada a levantar o grau de especialidade de cada participante da pesquisa. Em outra parte, são apresentados os grupos de atributos relacionados a cada aspecto e cada respondente indica aqueles que sob o seu ponto de vista deveriam ser considerados na escolha modal. Devem-se definir cada atributo contido no questionário para que os respondentes tenham a mesma noção do significado de cada um. Nessa etapa, os especialistas também devem indicar o peso de cada aspecto e atributo selecionado. Recomenda-se deixar espaço para que se possa indicar algum outro atributo não mencionado e que o respondente considere importante.

A forma de escolha e a ponderação dos atributos são variadas. Pode-se solicitar que os respondentes dêem notas de acordo com uma determinada escala a todos os atributos ou que os mesmos escolham, por exemplo, 5 atributos dentre os listados, numerando-os de modo que o mais importante receba o grau 5 e o menos importante grau 1. Para facilitar a priorização, não deve ser possível repetir o grau atribuído ou utilizar números fracionados. O número de atributos a escolher pode variar de acordo com a escala utilizada (5, 7, 9). Recomenda-se que essa escala não seja muito ampla para não dificultar o julgamento dos especialistas. É possível também solicitar que os especialistas dêem notas a todos os atributos para depois verificar aqueles com maiores médias ou medianas.

Outra forma de se ponderar os atributos é utilizar apenas a frequência. Os especialistas, de posse de uma lista de atributos, escolhem um número de atributos dentre os apresentados pelo pesquisador, considerados os mais importantes. Após isso, o *ranking* é montado de forma que o atributo com maior frequência seja o mais importante e assim por diante. Para o caso da ponderação dos aspectos, os respondentes devem fazê-lo de forma percentual, distribuindo pontos para cada um de forma que o somatório dos mesmos seja igual a 100%.

Após as escolhas dos atributos e ordenação pelo grau de importância, devem ser deixados espaços para que os respondentes coloquem suas opiniões e/ou observações a respeito do assunto, caso julguem necessário. O avaliador deve buscar justificar o motivo que o levou a considerar um atributo ou aspecto com peso maior que o outro. A partir desse questionário, é possível utilizar técnicas mais sofisticadas, como *Delphi*

(Wright e Giovinazzo; 2000), que possibilitem várias iterações entre os especialistas para obter a convergência das opiniões, conforme detalhado no capítulo 4.

Com a tabulação dos dados, é possível obter uma lista dos grupos de n atributos para cada um dos a aspectos identificados, hierarquizados pelo somatório de pontos obtidos na pesquisa de campo. Entendendo que o processo de avaliação de desempenho em transporte deva ser abrangente e ao mesmo tempo demande pouco tempo e recursos, recomenda-se a utilização do Método de Pareto para selecionar uma quantidade de atributos que represente no mínimo um percentual dos pontos totais obtidos para cada aspecto avaliado. Os pesos finais após essa seleção são calculados conforme equação (5.1), que deve ser realizada para cada um dos a aspectos identificados.

$$f_z = \frac{GRAUS_z}{\sum_{i=1}^n GRAUS_i} \quad z: 1..y \quad (5.1)$$

Outra forma de realizar o corte do número de atributos é a utilização de médias, medianas e coeficientes de variação apresentados no capítulo 4. Os atributos, após a realização dos questionários, são listados em ordem de média ou mediana e em seguida pelos coeficientes de variação. Neste caso, serão escolhidos aqueles que possuem maiores médias ou medianas e menores coeficientes de variação. Desta forma, serão escolhidos aqueles que na opinião da maioria dos especialistas são os mais importantes.

Ao final dessa etapa, tem-se como resultado uma lista contendo os aspectos, atributos e suas respectivas ponderações.

5.3. Etapa 3 – Indicadores e medidas

A terceira etapa do processo de avaliação de desempenho é a seleção de indicadores e medidas associadas aos atributos e que devem representar quantitativamente fatores objetivos e subjetivos.

No primeiro nível, é indicada a pesquisa de campo por meio de consulta à especialistas para a seleção dos indicadores. Como a etapa anterior, de escolha e ponderação de atributos, exigirá grande participação dos especialistas, uma alternativa para a etapa 3

pode ser o avaliador propor os indicadores que se enquadrem no objetivo da avaliação, baseados em seu conhecimento sobre o assunto, a partir de pesquisa bibliográfica.

As medidas são determinadas no segundo nível dessa etapa. Estas são compostas por dois ou mais indicadores, sendo recomendável observar que as mesmas possuam o mesmo sentido. Todas devem considerar que quanto maior o resultado melhor o desempenho ou quanto menor o resultado melhor o desempenho. Não é recomendável que se utilize sentidos diferentes, já que o resultado final do método prevê a agregação de todas as medidas em um único valor.

Caso haja uma ou mais medidas com o sentido diferente, é possível adotar formas de normalização dos valores que levem em consideração essa característica das medidas. Algumas técnicas como a GRA permitem trabalhar com sentidos diferentes desde que sejam utilizadas as equações de normalização adequadas.

No caso das medidas de ecoeficiência, ao utilizar a equação 3.1, o sentido deve ser quanto maior melhor e, por isso, os indicadores devem ser criados, prevendo que as influências ambientais (como denominador) devem diminuir e que o valor do serviço (como numerador) deve aumentar para se tenha mais ecoeficiência. Recomenda-se que, para o caso da ecoeficiência, todos os indicadores estejam na mesma base de unidade.

A saída dessa etapa constitui-se de uma tabela com os indicadores e as medidas associadas a cada atributo. Sugere-se também que o número de medidas seja de uma para cada atributo para simplificação do processo de avaliação.

5.4. Etapa 4 – Padrões de desempenho

A quarta etapa refere-se à determinação dos níveis de desempenho que se deseja alcançar para cada medida. O padrão pode ser baseado nas melhores práticas do setor (*benchmark*) ou em metas desenvolvidas pelo próprio avaliador, fruto do histórico de desempenho da atividade ou de expectativas de melhores resultados.

Christopher (1997) faz uma abordagem ressaltando a utilização do *benchmarking*, justificando que, por mais que seja necessário ter parâmetros internos medidos e

controlados, deve-se reconhecer que tais medidas somente têm sentido quando comparadas com um padrão de referência. Na abordagem do *benchmarking*, são apresentados cinco passos principais:

- Definir com quem se é comparado pelos usuários/tomador do serviço/interessados e com quem se queria ser;
- Determinar os serviços com base nas definições dos usuários/tomadores de serviço/interessados;
- Utilizar a análise de *trade-off* para identificar fatores-chave dos serviços;
- Fazer o *benchmarking*, identificando a posição da opção atual frente às demais;
- Analisar os dados para verificar se o desempenho combina com as necessidades requeridas pelos usuários/tomadores de serviço/interessados.

Essa etapa pode ser realizada por meio de pesquisa bibliográfica, documental e/ou de campo para se identificar as melhores práticas. No caso de metas estabelecidas internamente, as mesmas devem estar pautadas nas condições reais da organização. Mesmo no caso do *benchmarking*, é necessário adaptar os resultados à realidade da organização, levando em consideração o porte, as condições técnicas e financeiras, a infra-estrutura e os incentivos governamentais.

Tais procedimentos demandam esforço e podem ser substituídos por técnicas que considerem uma série padrão, cujos atributos normalizados são os melhores possíveis e representam o estado desejado para o que se está avaliando, como é o caso da GRA.

Essa etapa estabelece um padrão de desempenho desejável e se constitui em um referencial. Por meio dos valores estabelecidos neste trabalho, o avaliador poderá identificar a distância entre o resultado real e o ideal e estabelecer metas de melhoria. Como resultado dessa etapa, tem-se uma tabela com níveis de desempenho referenciais para cada medida.

5.5. Etapa 5 – Coleta de dados

Após a determinação dos níveis de desempenho, a quinta etapa é a coleta de dados e a apuração dos valores dos indicadores que serão processados, gerando os resultados de cada medida referente a cada atributo. Se o nível de análise da avaliação for estratégico, são obtidos dados dos indicadores de desempenho selecionados com base em pesquisa bibliográfica. Isso é possível, pois, para um horizonte estratégico, dados mais agregados e gerais são mais interessantes e não se carece de um detalhamento dos mesmos. No caso de nível tático e operacional, esse processo deverá ser realizado complementando-se por meio de pesquisa documental e/ou de campo, já que dados mais detalhados deverão ser utilizados.

Esses dados servirão para realizar a aplicação do método e falhas na coleta podem afetar a confiabilidade do mesmo, fazendo com que todo o trabalho anterior perca o sentido. Recomenda-se às empresas que querem ter seus processos controlados e que permitam a aplicação do método que mantenham uma boa base de dados históricos ao longo de suas operações. Os bancos de dados de associações e entidades representativas de um determinado setor também são boas fontes de informações. A falta dos dados pode inviabilizar toda a execução do Método de Escolha Modal ou exigir que sejam utilizadas técnicas baseadas unicamente em julgamento.

Neste trabalho, vale uma observação a respeito da coleta de dados. Em muitos casos, é mais viável utilizar dados quantitativos, pois os mesmos estarão disponíveis em um banco de dados de fácil acesso. Em outros, porém, será necessário recorrer aos métodos baseados em valores subjetivos expressos por meio de opinião de pessoas envolvidas com o processo a ser avaliado, conforme apresentado na Tabela 4.4.

Os dados, uma vez coletados, não representarão o sistema avaliado por um longo período de tempo, o que reforça a idéia de se manter dados atualizados. Uma tabela com os resultados das medições constitui o resultado final dessa etapa e, no caso das medições serem trocadas pelas avaliações subjetivas, a tabela de saída conterà os valores referentes aos métodos utilizados (comparações, ordenamentos etc)

5.6. Etapa 6 – Enquadramento

A sexta etapa é o enquadramento, no qual será feita a apuração dos níveis individuais de desempenho para cada atributo em cada alternativa modal.

O primeiro nível é o cálculo das medidas com base nos dados coletados na etapa anterior. Neste caso, deve-se atentar para como as alternativas de transporte são formadas. Poucos casos apresentarão alternativas formadas com apenas um modo (unimodal), sendo a maioria intermodal.

Se for unimodal, o caso mais simples, o avaliador deverá ter apenas o resultado de cada medida para cada modo que representará cada uma das alternativas modais. Caso a alternativa seja formada por mais de um modo, e como cada um apresenta resultados diferentes para as medidas, os valores apurados podem ser representados por uma ponderação que considere um parâmetro de intensidade de uso (p. ex.: distância percorrida por modo ou tempo total gasto no modo) no percurso total da alternativa modal em questão. Neste caso, é de grande utilidade a matriz de distâncias.

A equação 5.2 representa uma forma de cálculo das medidas, utilizando a ponderação pela distância para o caso de alternativas intermodais.

$$Medida_k = \frac{\sum_{i,k=1}^{m,n} distância_i \cdot xmedida_{ki}}{\sum_{i=1}^m distância_i} \quad (5.2)$$

Logo, a medida única para uma alternativa intermodal k é igual ao somatório da distância percorrida pelo modo i , multiplicado pelo valor dessa medida k para o modo i , dividido pelo somatório das distâncias percorridas pelos modos i , que compõem a respectiva alternativa.

Como resultado do segundo nível dessa etapa, é obtido um quadro que já representa o resultado individual da avaliação de desempenho, mas como cada medida pode possuir uma dimensão diferente ainda é difícil a tomada de decisão, já que uma alternativa pode

ter melhor desempenho em alguns atributos e em outros não. Nessa fase, também ainda não são aplicados os pesos definidos na segunda etapa.

5.7. Etapa 7 – Agregação

A última etapa do método é a agregação, que busca identificar um único valor para os diferentes modos de transporte em função do seu desempenho. O resultado obtido a partir do Método de Escolha Modal é um conjunto de alternativas hierarquizadas.

Nessa etapa, são agregados os resultados de cada medida e as ponderações consideradas em etapas anteriores. O MEM baseia-se em um resultado final que permita unificar em um número o resultado dos vários atributos para cada alternativa.

No primeiro nível, é apurado o desempenho modal, comparando as alternativas umas com as outras. Sem perda de flexibilidade na aplicação, o Método de Escolha Modal permite a utilização de técnicas ou ferramentas que se enquadrem melhor aos objetivos específicos da avaliação. Para isto, podem ser utilizadas técnicas de apoio multicritério à decisão, como as listadas na Tabela 4.4. Também podem ser utilizados modelos híbridos dessas técnicas.

As técnicas utilizadas devem permitir que os valores apurados para cada medida sejam colocados em uma mesma base, já que os mesmos têm dimensões e escalas muito diferentes. Recomenda-se então que seja utilizada alguma forma de normalização dos valores das séries referentes aos atributos para que os mesmos fiquem, por exemplo, em um intervalo entre 0 e 1.

A comparação dos valores obtidos com níveis de referência faz parte do segundo nível dessa etapa. A série que é considerada o *benchmark* do sistema, conforme etapa 4, pode ser determinada de duas formas: (1) quantificação por meio de pesquisa de campo para identificar o melhor desempenho para uma determinada medida ou (2) como o *benchmark* também deve ser normalizado para que seja possível a comparação com os resultados obtidos nas medições, a série pode assumir o valor 1, o que permitirá avaliar que, quanto mais próximo desse número for o resultado da avaliação, mais próximo do ideal a alternativa estará.

No terceiro nível, é realizada a hierarquização de alternativas. Os atributos podem ser combinados após a normalização, utilizando-se critérios de pesos estabelecidos na etapa 2, chegando-se a um único número que represente o resultado do desempenho da alternativa.

Após a utilização da técnica escolhida, todas as alternativas são apresentadas em uma lista de forma hierarquizada. Assim, será possível ao avaliador analisar os resultados e escolher a alternativa modal mais adequada ao seu objetivo.

De posse dessa lista, o avaliador pode fazer testes de sensibilidade, criando cenários e alterando os pesos utilizados. Também é indicada a utilização de outras técnicas de auxílio multicritério para comparação dos resultados.

Caso as alternativas já tenham sido avaliadas vezes anteriores, é possível ainda comparar com os resultados atuais e apurar se há alteração no desempenho. Recomenda-se também que os resultados da avaliação sejam enviados aos especialistas para ratificar ou ainda melhorar a avaliação, incluindo questões não consideradas anteriormente. Desta forma, a idéia de um ciclo interativo e contínuo do método será colocada em prática.

5.8. Conclusão do Capítulo

O MEM é flexível em todas as suas etapas, tornando-o viável para a resolução de problemas em que a avaliação de desempenho mostra-se relevante para a tomada de decisão.

O MEM apresenta estrutura modular e cada etapa tem uma diversidade de formas de realização que permite, inclusive, a utilização em diferentes contextos e pontos de vista, com diversos tipos de técnicas de análise, atributos, indicadores, medidas e respectivas atribuições de pesos de forma variada.

Essa flexibilidade apresenta um diferencial, pois permite que os transportadores, produtores e governo, que tenham uma estrutura mínima de gestão, possam aplicá-los e melhorar o seu processo de tomada de decisão, tornando o MEM um método acessível para uso por parte de todos os elementos envolvidos no ambiente do transporte de carga.

6. APLICAÇÃO PILOTO DO MÉTODO DE ESCOLHA MODAL – MEM

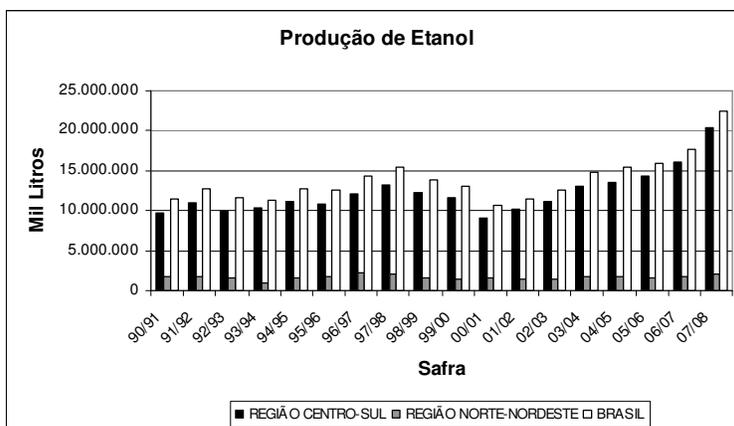
Para aplicação do método, propõem-se a escolha entre quatro modos de transportes e suas combinações utilizadas para o bioetanol em um caso prático. A seguir, são apresentadas as sete etapas do MEM com os seus respectivos resultados.

6.1. Estudo de caso

Na presente seção, é apresentado um estudo de caso real com base na rede de transporte da produção de bioetanol da Região Centro-Sul do Brasil para a exportação. Os modos de transporte com potencial de utilização são rodoviário, ferroviário, dutoviário e hidroviário. Para cada um dos modos de transporte mencionados, os valores para quantificação dos atributos a serem considerados foram obtidos por meio de pesquisa documental.

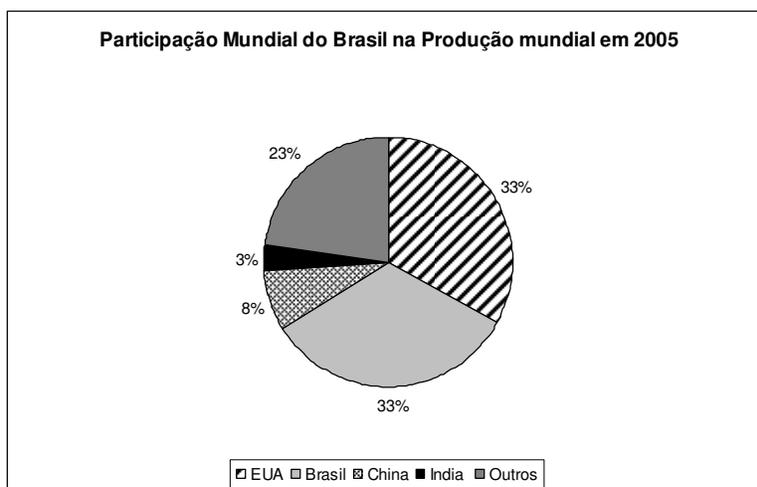
Os combustíveis são os produtos perigosos de maior volume transportado no Brasil (IBGE, 2008). Em função da tendência de utilização mundial dos biocombustíveis, do aumento do número de carros bicombustível, do crescente volume de produção/exportação e dos incentivos governamentais, o bioetanol tem destaque no *ranking* de combustíveis utilizados no Brasil e no mundo.

O Brasil é um dos grandes produtores mundiais e domina o processo produtivo desse combustível (UNICA, 2008) a partir da cana-de-açúcar desde os anos 80 e isso fez com que o país elevasse sua participação no *ranking* mundial, se tornando o maior produtor, responsável por 33% de todo o bioetanol produzido no mundo (Rodrigues, 2007). As Figuras 6.1 e 6.2 demonstram o crescimento da produção brasileira e sua participação no *ranking* mundial.



Fonte: UNICA (2008)

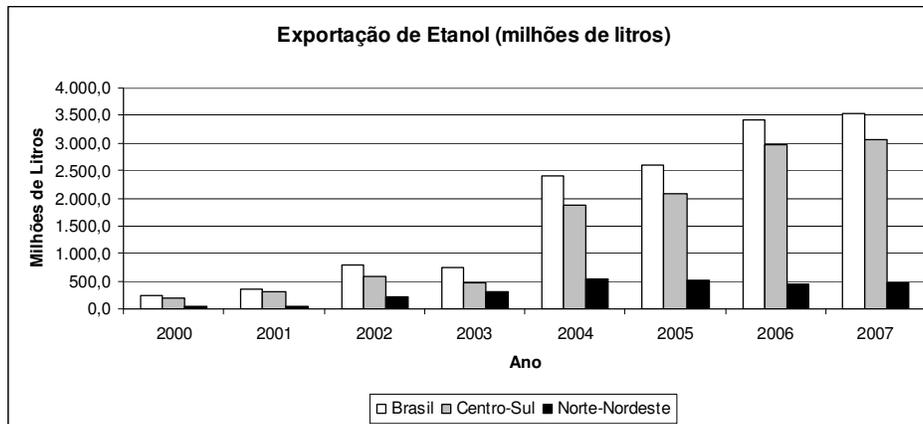
Figura 6.1 – Evolução da produção de bioetanol no Brasil



Fonte: RFA (2006 *apud* Rodrigues, 2007)

Figura 6.2 – Participação Mundial dos 10 maiores produtores de bioetanol

Dentro do cenário nacional, a Região Centro-Sul é a maior produtora de bioetanol, sendo responsável por cerca de 90% de toda a produção. Em 2007, a mesma região foi responsável por 87% de todo o volume exportado (UNICA, 2008). A Figura 6.3 mostra o crescimento da exportação nos últimos anos.



Fonte: UNICA (2008)

Figura 6.3 – Evolução da exportação de bioetanol no Brasil

A Região Centro-Sul do Brasil compreende os quatro estados do Sudeste, os estados do Centro-Oeste, excetuando-se Tocantins, Paraná e Distrito Federal, sendo considerada a região mais importante do país no que diz respeito à produção de bioetanol. São 280 unidades produtoras situadas nessa região, sendo que 167 estão concentradas no interior de São Paulo (Rodrigues 2007; UNICA, 2008), conforme mostra Figura 6.4.



Fonte: Rodrigues (2007); UNICA (2008)

Figura 6.4 – Região Centro-Sul do Brasil e unidades produtoras de bioetanol

6.1.1. Etapa 1 – Definições Iniciais

Nível 1 – Carga

A carga transportada é o bioetanol produzido em São Paulo. É um produto que está classificado como um líquido inflamável, número ONU 1170 e geralmente é carregado a granel em veículos rodoviários combinados, denominados de bitrem tanque, em composição ferroviária com vagões-tanque ou em comboio hidroviário.

Pela sua classificação, possui número de risco 33, sendo um líquido muito inflamável e tóxico. Apresenta riscos de combustão e explosão.

Nível 2 – Transporte

Foi identificada a rede disponível para transporte do bioetanol com base nas informações da TRANSPETRO (2008a), que relaciona 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 na ANTT (2008).

Para exportação, considera-se apenas o porto de São Sebastião em São Paulo. Segundo Rodrigues (2007), esse porto está mais bem preparado para esse tipo de produto, possui um terminal da TRANSPETRO e, em médio prazo, será um dos principais terminais exportadores de bioetanol.

Para aplicação do MEM, o ponto de origem é a cidade de Turvelândia, situada no Estado de Goiás, e que está entre as 10 maiores produtoras de bioetanol do Brasil (Rodrigues; 2007). Sua escolha se deve à posição geográfica, que permite a utilização das várias alternativas modais para aplicar o MEM.

Conforme recomendado pelo MEM, foi confeccionada a matriz de distância x modo para auxiliar na montagem da rede, conforme Tabela 6.1.

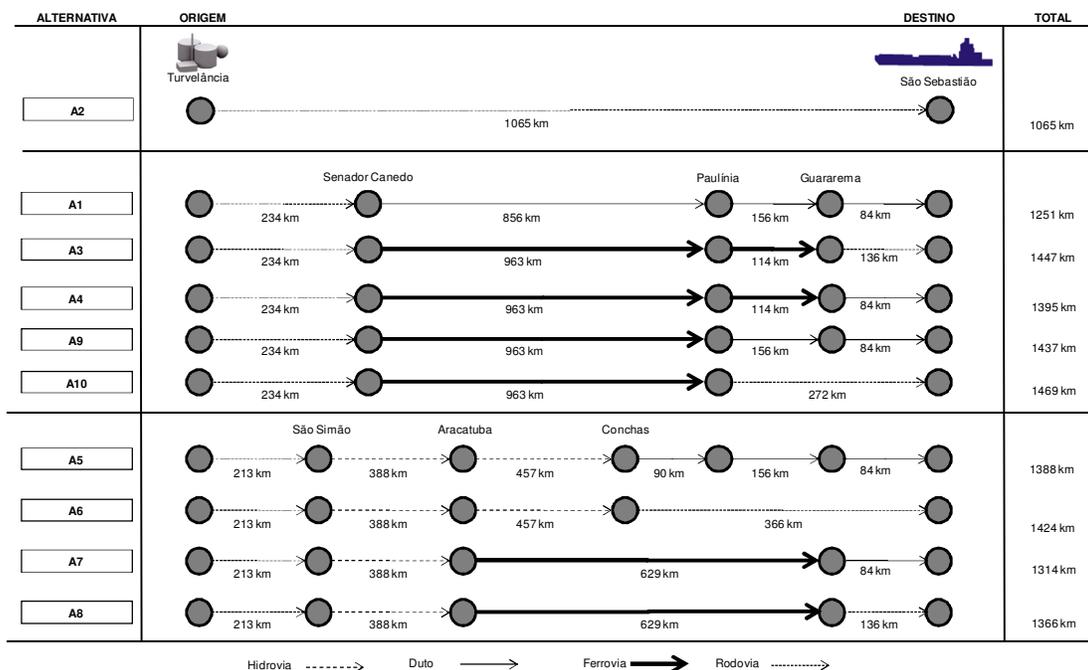
Tabela 6.1 – Matriz de distância x modo para a rede estudada

Terminal	Modo	Senador		São		Ribeirão			
		Canedo	Simão	Araçatuba	Uberaba	Preto	Conchas	Paulínia	Guararema
São Simão	Rodoviário	384	-						
	Ferrovário	-	-						
	Dutoviário	-	-						
	Aquaviário	-	-						
Araçatuba	Rodoviário	683	412	-					
	Ferrovário	-	-	-					
	Dutoviário	-	-	-					
	Aquaviário	-	388	-					
Uberaba	Rodoviário	456	356	373	-				
	Ferrovário	-	-	-	-				
	Dutoviário	417	-	-	-				
	Aquaviário	-	-	-	-				
Ribeirão Preto	Rodoviário	628	454	326	174	-			
	Ferrovário	-	-	-	-	-			
	Dutoviário	577	-	-	160	-			
	Aquaviário	-	-	-	-	-			
Conchas	Rodoviário	899	731	341	472	306	-		
	Ferrovário	-	-	-	-	-	-		
	Dutoviário	867	-	-	450	290	-		
	Aquaviário	-	845	457	-	-	-		
Paulínia	Rodoviário	836	700	448	382	216	140	-	
	Ferrovário	963	-	-	-	-	-	-	
	Dutoviário	777	-	-	360	290	90	-	
	Aquaviário	-	-	-	-	-	-	-	
Guararema	Rodoviário	1012	876	597	558	392	257	171	-
	Ferrovário	-	-	629	-	-	-	114	-
	Dutoviário	933	-	-	516	356	246	156	-
	Aquaviário	-	-	-	-	-	-	-	-
São Sebastião	Rodoviário	1121	985	706	667	501	366	272	136
	Ferrovário	-	-	-	-	-	-	-	-
	Dutoviário	1017	-	-	600	440	330	240	84
	Aquaviário	-	-	-	-	-	-	-	-

Notas: - = distância não levantada ou não existente

Fonte: TRANSPETRO (2008a); ANTT (2008); Google Maps (2008); Rodrigues (2007)

Adotou-se a premissa de que todo o bioetanol produzido é coletado via modo rodoviário até a chegada a 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 bioetanol, respondendo por 96% da sua movimentação (Rodrigues, 2007). As alternativas modais consideradas estão apresentadas na Figura 6.5.



Notas: Veículos rodoviários bitrem tanque com capacidade para 45m³. Composição ferroviária com 100 vagões-tanque com capacidade de 103m³ cada. Comboio hidroviário com 4 chatas com capacidade de 1270m³ cada. Alcoolduto com capacidade de 33.000m³/dia.

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

Figura 6.5 - Rede para escoamento de bioetanol do Centro-Sul do Brasil para exportação

Algumas premissas se aplicam a todas as alternativas: (1) Foi considerado que toda a malha ferroviária possui infra-estrutura para o transporte de bioetanol; (2) Não são considerados os transbordos ferroviários necessários por diferenças de bitola; (3) São utilizados os terminais atuais e os propostos pelo projeto da TRANSPETRO (2008a) para escoamento do bioetanol; (4) Não foi considerado frete de retorno; (5) Os volumes transportados são suficientes e justificam a utilização de qualquer modo; (6) Todas as alternativas têm capacidade instalada para atender à demanda; (7) O transporte rodoviário está disponível para interligar qualquer ponto da rede.

Nível 3 - Desempenho

A categoria escolhida foi a ecoeficiência, pois se pretende avaliar o desempenho relacionado à eficiência por meio da associação da utilização de recursos com menores influências ambientais. Como o trabalho fundamenta-se em avaliação de desempenho

com base em medidas de ecoeficiência, os aspectos considerados são Valor do Serviço e Influências Ambientais, conforme Tabela 3.3.

O ponto de vista da avaliação escolhido foi o do transportador. Pretendeu-se identificar qual alternativa é mais adequada, de modo que se tenham maiores ganhos com transporte e menores influências ambientais provenientes dessa atividade. Cabe ressaltar que em alguns casos os transportadores são os próprios produtores e que não se privilegia um modo de transporte específico e sim uma rede apropriada.

O nível de análise é estratégico porque todas as ações decorrentes da decisão, associadas à rede de transporte, são de longo prazo e os dados utilizados estão em um nível de agregação que não permite maiores detalhamentos táticos ou operacionais. Com relação à abrangência da avaliação, considerou-se apenas parte do sistema (Figura 6.5) e não toda a rede disponível para o transporte e exportação de bioetanol do Brasil.

Saída da etapa 1

A Tabela 6.2 apresenta um resumo com a descrição dos parâmetros básicos para orientar a avaliação de desempenho, conforme orientações do MEM.

Tabela 6.2 - Descrição dos parâmetros básicos da avaliação de desempenho

Parâmetros	Descrição
Produto e suas características	Bioetanol – combustível líquido a granel para exportação
Rede e modos de transporte	Rede e alternativas intermodais, conforme Figura 6.5
Categorias	Ecoeficiência
Aspectos	Valor do serviço e Influências ambientais
Ponto de Vista	Transportadores
Nível de Análise	Estratégico
Abrangência	Parte do sistema

Fonte: Elaboração Própria (2010)

6.1.2. Etapa 2 – Atributos e Ponderações

Nível 1 - Escolha

Os atributos selecionados para essa aplicação são os apresentados na Tabela 3.3. Foi realizada a pesquisa de campo por meio de um questionário aplicado a especialistas, para identificar os mais relevantes, conforme descrito no capítulo 4. Utilizou-se a

tecnica *Delphi*, aplicada conforme apresentado na Figura 4.2, para que se pudesse obter o consenso dos respondentes quanto aos atributos a serem utilizados na escolha modal de produtos perigosos, especificamente o bioetanol.

Antes da aplicação dos questionários aos especialistas, foi feito o teste com esse instrumento de coleta de dados. O objetivo foi identificar possíveis falhas que pudessem trazer dúvidas às respostas, redundâncias ou ainda aumentar o tempo de resposta e de compreensão das questões. Para isso, o questionário confeccionado foi aplicado a discentes e docentes do Programa de Engenharia de Transportes da COPPE/UFRJ e a outros acadêmicos e profissionais que atuam na área de transporte que participaram do Congresso da Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transporte (Anpet) no ano de 2008.

Com o resultado desse teste, percebeu-se a necessidade de tornar o questionário mais sintético e objetivo. Outro ponto foi a questão de se acrescentar atributos não indicados pela revisão bibliográfica na primeira versão do questionário. Com esse teste, percebeu-se a necessidade de aplicação da técnica *Delphi* para que se obtivesse uma resposta mais consistente, já que o número disponível de especialistas não seria suficiente para uma boa representatividade estatística.

A seleção dos especialistas foi feita levando-se em consideração o conhecimento que cada um deveria ter nas áreas de transporte de carga, produtos perigosos e meio ambiente. A lista inicial era composta de 31 especialistas que atuam em órgãos governamentais estaduais e federais (ministérios, agências, secretarias e departamentos), associações e entidades representativas (transportadores e produtores), empresas (transportadoras e produtoras) e entidades de ensino e pesquisa na área de transporte.

Destaca-se que o método *Delphi* é aplicado em situações de amostragem não probabilística em que a qualidade do conhecimento dos especialistas e de suas respostas é mais representativa do que uma grande quantidade de respondentes (que representem estatisticamente uma população) que não tenham conhecimento a respeito do assunto tratado.

De posse da lista de especialistas, foi enviada uma mensagem eletrônica convidando os mesmos a participarem da pesquisa e explicando os objetivos para familiarizar os respondentes com o assunto em questão. Em anexo a essa mensagem, foi enviado o questionário referente à primeira rodada da aplicação da técnica *Delphi* (Anexo 1).

Resultado da aplicação da técnica Delphi – Primeira Rodada

Na primeira rodada, foram aplicados questionários em mídia impressa e digitalizados, utilizando-se a ferramenta *Google Docs*. Dos 31 especialistas contatados inicialmente, 20 responderam ao questionário na 1ª rodada, um retorno de 64,5%, dentro da média do intervalo de abstenção (30% a 50%) apresentado por Wright e Giovinazzo (2000).

Para efeitos de caracterização, a Tabela 6.3 apresenta um resumo dos principais dados dos respondentes, cuja formação varia de nível de graduação a doutorado, em áreas como administração, engenharia e gestão ambiental.

Tabela 6.3 – Caracterização dos respondentes na primeira rodada

Descrição	Total	Porcentagem (%)
Sexo:		
Masculino	17	85
Feminino	3	15
Faixa Etária:		
34 anos ou menos	7	35
Entre 35 e 44 anos	5	25
Entre 45 e 49 anos	5	25
50 anos ou mais	3	15
Área de atuação:		
Empresarial/profissional	11	55
Governamental	7	35
Acadêmica	2	10
Tempo de experiência em transporte de carga:		
Mais de 10 anos	8	40
Entre 6 e 10 anos	8	40
Entre 1 e 5 anos	2	10
Menos de 1 ano	2	10
Tempo de experiência em transporte de produtos perigosos:		
Menos de 1 ano	2	10
Entre 1 e 5 anos	7	35
Entre 6 e 10 anos	5	25
Mais de 10 anos	6	30
Tempo de experiência com transporte de bioetanol:		
Menos de 1 ano	14	70
Entre 1 e 5 anos	4	20
Entre 6 e 10 anos	0	0
Mais de 10 anos	2	10
Nível de conhecimento sobre as influências ambientais do transporte de produtos perigosos:		
Conhecimento decorre da atividade que exerce atualmente.	7	35
Considera-se conhecedor do assunto.	6	30
Conhecimento decorre de atividade que exerceu, mas não está atualizado.	3	15
Tem conhecimento apenas superficial do assunto.	2	10
Conhecimento decorre de atividade que exerceu e se mantém atualizado.	1	5
Conhecimento decorre de leituras por livre iniciativa.	1	5

Fonte: Pesquisa de campo (2009)

A Tabela 6.4 apresenta as questões que envolviam a opinião dos respondentes sobre o questionário. Dentre os comentários, destaca-se a sugestão de considerar o treinamento de condutores e o conhecimento sobre procedimentos de emergência. Essa sugestão não

parece viável em função do objetivo do questionário. Houve também a consideração de um dos respondentes sobre a relevância do trabalho, ressaltando que os impactos oriundos do transporte de produtos perigosos ainda não foram completamente medidos nem analisados. O respondente relata que o estudo com os indicadores de ecoeficiência poderá contribuir para orientar trabalhos de outros pesquisadores.

Tabela 6.4 – Opinião dos respondentes sobre o questionário

Descrição	Total	Porcentagem (%)
Grau de pertinência do assunto:		
Altíssimo	3	15
Muito alto	11	55
Alto	5	25
Médio	1	5
Participação nos outros questionários:		
Gostaria de participar dos outros questionários.	11	55
Estou disposto, mas não ansioso em participar dos outros questionários.	7	35
Eu prefiro não participar dos outros questionários.	2	10
Comentário (observações):		
Sem comentário	12	60
Com comentário	8	40

Fonte: Pesquisa de campo (2009)

A partir de um conjunto de indicadores de valor do serviço e de influências ambientais, foi solicitada a classificação dos mesmos pelos respondentes, conforme mostram as Tabelas 6.5 e 6.6, com os resultados já consolidados. A atribuição de valores de importância foi feita a partir de uma escala intervalar de 1 a 7, conforme Capítulo 4.

Analisando as tabelas, nota-se que a soma dos graus de relevância dos indicadores de influências ambientais e de valor de serviço é muito equilibrada. Esse fato ocorreu porque os respondentes, nesta pesquisa, puderam atribuir os mesmos valores de importância, dentro da escala em questão, para os diferentes quesitos.

Para verificar a convergência dos dados na primeira rodada, foram utilizadas as equações 4.2 e 4.3. A equação 4.1 não foi utilizada devido à escala intervalar utilizada que não se adere à medição por média. A convergência de um atributo foi considerada se, em pelo menos um dos resultados das equações apresentadas, o resultado fosse menor ou igual a 25%.

Tabela 6.5 – Convergência dos Atributos de Valor do Serviço na 1ª Rodada.

Atributo	Q1	Q3	Mediana	CV2 (<25%)	CV3 (<25%)
Valor Monetário	4,00	6,75	6,00	0,46	0,46
Serviço produzido	5,00	7,00	6,00	0,33	0,33

Fonte: Pesquisa de campo (2009)

Observa-se que os atributos obtiveram mediana 6, mas não apresentaram convergência em nenhuma das duas medidas utilizadas.

Tabela 6.6 – Convergência dos Atributos de Influências Ambientais na 1ª Rodada.

Atributo	Q1	Q3	Mediana	CV2 (<25%)	CV3 (<25%)
Consumo de energia	6,00	7,00	7,00	0,14	0,17
Emissão de gases de efeito estufa	6,00	7,00	7,00	0,14	0,17
Poluição Atmosférica	6,00	7,00	7,00	0,14	0,17
Poluição visual	3,00	6,00	4,00	0,75	0,50
Poluição sonora	3,75	6,25	5,00	0,50	0,42
Segurança	7,00	7,00	7,00	0,00	0,00
Poluição térmica	3,75	6,25	4,50	0,56	0,42
Poluição da água e do solo	5,00	7,00	6,00	0,33	0,33
Consumo de material	4,75	7,00	5,50	0,41	0,38
Consumo de água	5,00	7,00	5,00	0,40	0,33

Fonte: Pesquisa de campo (2009)

Dentre os atributos listados na Tabela 6.6, destacam-se os que obtiveram mediana com grau máximo e que convergiram para as duas medidas, sendo que a unanimidade está relacionada ao atributo segurança cujos CV foram iguais a zero.

Pela análise das Tabelas 6.5 e 6.6, observa-se que não se obteve consenso entre os respondentes com relação aos atributos, conforme mostram os coeficientes de variação (CV₁ e CV₂), o que levou à realização da segunda rodada do método *Delphi*.

Resultado da aplicação da técnica Delphi – Segunda Rodada

Na segunda rodada, os questionários foram enviados para os 20 respondentes da primeira rodada, dos quais 16 enviaram suas respostas, o que representa um retorno de 80%, considerado um bom índice para esse tipo de pesquisa (Wright e Giovinazzo, 2000; Grisi e Brito, 2002).

Nessa rodada, cada participante recebeu o questionário (Anexo 2) da primeira rodada apenas com os atributos para atribuição de grau de importância, acrescido da mediana das respostas do grupo e da respectiva resposta individual. Dessa forma, foi possível a cada especialista reavaliar sua resposta em relação ao grupo, sendo possível manter os

valores da primeira rodada ou, caso julgasse conveniente, mudar os valores dentro da escala de 1 a 7. Assim como na primeira rodada, foi deixado um espaço para comentários e/ou sugestões. Para efeitos de caracterização, a Tabela 6.7 apresenta um resumo dos principais dados dos respondentes dessa rodada.

Tabela 6.7 – Caracterização dos respondentes na segunda rodada

Descrição	Total	Porcentagem (%)
Sexo:		
Masculino	14	88
Feminino	2	13
Faixa Etária:		
34 anos ou menos	6	38
Entre 35 e 44 anos	3	19
Entre 45 e 49 anos	5	31
50 anos ou mais	2	13
Área de atuação:		
Empresarial/profissional	9	56
Governamental	6	38
Acadêmica	2	13
Tempo de experiência em transporte de carga:		
Mais de 10 anos	8	50
Entre 6 e 10 anos	5	31
Entre 1 e 5 anos	1	6
Menos de 1 ano	2	13
Tempo de experiência em transporte de produtos perigosos:		
Menos de 1 ano	2	13
Entre 1 e 5 anos	6	38
Entre 6 e 10 anos	3	19
Mais de 10 anos	5	31
Tempo de experiência com transporte de bioetanol:		
Menos de 1 ano	10	63
Entre 1 e 5 anos	4	25
Entre 6 e 10 anos	0	0
Mais de 10 anos	2	13
Nível de conhecimento sobre as influências ambientais do transporte de produtos perigosos:		
Conhecimento decorre da atividade que exerce atualmente.	6	38
Considera-se conhecedor do assunto.	5	31
Conhecimento decorre de atividade que exerceu, mas não está atualizado.	3	19
Tem conhecimento apenas superficial do assunto.	1	6
Conhecimento decorre de atividade que exerceu e se mantém atualizado.	0	0
Conhecimento decorre de leituras por livre iniciativa.	1	6

Fonte: Pesquisa de campo (2009)

Observa-se que na segunda rodada os especialistas que se abstiveram foram aqueles com menor tempo de experiência e conhecimento no assunto. Na parte destinada aos comentários/sugestões, nenhum respondente deixou algo registrado.

Para verificar a convergência das respostas, foram utilizadas as mesmas equações 4.2 e 4.3. Nessa rodada, todos os atributos convergiram para ao menos uma das medidas, conforme Tabelas 6.8 e 6.9.

Tabela 6.8 – Convergência dos Atributos de Valor do Serviço na 2ª Rodada.

Atributo	Q1	Q3	Mediana	CV2 (<25%)	CV3 (<25%)
Valor Monetário	5,00	6,00	6,00	0,17	0,17
Serviço Produzido	5,00	6,00	6,00	0,17	0,17

Fonte: Pesquisa de campo (2009).

Analisando a tabela, verifica-se que os especialistas consideram os atributos igualmente importantes, sendo que todos tiveram grau 6 e mesmo coeficiente de variação. Para o caso dos atributos de valor de serviço, foram apresentados indicadores para que os respondentes fizessem a mesma classificação. Uma constatação é o fato de que todos os indicadores relacionados ao atributo valor monetário tiveram melhor convergência, indicando maior preferência dos especialistas pelo mesmo, conforme Tabela 6.9.

Tabela 6.9 – Convergência dos Indicadores de Valor do Serviço na 2ª Rodada.

Atributo	Indicador	Q1	Q3	Mediana	CV2 (<25%)	CV3 (<25%)
Valor Monetário	Receita de frete recebida	5,75	6,00	6,00	0,04	0,04
	Valor monetário da carga	5,00	6,00	6,00	0,17	0,17
	Receita líquida	5,00	6,00	6,00	0,17	0,17
	Quantidade transportada	5,00	6,00	6,00	0,17	0,17
Serviço Produzido	Distância percorrida	5,75	7,00	6,00	0,21	0,21
	Momento de transporte	5,00	6,25	6,00	0,21	0,21
	Volume transportado	5,00	6,25	5,50	0,23	0,21

Fonte: Pesquisa de campo (2009).

Analisando a Tabela 6.10, verifica-se que os especialistas consideram os atributos praticamente com o mesmo nível de importância, sendo que, com exceção do volume transportado que obteve mediana 5,5, todos os outros tiveram grau 6.

Tabela 6.10 – Convergência dos Atributos de Influência Ambiental na 2ª Rodada.

Atributo	Q1	Q3	Mediana	CV2 (<25%)	CV3 (<25%)
Segurança	7,00	7,00	7,00	0,00	0,00
Consumo de energia	6,00	7,00	7,00	0,14	0,17
Emissão de gases de efeito estufa	6,00	7,00	7,00	0,14	0,17
Poluição atmosférica	6,00	7,00	7,00	0,14	0,17
Poluição da água e do solo	5,00	6,00	6,00	0,17	0,17
Consumo de material	5,00	6,00	5,00	0,20	0,17
Consumo de água	5,00	6,00	5,00	0,20	0,17
Poluição sonora	4,75	6,00	5,00	0,25	0,21
Poluição térmica	4,00	5,25	5,00	0,25	0,21
Poluição visual	4,00	5,00	4,50	0,22	0,17

Fonte: Pesquisa de campo (2009).

A Tabela 6.10 mostra os atributos que obtiveram as maiores medianas e os menores coeficientes de variação, sendo aqueles que devem ser considerados como prioritários para formação de medidas de ecoeficiência. Destacam-se também aqueles com menores medianas, que devem ter menor prioridade para consideração na avaliação de desempenho em transportes, considerando influências ambientais.

Os atributos escolhidos para a avaliação de desempenho foram: (1) Valor do serviço – Valor monetário e (2) Influências ambientais – Segurança, Consumo de energia, Emissão de gases de efeito estufa, Poluição atmosférica, Poluição da água e do solo.

Nível 2 – Ponderação

Para essa aplicação, a ponderação dos atributos escolhidos no nível 1 dessa etapa será a mesma, pois todos são considerados igualmente importantes. Essa ponderação é reforçada pelo fato de que todos tiveram medianas entre 6 e 7, sendo o extremo superior da escala utilizada.

Saída da etapa 2

A Tabela 6.11 apresenta a lista contendo os aspectos e os atributos escolhidos para a aplicação.

Tabela 6.11 – Atributos escolhidos para a aplicação.

Aspecto	Atributo
Valor do Serviço	Valor monetário
Influências Ambientais	Segurança
	Consumo de energia
	Emissão de gases de efeito estufa
	Poluição atmosférica
	Poluição da água e do solo

Fonte: Pesquisa de campo (2009).

6.1.3. Etapa 3 – Indicadores e Medidas

Nível 1 - Indicadores

Com base na Tabela 3.3, foram selecionados indicadores associados a cada atributo para o estabelecimento das medidas de ecoeficiência, conforme Tabela 6.12. O indicador de valor de serviço foi escolhido com base na pesquisa realizada com os especialistas e os de influência ambiental foram selecionados pelo autor com base na pesquisa bibliográfica realizada que possibilitou a escolha daqueles que representam melhor os atributos indicados pela pesquisa de campo.

Tabela 6.12 – Indicadores escolhidos para cada atributo

Aspecto	Atributo	Indicadores	Unidade
Valor do Serviço	Valor monetário	Receita com frete recebida - IVS	US\$
Influências Ambientais	Segurança	Custo total com acidentes - IIA1	US\$
	Consumo de energia	Consumo total de energia - IIA2	MJ
	Emissão de gases de efeito estufa	Emissão de CO ₂ - IIA3	kg
	Poluição atmosférica	Emissões de SOx, NOx, CO e MP – IIA4	g
	Poluição da água e do solo	Quantidade descartada de óleo na manutenção – IIA5	l

Fonte: A partir da Tabela 3.3 e com base na pesquisa de campo (2009).

O indicador receita de frete recebida foi escolhido para representar o valor do serviço, uma vez que obteve a maior mediana e o menor coeficiente de variação. Para o indicador do atributo segurança, foi o escolhido o custo total com acidentes pelo fato deste representar melhor quantitativamente os acidentes.

No caso do consumo de energia, foi considerado o consumo total de energia. Esse indicador é o único que considera toda a energia consumida por uma alternativa. Como as fontes de energia utilizadas pelos diferentes modos variam de energia elétrica (caso do dutoviário) a combustíveis fósseis, a melhor unidade de medida para esse indicador é o Mega-Joule – MJ.

Para os gases de efeito estufa, foi escolhido o CO₂ pelo fato do mesmo ser o mais fácil de calcular dentre os gases dessa classe, principalmente para o caso dos transportes, pois existe um vínculo direto entre a estimativa de sua emissão e o consumo de combustíveis. Para poluição atmosférica, também foram utilizados os poluentes usualmente considerados para o setor de transportes sendo: SOx, NOx, CO e MP.

Por fim, escolheu-se o óleo descartado na manutenção dos veículos para o atributo poluição da água e do solo. Todos os indicadores foram escolhidos também pela disponibilidade dos dados relacionados aos mesmos.

Nível 2 - Medidas

De acordo com os conceitos apresentados no capítulo 3, foi utilizada a equação 3.1 para a formação de medidas de ecoeficiência para aplicação neste trabalho. Desta forma, o indicador de Valor de Serviço escolhido foi combinado com os demais indicadores de Influência Ambiental, dando origem a cinco medidas de ecoeficiência, conforme Tabela 6.13.

Saída da etapa 3

A Tabela 6.13 apresenta as cinco medidas de ecoeficiência como saída da etapa 3.

Tabela 6.13 – Medidas de ecoeficiência a partir da equação 3.1

Medida	Equação	Unidade	Descrição
M1	IVS / IIA1	Adimensional	Receita de frete recebida /Custo total com acidentes
M2	IVS / IIA2	US\$/MJ	Receita de frete recebida/Consumo total de energia
M3	IVS / IIA3	US\$/kg	Receita de frete recebida/Emissão de CO ₂
M4	IVS / IIA4	US\$/g	Receita de frete recebida/Emissões de SO _x , NO _x , CO e MP
M5	IVS / IIA5	US\$/l	Receita de frete recebida/Quantidade descartada de óleo na manutenção

Fonte: Elaboração Própria (2010)

6.1.4. Etapa 4 – Padrões de desempenho

Essa etapa refere-se ao levantamento dos níveis de desempenho referenciais para cada medida. Para a aplicação apresentada, encontrou-se dificuldade para estabelecimento de *benchmark* para as medidas utilizadas em função da falta de estatísticas apropriadas no transporte. Como a técnica utilizada (Análise Relacional *Grey*) prevê que todos os resultados são normalizados, o nível de referência para cada medida é igual a 1. Quanto mais próximo desse valor, melhor o desempenho para a referida medida.

Saída da etapa 4

Todas as medidas têm o mesmo padrão de desempenho para alcançar, conforme Tabela 6.14.

Tabela 6.14 – Padrão de desempenho para as medidas de ecoeficiência normalizadas

Medida	Equação	Padrão de desempenho*
M1	IVS / IIA1	1
M2	IVS / IIA2	1
M3	IVS / IIA3	1
M4	IVS / IIA4	1
M5	IVS / IIA5	1

* conforme proposto pela técnica de auxílio multicritério à decisão utilizada (GRA)

Fonte: Elaboração Própria (2010)

6.1.5. Etapa 5 – Coleta de Dados

Os dados coletados referem-se aos indicadores apresentados na etapa 3 e são apresentados a seguir. Como cada modo apresenta valores diferentes para os indicadores e existem alternativas que são combinações dos modos, foi utilizada a equação 5.2, que prevê os resultados dos indicadores de cada alternativa com base em uma média ponderada pela distância percorrida por modo no percurso total. As distâncias percorridas por cada modo e as respectivas ponderações estão nas Tabelas 6.15 e 6.16.

Tabela 6.15 – Distâncias percorridas por cada modo em cada alternativa.

Alternativas	Distâncias (km)				
	Rodoviário	Ferrovário	Dutoviário	Hidroviário	Km Total
A1	234	-	1017	-	1251
A2	1065	-	-	-	1065
A3	370	1077	-	-	1447
A4	234	1077	84	-	1395
A5	213	-	330	845	1388
A6	579	-	-	845	1424
A7	213	629	84	388	1314
A8	349	629	-	388	1366
A9	234	963	240	-	1437
A10	506	963	-	-	1469

Fonte: Elaboração própria (2010)

Tabela 6.16 – Ponderação pelas distâncias percorridas pelos modos em cada alternativa

Alternativas	Ponderação pela Distância				
	Rodoviário	Ferrovário	Dutoviário	Hidroviário	Km Total
A1	19%	0%	81%	0%	100%
A2	100%	0%	0%	0%	100%
A3	26%	74%	0%	0%	100%
A4	17%	77%	6%	0%	100%
A5	15%	0%	24%	61%	100%
A6	41%	0%	0%	59%	100%
A7	16%	48%	6%	30%	100%
A8	26%	46%	0%	28%	100%
A9	16%	67%	17%	0%	100%
A10	34%	66%	0%	0%	100%

Fonte: Elaboração Própria (2010)

Receita de frete recebida – IVS

Rodrigues (2007) apresenta os valores de frete para o transporte de bioetanol praticados na Região Centro-Sul do Brasil para os vários modos utilizados. Como o estudo prevê adotar uma unidade padrão, a receita em R\$/m³.km apresentada por Rodrigues (2007) foi convertida em R\$/1000.t.km, sendo que 1m³ de álcool anidro tem massa de 0,791 tonelada. Os fretes são apresentados na Tabela 6.17.

Tabela 6.17 – Frete para o transporte de bioetanol

Modo	Receita em R\$/m ³ .km	Receita em R\$/1000.t.km
Dutoviário	0,08	101,14
Hidroviário	0,06	75,85
Ferrovário	0,10	126,42
Rodoviário	0,15	189,63

Fonte: Rodrigues (2007)

O mesmo autor disponibiliza dados do valor de transbordo necessários para a mudança de modo de transporte, que são apresentados na Tabela 6.18 apenas para os terminais e modos utilizados. Os valores são apresentados em R\$/t e foram transformados para R\$/1000.t.km com base na distância percorrida em cada alternativa.

Tabela 6.18 – Valores cobrados pelo serviço de transbordo de bioetanol.

Terminal	Modo	Receita em R\$/m ³	Receita em R\$/t
Senador Canedo	Rodoviário - Dutoviário	12,00	15,17
	Rodoviário - Ferroviário	12,00	15,17
São Simão	Rodoviário - Hidroviário	12,00	15,17
Conchas	Hidroviário - Dutoviário	6,00	7,59
	Hidroviário - Rodoviário	6,00	7,59
Araçatuba	Hidroviário - Ferroviário	12,00	15,17
Paulínia	Ferroviário - Dutoviário	12,00	15,17
	Ferroviário - Rodoviário	12,00	15,17
Guararema	Ferroviário - Dutoviário	12,00	15,17
	Ferroviário - Rodoviário	12,00	15,17
São Sebastião	Rodoviário - Marítimo	11,50	14,54
	Dutoviário - Marítimo	11,50	14,54

Fonte: Rodrigues (2007)

Custo total com acidentes - IIA1

O custo total com acidentes está associado ao atributo considerado mais importante pelos especialistas. Entretanto, apesar disso, as estatísticas brasileiras estão muito aquém da necessidade de pesquisadores que queiram investigar sua relação com o transporte. Não está disponível uma estatística nacional que indique a quantidade de acidentes ocorrida, bem como seus respectivos custos para cada modo de transporte.

Para o caso de produtos perigosos, as estatísticas são mais escassas, sendo encontradas informações apenas referentes ao Estado de São Paulo, conforme capítulo 2. Por isso, neste trabalho, foram feitas estimativas a fim de se chegar a um valor razoável para uso na aplicação.

O primeiro passo foi estimar os custos médios por acidentes para cada modo de transporte. No caso do modo rodoviário, o DNIT (2004) apresenta um estudo em que se constata um custo médio por acidente com valores já atualizados pelo autor para o ano de 2009 de R\$ 65.350,00.

Para o transporte ferroviário, recorreu-se à fonte da MRS Logística (2009), que apresenta um custo médio por acidente de R\$ 71.160,00. Essa concessionária é bem representativa, pois está entre as maiores em volume transportado de cargas (Leite, 2009).

Segundo a ANTAq (2009a), os custos de acidentes no transporte hidroviário (interior) são um quarto do que se estima para o modo ferroviário. Desta forma, foi estimado um custo médio por acidente para esse modo de R\$ 17.790,00.

Por fim, para o modo dutoviário, esse estudo baseou-se em Pezzi Filho (2003), que investigou os riscos de acidentes e os respectivos custos em oleodutos. Com bases nos dados obtidos, chega-se a um custo médio, atualizado para o ano de 2009, de R\$ 461.520,00 por acidente.

Como o valor foi muito maior que os encontrados nos outros modos e não se tendo base de outras referências nacionais, investigaram-se os valores de custo por acidente nos Estados Unidos. Restrepo *et al.* (2009) apresentam em um estudo relacionado à infra-

estrutura de dutos, a custos de acidentes e a seus conseqüentes impactos. Um custo médio de US\$ 430.250,00, que em moeda nacional seria R\$ 787.357,00, ratificando a dimensão do valor encontrado. PHMSA (2010) também apresenta uma estatística americana, na qual o custo médio de acidentes em dutos é de US\$ 392.155,00, equivalente a R\$ 717.645,00.

No período de pesquisa, foram contatados cinco funcionários da Transpetro e Petrobras para levantamento das estatísticas, já que o transporte por dutos está praticamente todo sob controle dessas empresas. As respostas obtidas foram que os dados são confidenciais e que por isso não seria possível o acesso.

O segundo passo foi transformar esses valores em custo de acidentes por toneladas-quilômetros. Para o transporte rodoviário, o DNIT (2004) apresenta o total de acidentes de trânsito igual a 94.166 e indica que 28% destes envolveram veículos de carga, o que gera um valor final de 26.366 acidentes. Com base no valor médio por acidentes, no total de acidentes e na produção do transporte rodoviário no mesmo ano (CNT, 2005), chega-se ao valor monetário de acidentes por t.km.

A estimativa do transporte ferroviário baseou-se no total de acidentes em ferrovias (ANTT, 2005), que foi de 2.222. A apuração do valor foi feita da mesma forma que no modo rodoviário, considerando-se o total gasto com acidentes pela produção de transporte ferroviário (CNT, 2005).

Para o caso do transporte dutoviário e hidroviário, foram usadas as estatísticas de São Paulo para o número de acidentes (CETESB, 2009) e a produção de transporte do mesmo estado (STSP, 2007). Com base nas informações descritas, foi montada a Tabela 6.19, que mostra o custo de acidentes em R\$/1000.t.km para cada modo.

Tabela 6.19 – Custo de acidentes de transporte.

Modo	Custo médio de acidentes (R\$)	Quantidade de acidentes	Custo total de acidentes (R\$)	Produção de transporte (t.km)	Custo de acidentes R\$/1000.t.km
Dutoviário	461.520,00	9 ⁽¹⁾	4.153.680,00	900.000.000,00 ⁽¹⁾	4,6152
Hidroviário	17.790,00	13 ⁽¹⁾	231.270,00	1.272.000.000,00 ⁽¹⁾	0,1818
Ferrovário	71.160,00	2.222	158.117.520,00	164.809.000.000,00	0,9594
Rodoviário	65.350,00	26.366	1.723.049.468,00	485.625.000.000,00	3,5481

Notas: (1) Dados do Estado de São Paulo.

Fonte: DNIT (2004), MRS Logística (2009), ANTAq (2009a), Pezzi Filho (2003), ANTT (2005), CNT (2005), CETESB (2009), STSP (2007).

Segundo a ANTAq (2009b), os modos rodoviário, ferroviário e hidroviário apresentam respectivamente R\$ 57,60, R\$ 14,40 e R\$ 3,60 por 1000 t.km de custos socioambientais, que incluem acidentes, poluição, consumo de água e consumo de espaço. Esses valores apresentam ordem de grandeza parecida com os valores apurados, o que ratifica a estimativa realizada, além do dutoviário ratificado pelas estatísticas americanas.

Consumo total de energia - IIA2

O consumo total de energia considera aquela proveniente da combustão do óleo diesel (combustíveis derivados do petróleo) para os modos rodoviário, ferroviário e hidroviário. Para o caso do transporte dutoviário, considera-se a energia hidroelétrica, principal fonte para as estações de bombeamento no Brasil. A Tabela 6.20 mostra o consumo de energia por modo.

Tabela 6.20 – Consumo total de energia por modo.

Modo	Óleo Diesel l/1000.t.km	Energia Elétrica kWh/1000.t.km	Total de Energia MJ/1000.t.km⁽²⁾
Dutoviário ⁽¹⁾	0,00	31,10	112,00
Hidroviário	7,40	0,00	283,60
Ferrovário	12,60	0,00	482,80
Rodoviário	43,40	0,00	1663,10

Notas: (1) Bombeamento por energia hidroelétrica. (2) 1KWh = 3,6MJ e 1litro diesel = 38,32MJ

Fonte: Odebrecht (2007); Ristinem e Kraushaar (1999); D'Agosto e Ribeiro (2009)

Emissão de CO₂ – IIA3

Foi considerada neste estudo a emissão de CO₂ proveniente da queima de combustível fóssil, no caso do óleo diesel. Com base no consumo de óleo diesel mostrado na Tabela

6.20 e no fator de emissão do diesel, segundo o GHG Protocol (2008), foi calculada a emissão de CO₂ para cada modo, conforme Tabela 6.21.

Tabela 6.21 – Emissão de CO₂ por modo

Modo	Óleo Diesel l/1000.t.km	Emissão de CO₂ kg/1000.t.km ⁽²⁾
Dutoviário ⁽¹⁾	0,00	0,00
Hidroviário	7,40	20,32
Ferrovário	12,60	34,60
Rodoviário	43,40	119,17

Notas: (1) Bombeamento por energia hidroelétrica. (2) Fator de emissão igual a 2,7458 kg por litro de diesel

Fonte: Odebrecht (2007); GHG Protocol (2008)

Pelo fato do transporte dutoviário no Brasil utilizar energia hidroelétrica para sua operação, foi considerada emissão nula de CO₂.

Emissões de SO_x, NO_x, CO e MP – IIA4

As emissões de SO_x, NO_x, CO e MP dependem de fatores, dentre eles a qualidade do combustível, o tipo e a tecnologia de motor, o perfil de operação, a temperatura do motor etc.

A bibliografia pesquisada apresenta uma série de informações, mas nenhuma é específica ao transporte brasileiro para os modos pesquisados, com exceção do rodoviário, e por isso foram adotadas fontes americanas. Com base em USEPA (2000) e USDOT (2010), foram levantados os fatores de emissão para os respectivos poluentes referentes a motores a diesel para diferentes tipos de veículos pesados de transporte, maquinário industrial, de construção civil, barcas e locomotivas.

Para o transporte hidroviário e ferroviário, podem ser consideradas as emissões americanas pelo fato da tecnologia dos veículos ser parecida. Segundo o Inventário Geral de Locomotivas no Brasil (Museu do Trêm, 2010), cerca de 90% das máquinas são fabricadas ou possuem tecnologia e projetos americanos dos fabricantes GE, GMD, EMD, WTCL. De um total de 1343 locomotivas analisadas, 1173 são americanas (incluindo as frotas da EFVM, MRS e FCA).

Para o modo hidroviário, Pereira (2007) cita que os empurradores da hidrovia Tiete-Paraná são movidos a diesel. Nos EUA, existem empurradores movidos a óleo diesel e a

óleo combustível e por isso tomou-se o cuidado de buscar fontes com os fatores de emissão relacionados ao diesel.

Para o caso do modo rodoviário, foram utilizados dados da ANFAVEA (2009) para as emissões brasileiras em que é feita comparação dos limites estabelecidos pelo PROCONVE com o verificado nas medições realizadas nos veículos.

Os valores americanos não levam em consideração características específicas ao Brasil, como perfil de utilização dos veículos e diferenças na composição do diesel. A Tabela 6.22 mostra os fatores de emissão para cada poluente considerado por modo.

Tabela 6.22 – Fatores de emissão de poluentes atmosféricos por modo

Fatores de emissão	NOx (g/hph)	MP (g/hph)	SOx (g/hph)	CO (g/hph)
Hidro	14,28	0,62	0,71	2,15
Ferro	15,20	0,38	0,75	1,56
Rodo	13,33	0,93	0,90	2,67

Fonte: USEPA(2000); USDOT (2010); ANFAVEA (2009)

Esse levantamento gerou uma média de fatores de emissão para cada poluente, sendo possível o cálculo por modo de transporte, conforme Tabela 6.23. Como os valores são dados em g/hph, os mesmos foram convertidos em g/l de diesel para posterior conversão em g/1000.t.km.

Tabela 6.23 – Emissões de NOx, SOx, CO e MP por modo.

Modo	Óleo Diesel l/1000.t.km ⁽²⁾	Emissão de NOx g/1000.t.km	Emissão de MP g/1000.t.km	Emissão de SOx g/1000.t.km	Emissão de CO g/1000.t.km	Emissão total de poluentes g/1000.t.km
Dutoviário ⁽¹⁾	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hidroviário	7,4	1,508	0,065	0,075	0,031	1,679
Ferrovário	12,6	2,734	0,068	0,135	0,022	2,959
Rodoviário	43,4	8,260	0,578	0,558	0,038	9,433

Notas: (1) Bombeamento por energia hidroelétrica. (2) 1 hph = 2684,6MJ = 70,06l diesel.

Fonte: Elaboração própria (2010)

Quantidade descartada de óleo na manutenção – IIA5

A quantidade descartada de óleo na manutenção baseou-se no estudo de Gama (2008), que apresenta uma média de consumo para os transportes rodoviário e ferroviário. Lopes e Ferreira (2004) apresentam o consumo do óleo lubrificante para as embarcações

como 10% do consumo de combustível. Para o transporte dutoviário, considerou-se o descarte de óleo lubrificante nulo devido à utilização de motores elétricos no bombeamento, conforme Tabela 6.24.

Tabela 6.24 – Descarte de óleo lubrificante de motor por modo

Modo	Óleo lubrificante l/1000.t.km
Dutoviário ⁽¹⁾	0,0000
Hidroviário	0,0329
Ferrovário	0,0265
Rodoviário	0,0773

Notas: (1) Motores elétricos.

Fonte: Gama (2008); Lopes e Ferreira (2004)

Saída da etapa 5

Como resultado da etapa 5, tem-se a Tabela 6.25, que apresenta os valores de cada indicador para cada alternativa. Como as alternativas são compostas por mais de um modo, foi utilizada a equação 5.2 com a ponderação apresentada na Tabela 6.16.

O custo do transbordo de cada alternativa foi dividido pelas respectivas distâncias para ficar na mesma base [1000.t.km] e, por fim, somado ao custo de transporte para apuração do custo total.

Tabela 6.25 – Resultados dos indicadores para cada alternativa.

Alternativa	IVS	IIA1	IIA2	IIA3	IIA4	IIA5
	[US\$/1000.t.km]	[US\$/1000.t.km]	[MJ/1000.t.km]	[kg/1000.t.km]	[g/1000.t.km]	[l/1000.t.km]
A1	77,84	2,43	402,10	22,29	1,886	0,014
A2	97,96	1,95	1663,09	119,17	9,433	0,077
A3	95,54	0,89	784,63	56,22	4,615	0,040
A4	92,28	0,89	658,48	46,70	3,876	0,034
A5	70,52	0,96	454,47	30,66	2,506	0,032
A6	83,04	0,85	844,48	60,51	4,832	0,051
A7	92,39	0,76	591,60	41,88	3,451	0,035
A8	95,64	0,77	727,78	52,15	4,250	0,041
A9	90,11	1,10	613,08	42,59	3,544	0,031
A10	99,57	1,02	889,37	63,73	5,189	0,044

Fonte: Elaboração própria (2010)

Os valores de IVS e IIA1 são apresentados em US\$ convertidos, conforme taxa de câmbio de 22/01/2010.

6.1.6. Etapa 6 – Enquadramento

Nível 1 – Medidas

A partir dos resultados dos indicadores levantados na etapa anterior, foram calculadas as medidas para cada alternativa. Para essa aplicação, as medidas formadas baseiam-se na equação 3.1 que prevê o resultado do valor de serviço sobre as influências ambientais. Assim, foram formadas cinco medidas, conforme mostra a Tabela 6.26

Nível 2 – Desempenho Individual

O nível de desempenho individual é dado pelo valor de cada medida para cada alternativa, o que torna a análise para tomada de decisão ainda difícil.

Saída da etapa 6

Conforme previsto pelo MEM, a saída da etapa 6 é uma tabela com os resultados individuais de desempenho para as alternativas para escoamento de bioetanol na rede levantada (Tabela 6.26).

Tabela 6.26 – Medidas de Ecoeficiência para cada alternativa de transporte conforme equação 3.1

Alternativas	M1	M2	M3	M4	M5
	VS/IA1	VS/IA2	VS/IA3	VS/IA4	VS/IA5
	Adimensional	US\$/MJ	US\$/kg	US\$/g	US\$/l
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

Fonte: Elaboração própria (2010)

6.1.7. Etapa 7 – Agregação

Conforme detalhado no capítulo 4, essa aplicação utiliza a Análise Relacional *Grey* para apuração do desempenho das alternativas.

O conjunto de observações $x_1^{(o)}, x_2^{(o)}, \dots, x_m^{(o)}$ são as 10 alternativas de transporte. Cada observação x_i possui 5 medidas de ecoeficiência que são descritas sob a forma de séries $x_i^{(o)} = \{x_i^{(o)}(k), \dots, x_m^{(o)}(n)\}$. Os resultados são mostrados nas seções subseqüentes.

Nível 1 – Apuração

Nesse nível, as medidas são normalizadas, conforme equação 4.4, que prevê que os valores das medidas quanto maiores, melhores, já que se espera que a ecoeficiência de cada medida seja a maior possível. Considerando 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 k , tem-se a Tabela 6.27.

Tabela 6.27 – Séries normalizadas com a equação 4.4.

Alternativas	M1	M2	M3	M4	M5
	VS/IA1	VS/IA2	VS/IA3	VS/IA4	VS/IA5
A1	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00
A2	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00
A3	0,81	0,47	0,33	0,33	0,27
A4	0,78	0,60	0,43	0,43	0,35
A5	0,45	0,71	0,55	0,57	0,23
A6	0,71	0,29	0,21	0,22	0,09
A7	0,97	0,72	0,52	0,53	0,33
A8	1,00	0,54	0,38	0,39	0,25
A9	0,54	0,65	0,48	0,49	0,40
A10	0,71	0,39	0,28	0,29	0,24

Fonte: Elaboração própria (2010)

Nível 2 – Comparação

Conforme a técnica adotada, as medidas de ecoeficiência normalizadas serão comparadas com níveis de referência iguais a 1 e os resultados estão na Tabela 6.28 que mostra a diferença de cada medida em relação à série padrão. Neste caso, um resultado próximo de 1 significa um pior desempenho em relação ao *benchmarking*.

Tabela 6.28 – Matriz de diferenças da série padrão.

Alternativas	M1	M2	M3	M4	M5
	VS/IA1	VS/IA2	VS/IA3	VS/IA4	VS/IA5
A1	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A2	0,80	1,00	1,00	1,00	1,00
A3	0,19	0,53	0,67	0,67	0,73
A4	0,22	0,40	0,57	0,57	0,65
A5	0,55	0,29	0,45	0,43	0,77
A6	0,29	0,71	0,79	0,78	0,91
A7	0,03	0,28	0,48	0,47	0,67
A8	0,00	0,46	0,62	0,61	0,75
A9	0,46	0,35	0,52	0,51	0,60
A10	0,29	0,61	0,72	0,71	0,76

Fonte: Elaboração própria (2010)

Nível 3 – Desempenho Global

O desempenho global é calculado aplicando-se primeiro a equação 4.6 para estabelecer o coeficiente relacional *grey*, admitindo $\zeta = 0,5$. Os resultados estão na Tabela 6.29.

Tabela 6.29 – Coeficiente relacional *grey*.

Alternativas	M1	M2	M3	M4	M5
	VS/IA1	VS/IA2	VS/IA3	VS/IA4	VS/IA5
A1	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00
A2	0,38	0,33	0,33	0,33	0,33
A3	0,73	0,48	0,43	0,43	0,41
A4	0,69	0,56	0,47	0,47	0,44
A5	0,47	0,64	0,53	0,54	0,39
A6	0,63	0,41	0,39	0,39	0,35
A7	0,94	0,64	0,51	0,52	0,43
A8	1,00	0,52	0,45	0,45	0,40
A9	0,52	0,59	0,49	0,49	0,46
A10	0,64	0,45	0,41	0,41	0,40

Fonte: Elaboração própria (2010)

Como essa aplicação não prevê a utilização de pesos associados às medidas, utilizou-se a equação 4.7 para apurar os graus de relacionamento *grey*, conforme Tabela 6.30

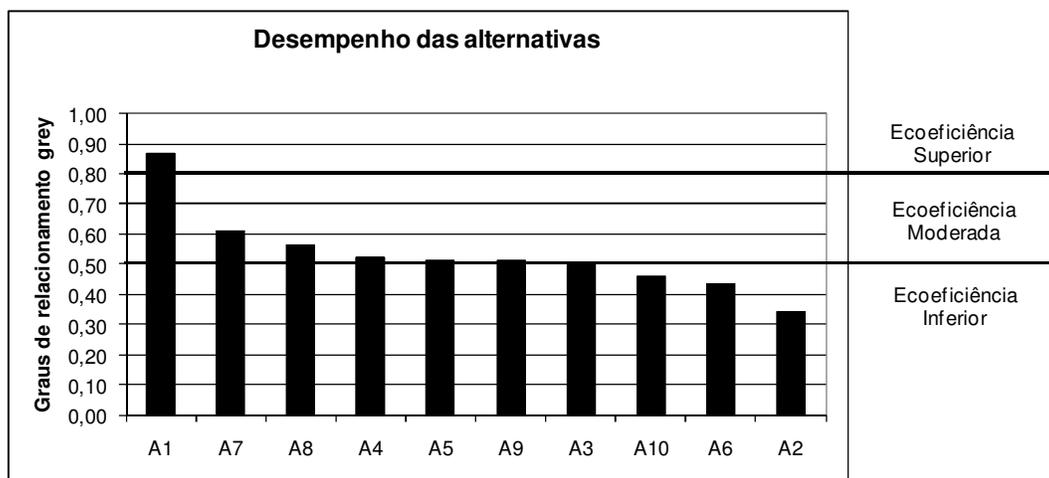
Tabela 6.30 – Graus de relacionamento *grey* conforme equação 4.7.

Alternativas	Γ_i
A1	0,8667
A2	0,3434
A3	0,4954
A4	0,5252
A5	0,5146
A6	0,4354
A7	0,6076
A8	0,5635
A9	0,5113
A10	0,4608

Fonte: Elaboração própria (2010)

Saída da etapa 7

Como saída da etapa 7, tem-se a Figura 6.6 que apresenta as alternativas hierarquizadas, segundo seu desempenho global.



Fonte: Elaboração própria (2010)

Figura 6.6 - Hierarquização das alternativas de transporte

6.2. Discussão dos Resultados

Analisando os resultados obtidos, observa-se que a alternativa mais utilizada atualmente (A2 – rodoviário) é a de pior desempenho. A alternativa que utiliza na maior parte do percurso o modo dutoviário (A1) foi considerada a melhor, destacando-se devido a sua grande vantagem em termos de influências ambientais, apesar de seu pior desempenho com relação ao custo total de acidentes. Essa alternativa também é a que possui o pior

desempenho em termos de receita de frete recebida, mas isso pode ser compensado pelo menor consumo de energia, emissão de poluentes e consumo de óleo lubrificante, o que pode trazer melhores resultados em termos de lucro. Vale destacar que isso é uma desvantagem do ponto de vista de ganhos de receita, mas para o usuário é mais vantajoso pagar menos pelo frete.

As alternativas que utilizam o modo rodoviário ligando o último terminal ao porto apresentam um resultado pior que seus pares, que fazem essa última ligação por duto, demonstrando a deficiência daquele modo, apesar de possuir a segunda maior receita de frete recebida. Isso demonstra que as influências ambientais podem impactar na decisão por um modo de transporte, tornando aquele que a princípio gera bom volume de receita uma escolha não adequada do ponto de vista da ecoeficiência.

Para facilitar a análise e a tomada de decisão, foram estabelecidos três grupos de alternativas que são classificadas segundo seu nível de desempenho em ecoeficiência. A formação dos grupos foi feita com base na análise de Pareto, que dividiu as alternativas da seguinte forma:

- 1) Ecoeficiência Inferior (de 0% a aproximadamente 50% na escala de grau de relacionamento *grey*) – inclui as alternativas com desempenho inferior ao grau de relacionamento 0,5. Nesse grupo, encontram-se apenas A2, A6 e A10;
- 2) Ecoeficiência Moderada (de aproximadamente 50% a 80% na escala de grau de relacionamento *grey*) – nesse grupo, as alternativas apresentam um grau de relacionamento *grey* entre 0,5 e 0,8. É possível observar um desempenho médio que inclui as alternativas A3, A4, A5, A7, A8 e A9, sendo todas com valores muito próximos;
- 3) Ecoeficiência Superior (de 80% a 100% na escala de grau de relacionamento *grey*) – esse grupo enquadra as alternativas que apresentaram grau de relacionamento superior a 0,8, sendo que a melhor alternativa foi A1.

Outra análise ilustra uma classificação das alternativas, segundo o desempenho de cada medida utilizada e as dispersões dessas medidas, conforme Tabela 6.31. Cada medida foi analisada como se fosse única, de forma a permitir visualizar qual o desempenho individual das alternativas. Para isso, foi aplicado um peso de 100% a cada uma das medidas. O desvio padrão mostra se a alternativa teve um desempenho regular em todas

as medidas ou se houve discrepância nos valores obtidos. A média dessas medidas é exatamente o grau de relacionamento *grey* apurado, que representa o desempenho global de cada alternativa. Assim, o desempenho de dá pelo valor da média e a dispersão pelo desvio padrão.

Observa-se que A2 praticamente não possui dispersão dos graus de relacionamento *grey*, ficando sempre no nível de ecoeficiência inferior. Alternativas com esse perfil poderiam ser classificadas como baixo desempenho e pequena dispersão. Isso indica que essa é uma alternativa não viável para ser considerada, já que seu desempenho seria o pior em qualquer grupo de medida avaliado.

Tabela 6.31 – Classificação das alternativas segundo a média de desempenho por medida e o desvio padrão dos resultados das medidas

Alternativa	Peso de cada medida					Desvio Padrão	Média	Classificação	
	M1 = 100%	M2 = 100%	M3 = 100%	M4 = 100%	M5 = 100%			Desempenho	Dispersão
A1	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	0,298	0,87	Alto	Grande
A7	0,94	0,64	0,51	0,43	0,52	0,203	0,61	Médio	Grande
A8	1,00	0,52	0,45	0,40	0,45	0,248	0,56		
A4	0,69	0,56	0,47	0,44	0,47	0,105	0,53	Médio	Média
A5	0,47	0,64	0,53	0,39	0,54	0,090	0,51		
A9	0,52	0,59	0,49	0,46	0,49	0,051	0,51		
A3	0,73	0,48	0,43	0,41	0,43	0,134	0,50		
A10	0,64	0,45	0,41	0,40	0,41	0,100	0,46	Baixo	Média
A6	0,63	0,41	0,39	0,35	0,39	0,112	0,44		
A2	0,38	0,33	0,33	0,33	0,33	0,023	0,34	Baixo	Pequena

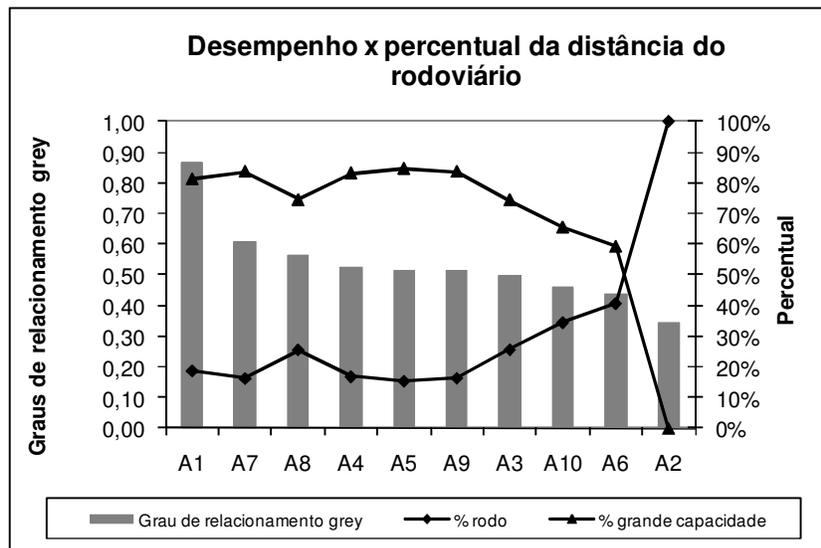
Fonte: Elaboração própria (2010)

Outro grupo contém A6 e A10 que apresentam baixo desempenho e média dispersão, ainda não sendo alternativas interessantes para escolha. Outros dois grupos apresentam desempenho médio, mas com dispersões médias (A3, A4, A5 e A9) e dispersões grandes (A7 e A8).

Por fim, a alternativa A1 se apresenta com alto desempenho, mas com uma grande dispersão. Analisando a Figura 6.7, observa-se que é uma alternativa que possui o maior grau de relacionamento nas medidas M2, M3, M4 e M5, mas possui o pior desempenho na medida M1, o que contribui para a alta dispersão comentada.

Analisando os grupos apresentados e a classificação proposta, seriam priorizadas para a escolha as alternativas que possuem ecoeficiência superior, alto desempenho e pequena dispersão. A melhor alternativa, porém, possui grande dispersão (A1), o que pode ser minimizado melhorando cada vez mais a gestão de risco no transporte dutoviário. Desta forma, mesmo o custo de um acidente sendo alto, com baixo índice de ocorrências e alto volume sendo transportado, o custo por 1000.t.km seria reduzido.

A análise dos resultados também permite identificar que a classificação das alternativas é influenciada pelo grau de utilização dos modos com grande capacidade de carga e do modo rodoviário, conforme Figura 6.7.



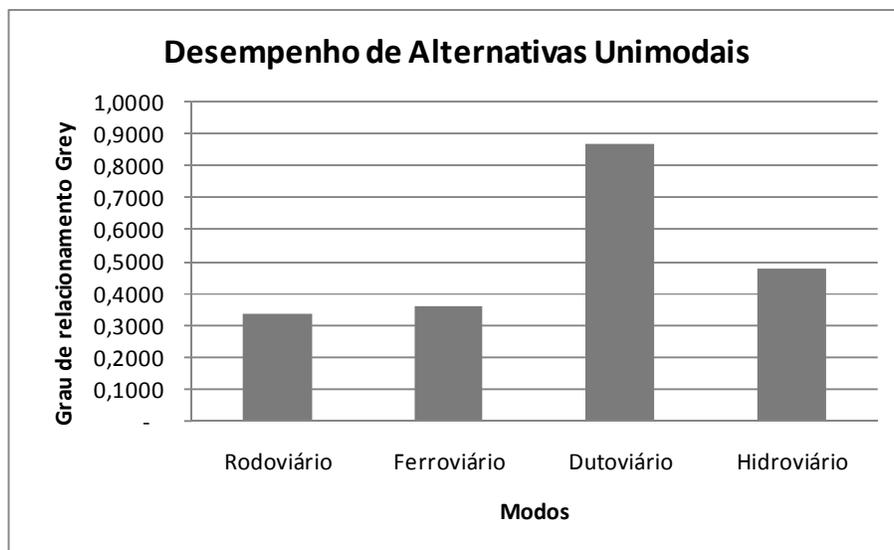
Fonte: Elaboração própria (2010)

Figura 6.7 - Desempenho das alternativas x utilização do modo rodoviário

Observa-se que as melhores alternativas são as que possuem os menores percentuais de distâncias percorridas pelo modo rodoviário e as maiores para modos que possuem grande capacidade de carga. Em contraste, as alternativas com pior desempenho são as que utilizam o modo rodoviário para maiores distâncias, apesar de também utilizarem o ferroviário e hidroviário para no mínimo 60% do percurso, com exceção de A2, que é 100% rodoviário.

Observando-se a Figura 6.7, nota-se que A8 apresenta um comportamento diferente das demais, pois possui o terceiro melhor grau de relacionamento e composição de rodoviário superior a A1. Isso é explicado pelo fato de que A8 possui uma das maiores receitas e o segundo menor custo com acidente, ficando atrás apenas de A7.

Em outra análise considerou-se também alternativas hipotéticas unimodais para se identificar qual modo teria o melhor desempenho. Como as alternativas multimodais possuem distâncias diferenciadas, foi considerada uma distância média de 1.355 km e nenhum transbordo para que as alternativas unimodais estejam na mesma base de comparação. Como resultado, tem-se a Figura 6.8.



Fonte: Elaboração própria (2010)

Figura 6.8 - Desempenho das alternativas unimodais

O transporte por dutos é o de melhor desempenho, com base nas medidas de ecoeficiência consideradas, seguido do hidroviário, ferroviário e rodoviário. Isso mostra que os modos de grande capacidade tendem a ser não somente economicamente, mas também do ponto de vista ambiental, melhores. A ordem de desempenho é a mesma da capacidade de cada modo. Essa análise, porém, considera uma grande distância, o que teoricamente prejudicaria o desempenho do rodoviário. Outra questão é que dificilmente seria possível uma alternativa unimodal, além da que utiliza o rodoviário.

O método também permite determinar a hierarquia das alternativas que deveriam receber investimento do governo e/ou de empresas privadas, uma vez que aquelas que

apresentam melhores resultados nessa aplicação possuem problemas de infra-estrutura. No caso de A1, não existe uma rede de dutos específica para bioetanol, o que prejudica a sua utilização. Com relação às demais alternativas, observa-se que a principal hidrovia da região estudada tem deficiência de terminais e de manutenção da via e desde o ano 2000 não se registra transporte de bioetanol (STSP, 2007). A ferrovia apresenta prioridade no transporte de minério e de outras *commodities* agrícolas, como soja e açúcar.

Atualmente, nota-se também uma grande ênfase em questões econômicas, o que levaria as empresas a balizarem suas decisões apenas em alternativas que trouxessem maiores receitas. Este estudo mostra que, ao considerar a ecoeficiência, outras questões seriam consideradas e influenciariam a decisão. Isso reforça a idéia de que é possível visualizar as vantagens de cada alternativa com base em uma visão sustentável.

A análise mostra, portanto, a saída da prática atual, aparentemente não adequada do ponto de vista da sustentabilidade, para uma situação em que as influências ambientais são consideradas na avaliação de desempenho. Observa-se que existe um espectro de combinações que consideram os aspectos econômicos e ecológicos que podem ser utilizados na prática, além da A1.

A alternativa A1 é destacadamente melhor que qualquer outra em todas as medidas, com exceção de M1, conforme já comentado. A principal questão sobre ela é a impossibilidade de sua utilização pelo fato de não existir um duto inteiramente dedicado ao bioetanol. Atualmente apenas 3,16% da capacidade (em m³) dos dutos de combustíveis líquidos são dedicadas ao transporte de bioetanol no Brasil (Transpetro, 2008b). Essa pouca quantidade de produto é transportada compartilhando infra-estrutura com outros produtos derivados de petróleo. Segundo a Transpetro (2009), já existe projeto de investimento e volume suficiente para justificar um alcoolduto, que entrará em funcionamento entre 2012 e 2013. O que se observa, entretanto, é a falta de definição de demanda, visto que também existem outros interessados na construção de dutos, como as próprias usinas de bioetanol, compondo consórcios internacionais (UNICA, 2009). Diante dessa situação, fica a indefinição quanto à garantia do volume a ser transportado, devido à maior oferta de serviços de transporte.

No geral, as alternativas avaliadas possuem desempenhos muito próximos entre si, excetuando-se A1 e A2, que são os extremos positivo e negativo. Desta forma, deve-se avaliar se seria viável investir nas demais alternativas ou passar a utilizar o modo dutoviário em detrimento dos demais, já que as demais alternativas não apresentam desempenhos muito superiores a A2.

A vantagem apresentada pelo rodoviário em relação à receita de frete pode não ser válida pelo fato de não se conhecer a margem de lucro. Segundo Fleury (2003), nesse setor, as margens são afetadas pela falta de manutenção dos veículos, pela alta concorrência entre autônomos, pela subcontratação e pela falta de segurança nas vias.

Os transportes hidroviário e ferroviário possuem baixos custos com acidentes e baixo consumo de óleo lubrificante e também possuem desempenho mediano em consumo energético e emissão de poluentes atmosféricos. A questão de baixo custo com acidentes contribuiria para uma melhor classificação à medida que este indicador recebesse peso maior na avaliação, conforme Tabela 6.31. O modo ferroviário apresenta ainda vantagem em termos de receita de frete em relação ao modo hidroviário, perdendo as vantagens em termos de influência ambiental, apresentadas por esse último.

Como indicado na descrição do MEM, foi realizada uma pesquisa de *feedback* com os especialistas, a qual apresentou um resumo dos resultados descritos nesta tese, solicitando que os mesmos ratificassem ou não os dados obtidos da avaliação. Aproximadamente 62% dos especialistas da segunda rodada do *Delphi* responderam ao questionário enviado. Destes, 100% concordam com a hierarquização apresentada pela pesquisa e o mesmo percentual concorda que os atributos e os indicadores utilizados são adequados para avaliação de desempenho que considere influências ambientais dos transportes.

Foi deixado um espaço para que os respondentes justificassem suas respostas, caso discordassem dos resultados. Também foi perguntado se existe outro indicador que deveria ser incluído na análise e apenas um respondente citou que deveria ser considerada a influência na fauna local e comunidade lindeira (ruído, trepidação, impacto visual). Tal indicação pode ser considerada em outro estudo, pois neste fugiria

ao foco, já que esses indicadores estão ligados às conseqüências das influências ambientais, o que não é o foco desta tese.

6.3. Análise de Sensibilidade

Nesta seção, apresenta-se uma análise de sensibilidade (Taha, 2008), na qual valores selecionados de variáveis são alterados de forma a observar qual será o comportamento dos resultados do modelo.

A análise de sensibilidade se inicia abordando as melhorias que cada alternativa deveria ter em cada indicador para aumentar o desempenho e se tornar ecoeficiente em relação às demais. Também se apresentam as variações em termos de distância percorrida por cada modo em combinação com aquele de melhor desempenho (duto). Isso permite verificar se os desempenhos se alteram em função da distância.

Outra análise realizada é na alteração dos pesos de cada atributo que na análise inicial permaneceram iguais. Neste caso, utilizou-se para o estabelecimento dos graus de relacionamento *grey* a equação 4.8.

A análise de sensibilidade também foi realizada de forma a se verificar como a pior alternativa (A2), que é também a mais utilizada, poderia se tornar melhor em relação à ecoeficiência. Para isto, foram testadas possíveis alterações como utilização de biodiesel, redução nos acidentes, redução no consumo de energia e aumento de receita.

Por fim, testaram-se alterações referentes à medida que relaciona a receita de frete recebida e o custo com acidentes para as alternativas de maior e menor desempenho (A1 e A2). Desta forma, é possível investigar como alterações no risco de acidentes influenciam no ranqueamento das alternativas.

A Tabela 6.32 mostra os níveis de melhoria dos indicadores necessários para que cada alternativa tenha o seu desempenho equiparado a A1. Nota-se que apenas A5 tem a receita de frete menor do que a melhor alternativa, podendo aumentar em 15%. No que diz respeito ao custo com acidentes, nenhuma alternativa precisa melhorar para se igualar a A1, já que todas apresentam custos menores. Já nos demais indicadores, todas

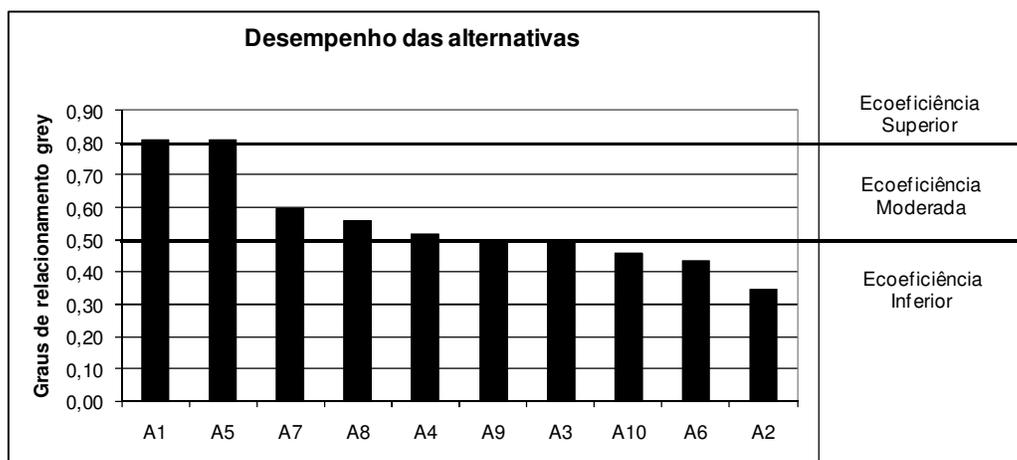
as alternativas precisam de melhorias significativas para se igualar a A1, sendo A2 a mais distante. Destaca-se novamente A5, que possui as menores necessidades de melhorias nos indicadores de influência ambiental.

Tabela 6.32 – Níveis de melhoria dos indicadores de cada alternativa.

Alternativas	Receita de Frete Recebida - IVS	Custo com Acidentes - IA1	Consumo Total de Energia - IA2	Emissão de CO2 - IA3	Quantidade de Óleo Descartada - IA4	Emissão de Sox, Nox e MP - IA5
	[US\$/1000.t.km]	[US\$/1000.t.km]	[MJ/1000.t.km]	[kg/1000.t.km]	[l/1000.t.km]	[g/1000.t.km]
A1	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
A2	0,00%	0,00%	- 69,00%	- 76,50%	- 76,50%	- 74,90%
A3	0,00%	0,00%	- 37,00%	- 49,00%	- 51,00%	- 48,00%
A4	0,00%	0,00%	- 25,00%	- 42,00%	- 44,00%	- 42,00%
A5	+ 15,00%	0,00%	- 13,00%	- 26,00%	- 24,00%	- 25,00%
A6	0,00%	0,00%	- 48,00%	- 61,00%	- 64,00%	- 59,00%
A7	0,00%	0,00%	- 25,00%	- 32,00%	- 28,00%	- 30,00%
A8	0,00%	0,00%	- 32,00%	- 42,00%	- 45,00%	- 43,00%
A9	0,00%	0,00%	- 24,00%	- 39,00%	- 42,00%	- 38,00%
A10	0,00%	0,00%	- 42,00%	- 53,00%	- 56,00%	- 52,00%

Fonte: Elaboração Própria (2010)

Como A5 apresenta as modificações mais viáveis de implementação, as mesmas foram inseridas na análise de forma que se obteve um resultado positivo em relação à melhoria dos índices de desempenho. Conforme se observa na Figura 6.9, A5 melhora seu desempenho em relação às demais, equiparando-se a A1.



Fonte: Elaboração própria (2010)

Figura 6.9 - Desempenho das alternativas com melhorias em A5

As melhorias em A5 poderiam ser realizadas na prática, considerando que um aumento em 15% na receita ainda a deixaria com o segundo menor preço dentre as demais alternativas. O consumo de energia, a emissão de CO₂, a quantidade de óleo descartada e a emissão de poluentes atmosféricos poderiam ser reduzidos por meio de implantação de ações relacionadas principalmente ao consumo de diesel ou a sua substituição por biodiesel. A Tabela 6.33 apresenta uma série de ações disponíveis relacionadas à gestão ou tecnologia e ao potencial de melhoria nos indicadores utilizados. Cabe ressaltar que as ações são relacionadas ao transporte rodoviário, mas poderiam ser, em grande parte, aplicadas ao transporte hidroviário.

Tabela 6.33 – Ações relacionadas à gestão e à melhoria de tecnologia para redução do consumo de diesel, poluentes atmosféricos e gases de efeito estufa

Ação		Percentual de Redução	Observação
Gestão	Treinamento	13 % do consumo de óleo diesel	Motoristas treinados aprendem a lidar e a conservar melhor o equipamento e como resultado passam a dirigir com mais eficiência e segurança, resultando na redução de custos das operações.
	Monitoramento das viagens e incentivos financeiros aos motoristas	6 % do consumo de óleo diesel	Premiação aos motoristas que cumprirem as metas de condução estabelecida pela empresa e utilização de computadores de bordo para melhorar a eficiência do motorista pelo repasse das informações.
	Manutenção dos veículos	24,32% do consumo de óleo diesel	Realização de um plano de manutenção dos veículos.
	Projeto Economizar	35,3% do consumo de óleo diesel	Parceria com os profissionais das empresas para que, juntos, façam uma avaliação dos seguintes pontos: (1) Metodologia de gestão do uso dos combustíveis pelos transportadores. (2) Estado dos veículos e rendimento dos motores (teste de fumaça com opacímetro). (3) Práticas de manutenção dos veículos. (4) Qualificação de motoristas e mecânicos. (5) Qualidade do diesel consumido, cuidados com o recebimento, armazenagem e instalações. (6) Identificação de práticas e experiências bem-sucedidas adotadas pelas empresas que contribuem para o aumento da eficiência do uso do óleo diesel.
	Projeto Transportar	15% do consumo de diesel	O Projeto Transportar objetiva auxiliar os transportadores de combustíveis a reduzir a emissão de fumaça preta, economizar óleo diesel e manter os caminhões-tanque em boas condições

Tabela 6.33 – Ações relacionadas à gestão e à melhoria de tecnologia para redução do consumo de diesel, poluentes atmosféricos e gases de efeito estufa (continuação)

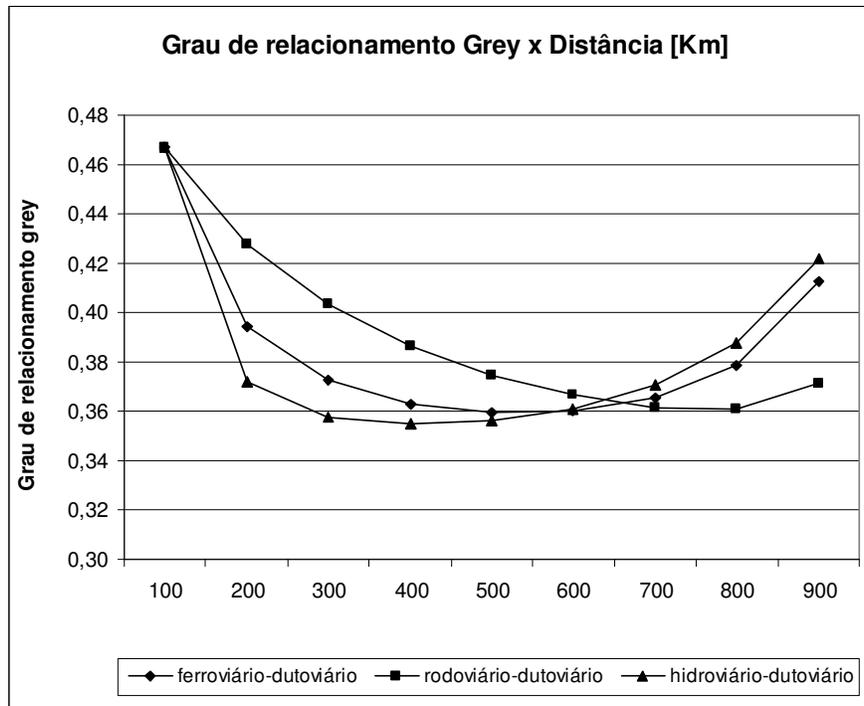
Ação		Percentual de Redução	Observação
Tecnologia	Redução de 10% do peso total do veículo pela utilização de novos materiais	4 a 8% no consumo de combustível	Redução do peso do veículo pela utilização de novos materiais na sua estrutura e motor, como Al, Mg e plásticos, pode melhorar a economia de combustível.
	Melhorias na aerodinâmica do caminhão	17,1% no consumo de combustível	Com as melhorias no <i>design</i> do caminhão, a força exercida pelo ar durante o transporte será menor, ocasionando a redução do consumo de combustível.
	Nova tecnologia na fabricação de pneu	4 a 5% no consumo de combustível	O pneu de baixa resistência absorve menos energia cinética.
	Caminhões híbridos (diesel e eletricidade)	20% no consumo de combustível 30% das emissões de CO ₂	O funcionamento é muito simples, sendo que o motor elétrico é usado para o caminhão arrancar e acelerar até 20 km/hora. Acima dessa velocidade, a propulsão do veículo é por conta do motor mecânico, o qual também é automaticamente desligado quando o veículo pára.
	Motores eletrônicos	30% das emissões CO ₂	Esse tipo de motor apresenta baixos índices de emissão, melhor desempenho e maior durabilidade do motor, economia de combustível e menor demanda de manutenção. Caminhões equipados com motor eletrônico atingem maiores velocidades operacionais, obtêm melhores arrancadas, retomadas de velocidade mais rápidas e maior velocidade média. Devido ao sistema de autoproteção e à refinada tecnologia dos componentes, o motor eletrônico sofre menos desgaste durante a operação, o que aumenta sua vida útil.
	Utilização de biocombustíveis	78% a emissão de CO ₂	Utilização de biodiesel para o transporte de cargas.

Fonte: Oliveira e Leal Jr (2009)

A alternativa A7, conforme Tabela 6.32, seria a segunda mais viável para se fazer melhorias, já que possui percentuais de melhoria próximos a A5. Nota-se que na classificação original, A4, A7 e A8 estão com melhor desempenho que A5, porém, essa última é a mais viável das melhorias em função da possibilidade no aumento da receita gerada, o que não é possível com as demais. Como todas as medidas de ecoeficiência

utilizam o valor de serviço como numerador, qualquer incremento nesse atributo reduz a necessidade de reduções no denominador (influências ambientais).

Testou-se o desempenho dos modos rodoviário, ferroviário e hidroviário, combinados ao de melhor desempenho (dutoviário), a uma distância de 1.000 km, variando a composição de cada modo de 100 a 900 km, conforme Figura 6.10.



Fonte: Elaboração própria (2010)

Figura 6.10 - Desempenho das alternativas com base na distância

Conforme mostra a Figura 6.10, para uma distância de 100 km percorrida pelos modos (ferroviário, rodoviário ou hidroviário) combinados com o duto, os graus de relacionamento *grey* foram iguais. Isso acontece, pois, o desempenho do transporte dutoviário suplanta as diferenças apresentadas em termos de ecoeficiência pelos demais modos. A partir de 200 km, o desempenho de cada modo de transporte impacta o desempenho do modo dutoviário. Neste caso, a combinação rodo-duto apresenta melhor grau de relacionamento, seguida por ferroviário-dutoviário e hidroviário-dutoviário. Essa ordem permanece, diminuindo o desempenho de cada alternativa, até uma distância entre 600 e 700 km quando há uma inversão na hierarquia das

alternativas. A partir de 700 km, o modo hidroviário, combinado com o duto, é mais apropriado, seguido do ferroviário-dutoviário e do rodoviário-dutoviário.

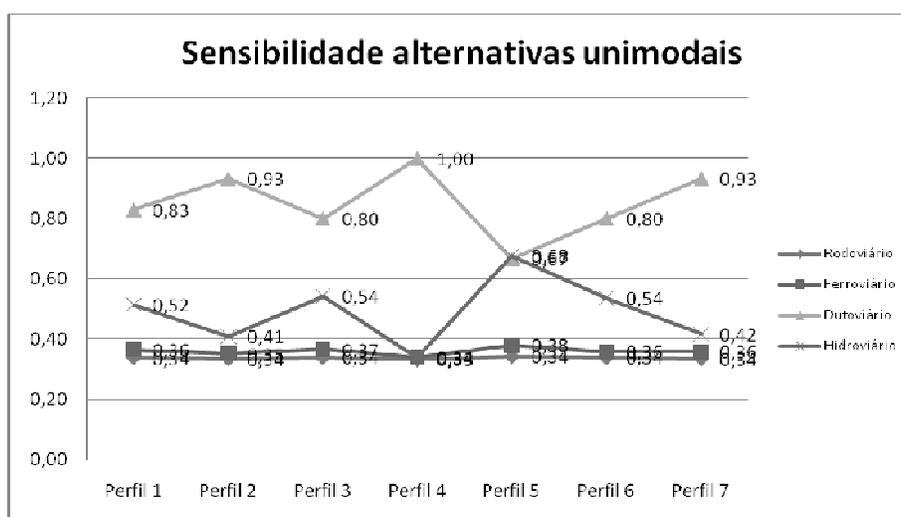
Na análise que considera a mudança dos pesos de cada medida, tomou-se como base a Tabela 6.34 que apresenta vários perfis de pesos para as medidas. O Perfil 1 mostra o resultado de pesquisa com especialistas, a qual solicitou que os mesmos optassem pelos pesos segundo seus julgamentos. Os outros Perfis (2 ao 7) apresentam pesos que são alterados de forma aleatória para verificar o comportamento dos desempenhos. Neste caso, foram consideradas as alternativas unimodais.

Tabela 6.34 - Perfis de pesos para análise de sensibilidade

Perfis	Pesos					Total
	M1	M2	M3	M4	M5	
Perfil 1	0,26	0,23	0,17	0,15	0,18	1,00
Perfil 2	0,10	0,20	0,40	0,20	0,10	1,00
Perfil 3	0,30	0,20	0,00	0,20	0,30	1,00
Perfil 4	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	1,00
Perfil 5	0,50	0,20	0,20	0,10	0,00	1,00
Perfil 6	0,30	0,05	0,30	0,05	0,30	1,00
Perfil 7	0,10	0,35	0,10	0,35	0,10	1,00

Fonte: Elaboração Própria (2010)

Ao utilizar os pesos da Tabela 6.34 na análise relacional *grey*, chega-se aos resultados da Figura 6.11. Como o perfil 1 possui pesos muito próximos entre si, o *ranking* das alternativas não se alteram com relação à avaliação original (ver Figura 6.8).



Fonte: Elaboração Própria (2010)

Figura 6.11 – Sensibilidade das alternativas unimodais com alteração de pesos

Observa-se que nos perfis em que o peso de M1 é maior, o desempenho do duto é prejudicado. Isso é constatado principalmente no perfil 3 e 5, sendo que nesse último o desempenho do hidroviário se iguala ao do duto. Quando o peso de M1 é igualado à zero (Perfil 4), observa-se que o desempenho do duto é o máximo possível.

Em todos os perfis, o modo rodoviário permaneceu com os piores desempenhos e, em alguns casos, o modo ferroviário praticamente se igualou a ele em termos de desempenho. Destaca-se o perfil 4, no qual os pesos para as medidas relacionadas a emissões de poluentes atmosféricos e a consumo de óleo lubrificante são maiores, tornando o hidroviário e o ferroviário igualmente deficientes ao rodoviário.

Neste caso, o hidroviário teve seu desempenho prejudicado em função da não inclusão de sua maior vantagem, que é o custo com acidentes, cuja medida (M1) teve peso zero. Isso é observado também nos perfis 2 e 7, que atribuem pesos baixos a M1.

Analisando o risco dos acidentes em cada modo e os respectivos custos de acidentes, com base nos dados da Tabela 6.35, constata-se que há uma inversão no caso do modo dutoviário. Enquanto esse modo apresenta o maior custo de acidentes, ele apresenta a menor probabilidade de ocorrência.

Isso indica que mesmo sendo o mais caro, se for bem controlado e monitorado com relação a acidentes, o duto se torna um modo viável e, no contexto deste estudo, o mais indicado, já que o custo com acidentes, que mostra a extensão e gravidade dos mesmos, é o único atributo em que o duto apresenta desvantagens em relação aos demais. Por outro lado, um duto descontrolado pode inviabilizar a operação, principalmente se o peso dado ao atributo segurança for maior por parte dos decisores.

O modo rodoviário é o que apresenta o segundo maior custo e o maior risco, o que representa uma grande fragilidade em relação aos demais. O modo hidroviário apresenta a melhor situação dentre todos, já que seu risco é muito próximo ao do dutoviário e seu custo de acidentes é o menor de todos. Isso mostra que um acidente hidroviário é menos freqüente e quando acontece possui pouco impacto.

O modo ferroviário possui custo e risco intermediários em relação aos demais, porém, se comparado com o hidroviário, apresenta grande desvantagem, já que seu risco é 30% maior e o custo é mais de 5 vezes maior.

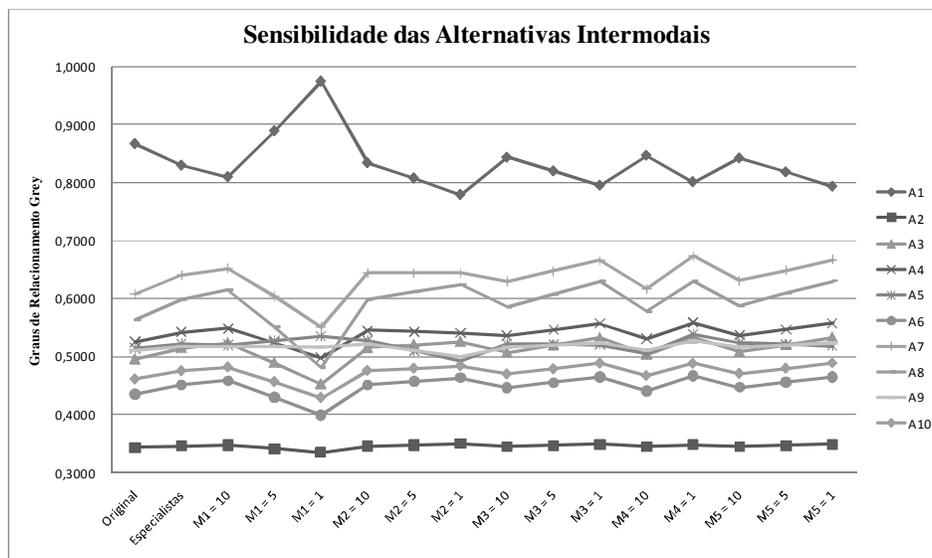
Tabela 6.35 – Probabilidade *versus* custos de acidentes para os modos de transporte

Modo	Probabilidade de acidentes (Acidentes/t.km)	Custo de acidentes (R\$/1000.t.km)
Dutoviário	$0,1000 \times 10^{-7}$	4,6152
Hidroviário	$0,1022 \times 10^{-7}$	0,1818
Ferrovário	$0,1348 \times 10^{-7}$	0,9594
Rodoviário	$0,5429 \times 10^{-7}$	3,5481

Fonte: Elaboração própria com base na Tabela 6.19 (2010)

Outra análise de sensibilidade realizada considerou os pesos dados pelos especialistas para as 10 alternativas intermodais analisadas. Neste caso, as variações no peso de uma medida foram feitas considerando alterações nas notas dadas pelos especialistas em cada uma e as demais permanecendo inalteradas. Quando, por exemplo, a nota de M1 aumentava, as demais permaneciam constantes e assim sucessivamente. Cabe destacar que os pesos foram calculados sempre considerando a normalização das notas em relação ao somatório das mesmas, de modo que o total dos pesos fosse igual a 1.

A Figura 6.12 mostra o comportamento do desempenho das alternativas com as alterações nos pesos. Observa-se que o *ranking* das alternativas com base no peso atribuído pelos especialistas não se alterou em relação à classificação original. Isso porque os pesos ficaram muito próximos entre si. Nota-se que apenas A1 tem uma pequena queda no desempenho e as demais um pequeno aumento. Isso se dá pelo fato de M1 (que considera o custo de acidentes) ter tido um peso maior que as demais medidas.



Fonte: Elaboração própria (2010)

Figura 6.12 – Sensibilidade das alternativas intermodais com alteração de pesos

Em um panorama geral, pela Figura 6.12, constata-se a superioridade de A1, que é sempre a melhor alternativa, e o baixo desempenho de A2, que é sempre a pior. No processo de decisão dessas alternativas, A1 seria sempre privilegiada enquanto A2 seria a opção menos viável, considerando os parâmetros adotados.

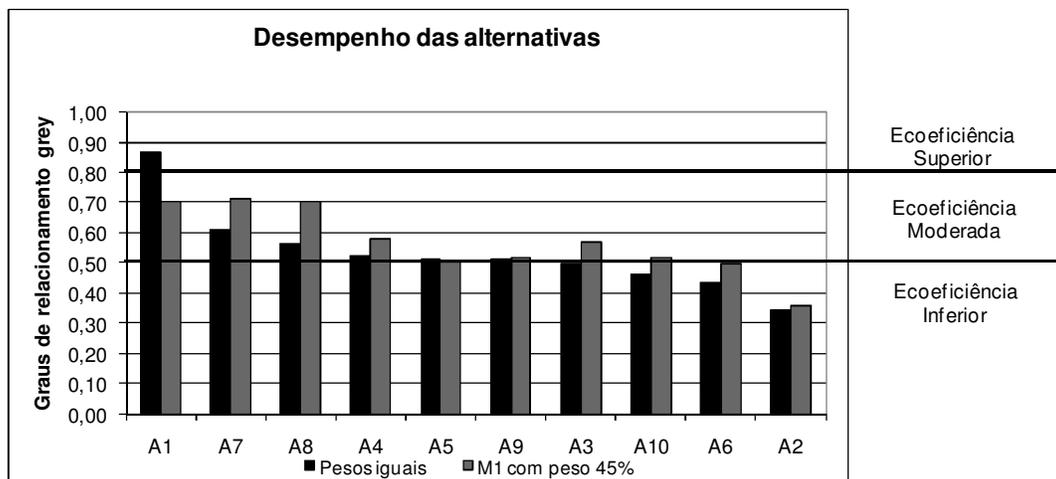
Continuando a análise, observa-se que quando a nota 10 é atribuída à medida que considera os custos de acidentes ($M1 = 10$), ou seja, maior peso para M1, o desempenho de A1 reduz enquanto que o das alternativas aumenta. Ao reduzir o peso dessa medida ($M1 = 5$ e $M1 = 1$), nota-se uma melhoria acentuada de A1, ficando com o desempenho próximo de 1, assim como A5 e A9 apresentam uma pequena melhora e passam da quinta e sexta posição para a terceira e quarta posição respectivamente. As demais alternativas apresentam queda no desempenho, com destaque para A7, que mantém o seu lugar no *ranking*, mas se aproxima muito de A5 e A8, que passam da terceira para a sexta posição.

Quando o peso de M2, medida que considera o consumo total de energia, é reduzido ($M2 = 1$), A1, A5 e A9 apresentam queda no desempenho. Isso acontece pelo fato dessas alternativas serem compostas por modos que apresentam menos consumo de energia, como o dutoviário e hidroviário. As demais alternativas apresentam pequenas melhoras nos desempenhos.

Ao aplicar diferentes pesos para M3, medida que considera a emissão de CO₂, nota-se uma pequena melhora em A1, A5 e A9, ao passo que as demais apresentam piora no desempenho. Esta, porém, é uma medida que não apresenta variação de desempenho acentuada, como no caso de M1 e M2. A medida M4, que considera o indicador de quantidade descartada de óleo, apresenta variações nas mesmas proporções que M3.

A medida M5, que considera a emissão de poluentes atmosféricos, impacta em melhoria apenas em A1, quando o peso desta é máximo. As outras permanecem praticamente no mesmo *ranking*, com exceção de A9 e A3 que trocam de posição quando M5 é igual a 1.

Como aparentemente a medida M1 é a que apresenta maior sensibilidade na alteração de *ranking*, utilizou-se o peso de 45% para avaliar as alternativas intermodais e o que se observa é que A1 tem o seu desempenho reduzido por ser a alternativa composta de 81% de duto. Nota-se também uma redução de desempenho em A5, que é a que fica em segundo lugar em termos de composição por duto, conforme Figura 6.13.



Fonte: Elaboração Própria (2010)

Figura 6.13 – Desempenho das alternativas alterando o peso de M1

Com a redução de desempenho de A1, observa-se que A7 e A8 se tornam mais viáveis de serem utilizadas, destacando-se, porém, que são as duas alternativas com maior número de transbordos.

No caso de melhoria no desempenho de A2, considerou-se a utilização de biodiesel (B100) proveniente de soja em uma frota dedicada ao transporte de etanol. A Tabela 6.36 mostra que, com a utilização desse combustível, é possível a redução da emissão de CO₂ e dos poluentes atmosféricos, com exceção do NO_x, que apresenta um aumento de aproximadamente 10%.

Tabela 6.36 – Alterações nas emissões de poluentes atmosféricos e CO₂ com a utilização de biodiesel proveniente de soja.

Fonte ⁽¹⁾	NOx	MP	SOx	CO	CO2
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%	
Média	10,5%	-53,0%	-99,5%	-53,7%	-78,3%

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

Fonte: Elaboração Própria (2010)

Observa-se que todas as fontes consultadas tratam de B100 de rota metflica. Uma parte do CO₂ 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.

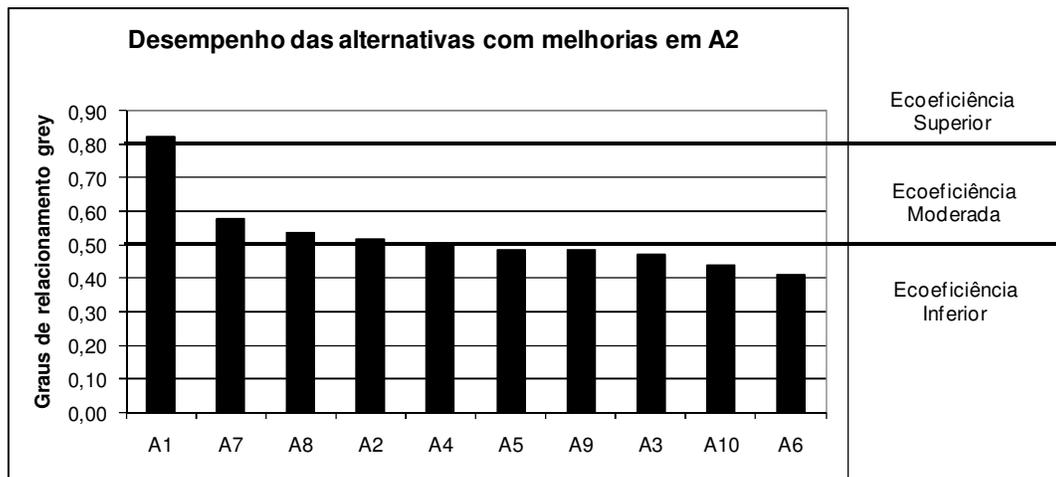
Como o biodeisel é éster (oxigenado) e não hidrocarboneto (como é o diesel) há uma tendência da queima oxidar melhor o CO, gerando menos CO e mais CO₂. Esse último é 78% de origem vegetal (óleo de soja), logo não contribui tanto quanto o óleo diesel para o efeito estufa (aquecimento global). Por oxidar 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, não foram capazes de alterar o desempenho de A2 e a que mais se destacou individualmente foi a utilização do biodiesel, conforme demonstrado.

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). Os resultados estão na Figura 6.14.



Fonte: Elaboração Própria (2010)

Figura 6.14 – Desempenho das alternativas com a adoção de ações para melhoria de A2

Analisando a Figura 6.14, 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. Isso mostra 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 bioetanol.

Seria possível testar também a inclusão de redução de consumo de óleo lubrificante com melhoria de manutenção para aumentar o desempenho, o que não foi feito neste trabalho por falta de dados adequados.

Essa 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.

Foi realizada ainda a análise de sensibilidade do modelo em relação ao coeficiente de distinção ζ e, conforme referência apresentada (Zuo, 1995), não houve alteração do *ranking* dos graus de relacionamento *grey*.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS, LIMITAÇÕES E PROPOSIÇÕES PARA NOVOS ESTUDOS

7.1. Considerações finais e limitações

O trabalho apresentado permite visualizar como um método estruturado pode trazer vantagens para os tomadores de decisão quanto à escolha modal em transportes baseada no desempenho das alternativas. Ressalta-se a originalidade do trabalho ao estruturar um método de escolha modal para o transporte de carga com base em avaliação de desempenho. Outro aspecto que dá destaque ao trabalho é a utilização de medidas de ecoeficiência como base para a escolha modal.

Destaca-se que o MEM parte de uma hierarquização baseada em julgamento, quantificando, apresentando o resultado de forma estruturada, convergindo com a prática adotada e acrescentando quando permite avaliar quais mudanças poderiam afetar o desempenho das alternativas. Isso pode ser verificado quando a pior alternativa na avaliação original torna-se a quarta melhor, conforme ações de gestão e tecnologia viáveis são implementadas.

Com o desenvolvimento deste trabalho, comprovou-se a hipótese central de que é possível a aplicação de um modelo que possibilite a escolha do modo de transporte de produtos perigosos e a redução das influências ambientais, sem comprometimento da eficiência dos processos. Ao aplicar o Método de Escolha Modal utilizando-se medidas de ecoeficiência, contribuiu-se para que os transportadores, produtores e governo tenham uma forma de tomar suas decisões, reduzindo influências ambientais sem comprometer o valor do serviço prestado.

A hipótese secundária de que o modo rodoviário, que possui a maior parcela da divisão modal em transporte no Brasil, não seria o mais adequado sob o ponto de vista da ecoeficiência para o transporte de produtos perigosos no Brasil, foi parcialmente comprovada. Para percursos com pequenas distâncias, o modo rodoviário pode ser combinado com outros de maior capacidade, principalmente o dutoviário, para se ter um desempenho favorável. Outro aspecto é a possibilidade de melhorias com a implementação das ações comentadas no desenvolvimento do trabalho.

Com a atual infra-estrutura de transporte brasileira, não se obtêm grandes vantagens ao se utilizar os modos ferroviário e hidroviário. Por outro lado, o dutoviário, que demonstrou ser mais adequado na aplicação realizada, ainda não possui infra-estrutura instalada para transporte do bioetanol, o que torna o país ainda muito dependente do modo rodoviário. O transporte dutoviário tem uma melhor classificação que os demais por apresentar custos baixos e menores impactos ambientais. Apesar do investimento inicial para implantação do duto ser alto, com um grande volume transportado, a recuperação desse capital é viável com a operação em funcionamento. A utilização da hidrovia também é uma alternativa para o transporte do bioetanol, sendo necessário o investimento em infra-estrutura desse modo para viabilizar essa atividade.

Contudo, permanece a idéia de que, com o Método de Escolha Modal disponível para os tomadores de decisão e o aumento da consciência ecológica, existiriam organizações que estariam dispostas a usar uma alternativa de transporte diferente da habitual e que apresentasse menores influências ambientais, mesmo que essa fosse, do ponto de vista operacional, mais complexa. Algumas alternativas apresentam mais de um transbordo e tempo de viagem maior que a alternativa praticada.

As pesquisas para desenvolvimento do trabalho proporcionaram o alcance do objetivo geral. O Método de Escolha Modal permite a avaliação de desempenho em transportes, levando à hierarquização de alternativas de transporte, para a escolha mais viável para produtos perigosos. O método está pautado no conceito de ecoeficiência e é uma alternativa às avaliações tradicionais que consideram unicamente questões econômico-financeiras.

Todos os objetivos específicos também foram atendidos com as pesquisas realizadas, destacando-se neste caso o levantamento de referencial teórico sobre a avaliação de desempenho em transportes e principalmente sobre o perfil de produtores e transportadores, assim como, o transporte de produtos perigosos em si por todos os modos, devido à escassez de informações no Brasil. Foi possível a contribuição teórica e prática para a área de transportes de carga e sua gestão por meio da avaliação de desempenho para a escolha modal.

Assim, as perguntas da problemática podem ser respondidas, já que se verificou que os modos de transporte combinados de forma adequada em suas operações geram menores impactos ao meio ambiente, garantindo o ganho econômico e a competitividade. Também se verificaram quais as principais premissas e elementos para o desenvolvimento de um modelo de transportes de carga de produtos perigosos que leve em consideração o conceito da ecoeficiência.

A aplicabilidade do modelo para transporte de produtos perigosos é confirmada quando se analisa os resultados da pesquisa realizada, na qual se consideram atributos, como a segurança, tradicionalmente usada para questões econômicas e que, no caso de produtos perigosos, influencia fortemente no desempenho e na escolha do transporte.

Alguns argumentos para a utilização do MEM podem ser citados, como a melhoria da imagem no mercado por parte das empresas/governos, já que o mundo tem valorizado essa questão. No contexto de ganho econômico, O MEM permite a quantificação, por exemplo, de emissões de CO₂, o que poderia ser utilizado para a operação com crédito de carbono.

O MEM apresentou-se eficiente e sua utilização para a tomada de decisão em transporte é adequada, demonstrando que é possível para uma organização produtora contribuir para a preservação ambiental e ser eficiente. A possibilidade de estabelecimento de estratégias para escolha modal é uma contribuição deste trabalho, principalmente por se adaptar a qualquer situação. O MEM pode ser utilizado em programas relacionados a Mecanismos de Desenvolvimento Limpo – MDL.

O MEM apresenta também limitações. Não se pretende que seja uma ferramenta inquestionável, mas sim uma ferramenta que auxilie no processo de escolha modal e de tomada de decisão em transportes. Pelo fato de permitir que haja julgamento humano, o que é natural em qualquer processo de tomada de decisão, pode haver distorções nos resultados, caso não sejam tomados os devidos cuidados quando se faz a elicitação a especialistas.

Outra limitação está associada ao contexto brasileiro, que possui pouca quantidade de dados a respeito de transporte. Uma terceira limitação é o tempo, que deve ser dedicado

para aplicação do método e isso pode ser dificultado ainda mais pelas duas outras limitações apresentadas: julgamento de especialistas e falta de informações.

Cita-se como limitação o levantamento de padrões de referência ou *benchmarking*. Se por um lado torna-se difícil obter dados relacionados aos concorrentes, por outro, a organização precisa também ter sua base de dados própria para conhecer qual seu melhor resultado e compará-lo com o melhor resultado do mercado.

Outra conclusão é que na pesquisa existem atributos fortemente ligados a questões econômicas, mas que possuem forte impacto ambiental, como é o caso da segurança. Outro exemplo é o consumo de energia, que ao mesmo tempo se traduz em custo e impacto ambiental, seja por consumo de fontes não-renováveis ou pela emissão de gases de efeito estufa.

A escolha dos atributos é uma etapa determinante do processo de avaliação, pois é partir deles que serão definidas todas as medidas que mostrarão os resultados do negócio. A pesquisa realizada com especialistas gera maior confiabilidade nas escolhas dos atributos apresentados.

Uma observação é o fato da utilização de indicador para o atributo valor de serviço. Se for utilizado algum outro, como valor monetário da carga, o numerador será o mesmo para todas as medidas, já que o valor do bioetanol não irá se alterar seja qual for o modo de transporte utilizado. Desta forma, a avaliação e a escolha modal seriam mais fáceis, pois se dariam em função apenas das influências ambientais.

A utilização da abordagem, baseada em análise relacional *grey* para o cálculo do grau de relacionamento entre as séries/modos de transporte e a série padrão, demonstrou-se aplicável para priorizar as alternativas de modos de transportes e suas combinações. Essa técnica apresentou-se como de fácil entendimento e aplicação e foi capaz de fornecer uma base de dados suficiente para análises complementares, como as demonstradas no capítulo anterior.

A análise relacional *grey* é facilmente adaptável às necessidades de simplicidade no processo de priorização das alternativas, sendo possível sua utilização no meio acadêmico e empresarial.

Com base na literatura nacional e internacional pesquisada, constata-se que os produtos perigosos possuem tratamento diferenciado quanto à sua produção, armazenamento, controle e transporte. Outros países, como os EUA, possuem boa base de dados para pesquisa, enquanto que, no Brasil, apenas o Estado de São Paulo mantém dados atualizados e disponíveis.

Não se encontra uma estatística em nível nacional disponível e como o Estado de São Paulo é o maior produtor de produtos perigosos, pode-se utilizar sua base de dados para retratar o que acontece em todo o país. Mesmo com essa projeção, seria interessante que as agências ligadas ao setor de transporte (ANTT, ANAC e ANTAq) apurassem e publicassem séries históricas relacionadas ao transporte de produtos perigosos no Brasil. Atualmente não está disponibilizada uma matriz sequer de transporte relacionada aos produtos perigosos.

Os produtos perigosos, como combustíveis, de uma forma geral, devem receber maior atenção na avaliação, já que os mesmos respondem pelo maior volume de produtos perigosos transportados. Esse apelo ainda é mais forte para o caso do bioetanol, que vem ganhando projeção mundial como uma fonte de energia com forte apelo ambiental. Considerar formas de transporte mais ecoeficientes para um combustível de fonte renovável, e por isso com menos impactos ambientais, pode ser uma decisão adequada.

Como limitações metodológicas, os resultados apresentados refletem apenas o caso pesquisado, que não deve ser tomado como padrão para contextos diferenciados do estudado.

A análise ficou restrita a uma rede simplificada e um estudo mais aprofundado deve ser realizado no sentido de se estabelecerem outras ligações e composições de alternativas, principalmente para atender a outras regiões e/ou utilizar outros portos.

Existem questões não consideradas pelo MEM que para a tomada de decisão são importantes. Citam-se neste caso os interesses políticos e/ou econômico-sociais que podem interferir nos resultados alcançados e inviabilizar sua execução.

Outra limitação, que pode ser visualizada na aplicação, é que algumas alternativas só podem ser implementadas se houver volume de produção e demanda suficientes para viabilizar a operação. Deste modo, a avaliação deveria ser feita pelos grupos de interesse para se chegar a um resultado global e assim decidir pela(s) alternativa(s) mais apropriada(s) ao contexto geral.

Cita-se ainda outra limitação relacionada com a aplicação, que é a pequena quantidade de dados disponíveis para análise. Isso se deve ao fato de culturalmente as entidades e o governo brasileiro não investirem na prática de monitoramento de suas atividades quantitativamente e quando o fazem consideram apenas questões financeiras e econômicas.

Outro fato é que em muitos casos as informações são concentradas em poucas entidades e as mesmas acabam alegando que são confidenciais. Esse fato foi comprovado quando foram levantados dados com acidentes de produtos perigosos, no caso específico do transporte dutoviário. Atualmente a TRANSPETRO detém todo o transporte de combustíveis por duto e não disponibiliza informações relacionadas à quantidade de acidentes, seus custos e impactos ambientais causados pelos mesmos. No período da pesquisa, contataram-se cinco profissionais da TRANSPETRO para levantamento dos dados e todos confirmaram a confidencialidade dos dados. No caso específico do bioetanol, quando se solicitou informações, por se tratar de dados estratégicos e particulares, a UNICA se reservou ao direito de não disponibilizá-los.

O número reduzido de respondentes na pesquisa de campo propicia outra limitação ao trabalho, apesar do método *Delphi* utilizado minimizar esse problema. Além disso, a amostra de respondentes não contempla transportadores e produtores de bioetanol, que poderiam fornecer informações valiosas. A princípio, foi considerado pelo autor utilizar as bases de dados de produtores que constam no cadastro da UNICA, porém, não foi possível obter respostas devido a fatores como distância e disponibilidade de tempo por parte dos possíveis respondentes.

Os custos com acidentes apresentados não são baseados naqueles que ocorreram somente com produtos perigosos e sim com base em uma estimativa com todos os produtos transportados. Um fato que pode ser subestimado, já que os acidentes com produtos perigosos são muito mais onerosos do que aqueles com cargas comuns.

7.2. Proposições para novos estudos

Como proposição principal, recomenda-se que o MEM seja ampliado para conter outros módulos que não avaliem somente o modo de transporte segundo sua operação, mas também a construção de sua infra-estrutura, seu controle e sua manutenção, bem como a própria construção dos veículos. Desta forma, seria possível analisar as influências ambientais e o valor do serviço com base no conceito de análise do ciclo de vida.

Também seria interessante utilizar a modelagem apresentada nesta tese para programação do MEM em um *software* para disponibilização no mercado. Assim, seria uma ferramenta adequada, de fácil utilização e ao alcance dos tomadores de decisão. Outra aplicabilidade desse *software* seria no ensino do transporte de carga, transformando-o em uma ferramenta de simulação para identificar como as variáveis do transporte de carga interagem em um contexto mais amplo.

Para trabalhos complementares a este, propõe-se a utilização de uma rede mais abrangente, para o caso do bioetanol e/ou outros combustíveis, com alternativas de escoamento para exportação e distribuição interna.

A aplicação poderia ser realizada para o mesmo produto em outros países para efeito de comparação. Por exemplo, os Estados Unidos disputam com o Brasil o primeiro lugar em volume de produção do bioetanol. Desta forma, seria interessante uma nova pesquisa *Delphi* com especialistas americanos para identificação da importância dos atributos. Ainda neste contexto, outra recomendação importante seria a comparação dos resultados americanos com o brasileiro e/ou ainda utilizar os dados de cada medida de um país em outro e identificar os *gaps* entre os desempenhos reais e os que poderiam ser alcançados.

Outra recomendação seria a comparação entre o desempenho desses dois países em termos de produção e transporte. Sabe-se que as características geográficas de produção e as distâncias percorridas são parecidas, mas teoricamente a infra-estrutura americana de transporte é melhor que a brasileira. Contudo, o Brasil, na teoria, possui maior eficiência na produção devido ao seu bioetanol ser produzido a partir da cana-de-açúcar, que demanda menor quantidade plantada para produzir a mesma quantidade de bioetanol do que a partir do milho, como é o caso americano.

O MEM poderia ainda ser utilizado estabelecendo-se pesos para as medidas de eco-eficiência. Como visto na aplicação, algumas medidas, se tiverem grau de importância maior, podem influenciar na hierarquização e na escolha do modo de transporte.

Também seria possível o MEM ser aplicado ao transporte de produtos perigosos em áreas urbanas que possuem outras prioridades em termos de influências ambientais, pois incluem mais fortemente a presença de pessoas e um fluxo mais intenso de tráfego.

Recomenda-se que a avaliação baseada nos atributos propostos seja aplicada a outros tipos de produtos perigosos com outras redes de transporte, indicadores e medidas. Essa prática poderá trazer um maior aprofundamento e entendimento ao assunto em questão.

Aplicação de outras técnicas de auxílio multicritério também seria apropriada para confirmar ou refutar a hierarquia apresentada. Como demonstrado no capítulo 4, existem outras técnicas baseadas em julgamento que poderiam ser aplicadas para testar sua validade. Em função da escassez de dados, a validação dessas técnicas no MEM poderia trazer grande vantagem em termos de tempo de resposta e apuração dos resultados.

Como o MEM se autoalimenta, outras rodadas seriam interessantes ao longo do tempo. As mudanças em termos tecnológicos, de concorrência ou de gestão podem interferir no resultado das influências ambientais e no valor do serviço, alterando a hierarquia das alternativas apresentadas.

Outra recomendação que daria sustentação à continuação deste trabalho seria uma pesquisa para formar uma base de dados para acidentes com produtos perigosos. Esse projeto poderia ser realizado em parceria com as próprias agências governamentais e os

ministérios, como os de Transporte e Meio Ambiente. A contabilização dos custos com acidentes, incluindo a degradação ambiental, também poderia fazer parte das bases de dados.

Por fim, a inclusão de uma linha de pesquisa relacionada ao transporte de produtos perigosos e suas influências ambientais, no Programa de Engenharia de Transportes da COPPE/UFRJ, poderia ser um diferencial para dar sustentação a outras pesquisas e recomendações citadas neste trabalho.

7.3. Ações realizadas durante a pesquisa de tese

Além dos resultados apresentados neste documento, no período de pesquisa e confecção deste trabalho, foram publicados pelo autor vinte e um artigos em congressos e periódicos, incluindo uma publicação em periódico internacional (Leal Jr e D'Agosto, 2011).

Em congressos nacionais, foram publicados artigos aplicando a decisão a alternativas para transporte de produtos siderúrgicos (Leal Jr *et al.*, 2009a), a avaliação de desempenho de concessionárias de ferrovias (Silva e Leal Jr, 2009) e a aplicação da AHP para avaliação dos modos para produtos perigosos (Leal Jr *et al.*, 2009b). Também se utilizou o estudo de caso deste trabalho, considerando aspectos econômico-financeiros e socioambientais em vez de medidas de ecoeficiência (Leal Jr *et al.*, 2009a; Leal Jr e D'Agosto, 2009b e 2009c) e modelos híbridos das técnicas de auxílio multicritério AHP e GRA (Leal Jr e D'Agosto, 2009a).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIQUIM, 2008, *Associação Brasileira da Indústria Química*, Disponível: <http://www.abiquim.org.br>, Acessado em: 20/05/08

ABIQUIM, 2009, *A Indústria Química Brasileira em 2008. A Associação Brasileira da Indústria Química. Brasil.* Internet: <http://www.abiquim.org.br/conteudo.asp?princ=ain>

ABTLP, 2008. Associação Brasileira de Transporte e Logística de Produtos Perigosos. *Normas brasileiras aplicáveis ao transporte rodoviário de produtos perigosos (aplicação obrigatória)* Internet: <http://www.abtlp.org.br/legislacao.asp>. Acessado em 21/11/2009.

AIPCR/PIARC, 2002, Association Mondiale de la Route, World Road Association (AIPCR/PIARC), *Keep death off your road*, Paris, 2002.

ALEGRE, H., HIRNER, W., BAPTISTA, J. M., PARENA, R., 2004, *Indicadores de desempenho para serviços de abastecimento de água*. Série Guias Técnicos, LNEC e IRAR.

ALMEIDA, A. T. e COSTA, A. P. C. S., 2003, *Aplicações com métodos multicritério de apoio a decisão*. Ed Universitária, Recife.

ANAC, 2009a, *Agência Nacional de Aviação Civil. Empresas Aéreas*. Internet: <http://www.anac.gov.br/empresas/empresasAereas.asp>

ANAC, 2009b, *Agência Nacional de Aviação Civil. Legislação*. Internet: <http://www.anac.gov.br/legislacao/>. Acessado em 26/09/2009.

ANDRADE, R. O. B.; TACHIZAWA, T.; CARVALHO, A. B., 2000, *Gestão ambiental: enfoque estratégico aplicado ao desenvolvimento sustentável*. São Paulo: Makron Books.

ANFAVEA, 2009. *PROCONVE (Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores) as fases passadas e futuras*. Apresentação por Henry Joseph Jr. Comissão de Energia e Meio Ambiente. Seminário sobre Emissões de Veículos Diesel, São Paulo, 27 de outubro de 2009.

ANP, 2009, *Anuário Estatístico 2009. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis*. Brasil. Internet:
<http://www.anp.gov.br/?pg=8240&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&cachebust=1258834614687>

ANTAq, 2009a, *Agência Nacional de Transporte Aquaviários. Empresas autorizadas*. Internet: <http://www.antaq.gov.br/Portal/default.asp>

ANTAq, 2009b, *Agência Nacional de Transporte Aquaviários. Legislação*. Internet: <http://www.antaq.gov.br/Portal/resolucoes.asp>. Acessado em 26/09/2009.

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, 2005. *Relatório Anual de Acompanhamento das Concessões Ferroviárias*. Agência Nacional de Transportes Terrestre. Disponível em <http://www.antt.gov.br/relatorios/ferroviario/concessionarias2005/index.asp>. Acessado em 28/03/2010.

ANTT, 2008, *Agência Nacional De Transportes Terrestres*. Disponível: <http://www.antt.gov.br> , acessado em: 30/05/08

ANTT, 2009, *Agência Nacional de Transporte Terrestre. Concessões Ferroviárias*. Internet: <http://www.antt.gov.br/concessaofer/apresentacaofer.asp>

ANUÁRIO DO TRANSPORTE DE CARGA, 2007, Editora OTM, Volume 3, 2007

ASSIS, L. P., 2007., *Algoritmos para o problema de roteamento de veículos com coleta e entrega simultâneas*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Minas

Gerais. Instituto de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Belo Horizonte.

AYYUB, B.M., 2001, *Elicitation of Expert Opinions for Uncertainty and Risks*. CRC Press LLC, London.

BALLOU, R. H., 1993. *Logística Empresarial: Transportes, Administração de Materiais e Distribuição Física*. São Paulo, Atlas.

BALLOU, R. H., 2001, *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos* – Porto Alegre, Bookman.

BANA e COSTA, C. A. and VASNICK, J.C., 1997, *Applications of the MACBETH Approach in the Framework of an Additive Aggregation Model*, *Journal of Multicriteria Decision Analysis*, v.6, n.2, p. 107-114.

BANA e COSTA, C. A. e VASNICK, J.C., 1995, *Uma Nova Abordagem ao Problema de Construção de uma Função de Valor Cardinal: MACBETH*. *Investigação Operacional*, v. 15, p. 15-35.

BANA e COSTA, C.A., 1993, *Três convicções fundamentais na prática do apoio à decisão*. *Pesquisa Operacional*, V.13, n.1, p.9-20.

BANA e COSTA, C.A; CHAGAS, M.P., 2004, *A career choice problem: an example of how to use MACBETH to build a quantitative value model based on qualitative value judgments*. *European Journal of Operational Research*, v.153, n.2, p.323-331.

BARBA-ROMERO, S. y POMEROL, J.C., 1997, *Decisiones multicriterio: fundamentos teóricos e utilización práctica*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Alcalá, Alcalá. 420p.

BARBIERI, J. C., 2006, *Gestão Ambiental Empresarial: conceitos, modelos e instrumentos*. Editora Saraiva, São Paulo – SP.

- BARROS, J.P.B. e LEHFELD, N.S., 1986, *Fundamentos de Metodologia. Um guia para a iniciação científica*. São Paulo: McGraw-Hill.
- BCSD PORTUGAL, 2008, *Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável*
Disponível em: <http://www.bcsdportugal.org/>. Acessado em:16/04/08
- BEAMON, B. M., 1999, *Measuring supply chain performance*. International Journal of Operations & Production Management, v. 19, n. 3, p. 275-292.
- BECKEN, S., 2007, *Developing indicators for managing tourism in the face of peak oil*. Tourism Management 29, 695–705.
- BELTON, V. A. and Gear T., 1985, *The legitimacy of rank reversal – a comment*. In: Omega, v. 13, n. 3, p. 143-144.
- BERGMANN, G., 2007, *Transporte Internacional de Cargas*. 2ª edição, Aduaneiras, SP.
- BERTAGLIA, P., 2003, *Logística e Gerenciamento da Cadeia de Abastecimento*. São Paulo: Saraiva.
- 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.
- BORGES, F. H. e TACHIBANA, W. K., 2005, *O quadro evolutivo do ambientalismo e os impactos no ambiente dos negócios*. XII SIMPEP - Bauru, SP, Brasil, 07 a 09 de novembro de 2005.
- BOUYSSOU, B., 1990, *Building criteria: a prerequisite for MCDA*. In: Multiple Criteria Decision Aid. Springer Verlag, Berlin.
- BOWERSOX, D. e CLOSS, D., 2001, *Logística Empresarial*. São Paulo: Atlas, Tradução de: Logistical management: the integrated supply chain process.

- BRANS, J. P. and MARESHAL, B., 1997, *Multicriteria decision aid the Promethee-gaia solution*. University of Brussels.
- BRANS, J. P., MARESCHAL, B. and VINCKE, Ph., 1984, *PROMOTHEE: a new family of outranking methods in multicriteria analysis*, Operational Research '84, Amsterdam: Elsevier, pp. 408-421.
- BREWER, P. C. and SPEH, T. W., 2001, *Adapting the balanced scorecard to supply chain management*. Supply Chain Management Review, v. 5, n. 2, p. 48-56, Mar./Apr.
- BRITO, J. M., CAVALCANTE, C. A. V. E FITTIPALDI, E. H., 2006, *Priorização de gasodutos em hierarquia de riscos: Uma abordagem multicritério*. XXVI ENEGEP - Fortaleza, CE, Brasil, 9 a 11 de Outubro de 2006
- BTS, 2006. *Freight Data and Statistics*. Bureau of Transportation Statistics. USA 2006, Internet: http://www.bts.gov/programs/freight_transportation/
- CAIXETA-FILHO, J. A. e MARTINS, R. S., 2007, *Gestão Logística do Transporte de Cargas*. Ed. Atlas, São Paulo.
- CAMPOS, V. R. e ALMEIDA, A. T., 2006, *Modelo multicritério de decisão para localização de Nova Jaguaribara com VIP Analysis*. Pesquisa Operacional, v.26, n.1, p.91-107, Janeiro a Abril de 2006.
- CAPRIGLIONE, P. S., 2006, *A energia renovável na matriz energética brasileira*. Dissertação de Mestrado, Escola de Economia de São Paulo, 107 p.
- CARDOSO, L. R. de A., 2005, *Prospecção de futuro e Método Delphi: uma aplicação para a cadeia produtiva da construção habitacional*. Revista ambiente construído, Porto Alegre, V5, N3, p.23-38.
- CARVALHO, G. S. e MINGOTI, S. A. *Manual do Usuário: Programas para realização da Análise Hierárquica*. UFMG, Novembro de 2005.

- CEBDS, 2008, *Conselho Empresarial Brasileiro para o desenvolvimento sustentável*. Disponível em: <http://www.cebds.org.br/cebds/eco-rbe-beneficios.asp>. Acessado em: 16/04/08
- CETESB, 2003, *Manual de Produtos Químicos - Guia Técnico*. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental- CETESB. Disponível em http://www.cetesb.sp.gov.br/Emergencia/produtos/g_tecnico.pdf. Acessado em 19/03/2010.
- CETESB, 2004a, *Emergências Químicas*. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental- CETESB. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Emergencia/emergencia.asp>>. Acesso em: 19 de março de 2004.
- CETESB, 2004b, *Manual de produtos químicos*. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental- CETESB.
- 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.
- CHARNES, A., COOPER, W. W. and RHOODES, E., 1978, *Measuring efficiency of decision making units*. European Journal of Operations Research, 2(6), PP.429-444.
- CHEON, S., DOWALL, D. E. and SONG, D., 2009, *Evaluating impacts of institutional reforms on port efficiency changes: Ownership, corporate structure, and total factor productivity changes of world container ports*. Transportation Research Part E. v. 46, Issue 4, July, pp. 546-561.
- CHIUMMO, L. A., 2004, *Desempenho Ambiental e processo de Comunicação: estudo de caso nos setores químico e petroquímico*. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo: (Área concentração: Engenharia Mineral). Internet: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3134/tde-29112004-133707/>

- CHOPRA, S. e MEINDL, P., 2003, *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Estratégia, Planejamento e Operação*. São Paulo, Prentice Hall.
- CHRISTOPHER, M., 1997, *Logística e Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Estratégia para redução de custos e melhoria dos serviços*. São Paulo: Pioneira.
- CNT, 2005, *Boletim Estatístico CNT*. Internet; disponível em [http://www.cnt.org.br/portal/\(F\(37orQ-nasgzUfdW80P7h4dmMAiV63YMfov5-tHICUGqZYQo3WhKogoWCjSvkHCzNNouEeONYnUGjSDTQipJtejhTsl7wGR4Q3HZS-NY01\)\)/arquivos/cnt/downloads/bol_estatistico/becnt_2005_12.pdf](http://www.cnt.org.br/portal/(F(37orQ-nasgzUfdW80P7h4dmMAiV63YMfov5-tHICUGqZYQo3WhKogoWCjSvkHCzNNouEeONYnUGjSDTQipJtejhTsl7wGR4Q3HZS-NY01))/arquivos/cnt/downloads/bol_estatistico/becnt_2005_12.pdf)
- CNT, 2008, *Confederação Nacional Dos Transportes*. Disponível: <http://www.cnt.org.br>, acessado em: 23/05/08
- CNT/COPPEAD, 2003, *Transporte de Cargas no Brasil: Ameaças e Oportunidades para o Desenvolvimento do País - Diagnóstico e Plano de Ação*. Confederação Nacional dos Transportes, Brasil, 2003. Internet: <http://www.cnt.org.br/>
- COELHO, G., 2003, *Prospecção Tecnológica: metodologias e experiências nacionais e internacionais*. Instituto Nacional de Tecnologia. Arquivo capturado do site <HTTP://www.tendencias.int.gov.br> em 17/06/2006.
- CONAMA, 2007, *Resolução CONAMA Nº 001, de 23 de janeiro de 1986*. Brasil, 2007. Internet http://www.pgr.mpf.gov.br/pgr/4camara/grupos_trabalho/residuos/licenciamento/001_1986.pdf
- COOKE, R.M., 1991, *Experts in Uncertainty*. Oxford University Press, New York.
- CORÁ, M. A. J., 2004, *Responsabilidade Ambiental e Desenvolvimento Sustentavel no Brasil*. In: XI Simpep - 2004, Bauru. Caderno de Resumos.
- CORRÊA, H. L. e CORRÊA, C., 2005, *Administração de produção e de operações, Manufatura e serviços: uma abordagem estratégica*. São Paulo, Editora Atlas.

- CUNHA, W. de C., 2009, *Análise do Transporte de Produtos Perigosos no Brasil* Wallace de Castro Cunha. - Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2009. XXIII, 201 p.: il.; 29,7 cm. Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Transportes.
- D’AGOSTO, M. A. and Ribeiro, S. K., 2004, *Eco-efficiency management program (EEMP)—a model for road fleet operation*. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 9, 497-511
- 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.
- D’AGOSTO, M. A. and RIBEIRO, S. K., 2009, *Assessing total and renewable energy in brazilian automotive fuels. A life cycle inventory (LCI) approach*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 13, 1326–1337.
- D'AGOSTO, M. A. e BALASSIANO, R., 2001, *Conservação de energia em sistemas de transportes: uma estrutura de procedimentos*. In: XV Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2001, Campinas. Anais do XV Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. Campinas: R. Vieira - Gráfica e Editora Ltda, 2001. v. 2. p. 83-90.
- DEFESA CIVIL, 2008, *Produtos perigosos*. Disponível em: <http://www.defesacivil.sc.gov.br/> acessado em: 30/04/08
- DEFESA CIVIL, 2009, *Manual da ABIQUIM*. Internet: http://www.defesacivil.sc.gov.br/index.php?option=com_content&task=view&id=140&Itemid=189
- DENG, J., 1989, *Introduction to grey system theory*. Journal of Grey Systems, 1, 1-24.
- DIAS, L.C. and CLÍMACO, J. N., 2000, *Additive Aggregation with Variable Interdependent Parameters: the VIP Analysis Software*. Journal of Operational Research Society, 51(9), 1070-1082.

- DNIT, 2004, *Custos de acidentes de trânsito nas rodovias federais: sumário executivo*. Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes DNIT, Rio de Janeiro.
- DNV, 2008, *Det Norske Veritas*. Internet disponível em: <http://www.dnv.com.br>. Acessado em 24/09/2010.
- DREYER, D. E., 2000, *Performance measurement: a practitioner's perspective*. Supply Chain Management Review, v. 4, n. 4, p. 63-68, Sep./Oct. 2000.
- DUKSTAIN L. and PARENT E., 1994, Engineering Risks in natural resources management: with special references hydrosystems under changes of physical or climatic environment. Kluwer Academic.
- ENGLISH, M., CASTELLUCCI, M. and MYNORS, D.J., 2006, *Eco-efficiency of the cold roll formed product supply chain*. Journal of Materials Processing Technology 177, 626–629.
- ESTES, G. M. and KUESPERT, D., 1976, *Dlephi in industrial forecasting*. Chemical and Engineering News, EUA, P. 40-47, agosto de 1976.
- 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.
- FERNANDES, C. H., 1996, *Priorização de projetos hidrelétricos sob a ótica social: um estudo de caso utilizando análise custo/benefício e uma metodologia multicritério de apoio à decisão - "MACBETH"*. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- FHWA USDOT, 2005, *Effects of Freight Movement on Air Quality at the National and Regional Level Home Federal Highway - 2005*. Administration - US Department of Transportation. USA, 2006. Internet: <http://www.fhwa.dot.gov/environment/freightaq/index.htm#toc>

- FIGUEIREDO, R., 2005, *Gargalos logísticos na distribuição de combustíveis brasileira*. COPPEAD, Rio de Janeiro.
- FLEURY, P. F. e WANKE, P., 2003, *Planejamento e Administração do Transporte*. São Paulo: Atlas. p.235-236.
- FLEURY, P. F., 2003, *Panorama do Transporte de Cargas no Brasil. Logística e Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos - Planejamento do Fluxo de Produtos e dos Recursos*. São Paulo: Atlas, 2003.
- FOGLIATTI, M. C., CAMPOS, V. B. G., FERRO, M. A. C., SINAY, L e CRUZ, I., 2008, *Sistema de Gestão Ambiental para empresas*. Editora Interciência. Rio de Janeiro.
- FOGLIATTI, M. C., FILIPPO, S. e GOUDARD, B., 2004, *Avaliação de impactos ambientais: aplicação aos sistemas de transporte*. Rio de Janeiro: Interciência.
- FONSECA, M. de O., 2003, *Análise dos modais de transporte para suprimento de derivados de petróleo (diesel e gasolina) no estado de Sergipe - estudo de caso*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.
- FONTANA, A., FARIA, P., MOREIRA, M. E. P. e MONTENEGRO, N. G. S. D., 2009, *Escolha do modal com maior índice socioeconômico ambiental para o transporte de soja a granel entre Cuiabá-MT e Santarém-PA*. In: XXII ANPET - Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, Vitória, ES.
- FPNQ, 2004, *Crítérios de Excelência 2004*. Fundação Prêmio Nacional da Qualidade. São Paulo: FPNQ.
- FROTA NETO, J. Q., WALTHER, G., BLOEMHOF J., NUNEN J. A. E. E. and SPENGLER T., 2009, *A methodology for assessing eco-efficiency in logistics networks*, European Journal of Operational Research, Volume 193, Issue 3, 16 March 2009, Pages 670-682

- GAMA, R B., 2008, *A decisão entre os modos rodoviário e ferroviário no transporte dos bens siderúrgicos visando a eco-eficiência*. UFF. Monografia, Escola de Ciências Humanas e Sociais. Volta Redonda, RJ.
- GARCIA, P. A. A. e FRUTUOSO e MELO, P. F. F., 2005, *Aplicação de um modelo Grey DEA à análise comparativa de riscos entre tecnologias de geração de energia*. International Nuclear Atlantic Conference – INAC 2005, Santos, SP, Brasil.
- GARCIA, P. A. de A., 2001, *Aplicação de análise envoltória de dados – (DEA) no processo de manutenção centrada em confiabilidade – (RCM)*. Rio de Janeiro, 2001. Ministério da Defesa, Exército Brasileiro, Secretaria de Ciência e Tecnologia, Instituto Militar de Engenharia, Mestrado em Sistemas e Computação.
- GARCIA, P. A. de A., SILVA NEVES, J. C., JACINTO, C. M. C. e DROGUETT, E. A. L. *Utilização de análise relacional grey no gerenciamento da cadeia logística*. XXVII Simposio Brasileiro de Pesquisa Operacional. 27 a 30/09/2005. Gramado, RS. 2005.
- GASPARETTO, V., BORNIA, A. C. e KLIEMANN NETO, F. J., 2003, *Análise Crítica de Sistemáticas de Avaliação de Desempenho de Cadeias de Suprimentos*. Anais do VIII Congresso del Instituto Internacional de Costos, Punta del Este, Uruguai: IIC.
- GEIPOT, 2001, *Anuário estatístico dos Transportes: Quantidade da carga transportada em toneladas-quilômetro, por modo 1996 – 2000*. Internet; Disponível em <http://www.geipot.gov.br/anuario2001/complementar/tabelas/721.xls>
- GHG PROTOCOL, 2008, *Móbile Guide*. Disponível em: www.ghgprotocol.org, Acessado em: 12/06/2008
- GIL, A. C., 1991, *Como elaborar projetos de pesquisa*. SãoPaulo: Atlas.

- GIOVINAZZO, R. A. e FISCHMANN, A. A., 2001, *Delphi Eletrônico – uma experiência de utilização da metodologia de pesquisa e seu potencial de abrangência regional*. XIV Congresso Latinoamericano de Estratégia. Maio de 2001, Buenos Aires, Argentina.
- GOMES, L. F. A. M., ARAYA, M. C. G. e CARIGNANO, C., 2004, *Tomada de decisões em cenários complexos: introdução aos métodos discretos do apoio multicritério à decisão* – São Paulo: Pioneira Thomson Learning.
- GOMES, L.F.A.M and 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.
- GONÇALVES, B. S. e COSTA, M. B. B., 2009, *Tomada de decisão em nível estratégico entre transporte rodoviário ou transporte intermodal para o escoamento de carga geral no Brasil*. In: XXII ANPET - Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2009, Vitória, ES.
- GOOGLEMAPS, 2008, *Mapa do Brasil*. Internet: maps.google.com.br. Acessado em 02/03/2009.
- GRANEMAN, S. R. e GARTNER, I. R., 2000, *Modelo Multicriterial para Escolha Modal/Sub-Modal de Transporte*. Anais do XIV Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, Gramado, p. 337–345.
- GRISI, C. C. de H. e BRITTO, R. P., 2002, *Técnicas de Cenários e o Método Delphi: uma aplicação para o ambiente brasileiro*. VI Seminário de Administração da USP, São Paulo.
- GUMUS, A. T., 2009, *Evaluation of hazardous waste transportation firms by using a two step fuzzy-AHP and TOPSIS methodology*. Expert Systems with Applications 36, 4067–4074

- GUNASEKARAN, A., PATEL, C. e TIRTIROGLU, E., 2001, *Performance measures and metrics in a supply chain environment*. International Journal of Operations & Production Management, v. 21, n. 1/2, p. 71-87.
- HAIR JR, J. F., 2005, *Análise Multivariada de Dados*. Porto Alegre: Bookman.
- HAZMAT/DOT, 2006, *Hazardous Materials Incident Summaries and Data – 2006*. Office of Hazardous Materials Safety. US Department of Transportation. USA, 2006. Internet: <http://hazmat.dot.gov/pubs/inc/hmisframe.htm>
- HELMER, O., 1968, *Analysis of the future: the delphi method, and the delphi method — an illustration*. In J. Bright (Ed.), *Technological Forecasting for Industry and Government*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- HSU, Y., LI, W. and CHEN, K., 2009, *Structuring critical success factors of airline safety management system using a hybrid model*. Transportation Research Part E. Article in press.
- HWANG, C. L. and YOON, K. P., 1981, *Multiple attributes decision making methods and applications*. Berlin: Springer-Verlag.
- IBGE, 2008, *Pesquisa Industrial Anual*. Pesquisa Industrial Mensal, abril 2008.
- IEA, 2006, *Key World Energy Statistics- 2006 Edition*. International Energy Agency. Internet: <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2006/key2006.pdf>
- JABBOUR, C. J. C., 2005, *Contribuições da gestão da qualidade para a competitividade ambiental: reflexões sobre a Total Quality Environmental Management*. XII SIMPEP – Bauru, SP, Brasil, 7 a 9 de Novembro de 2005.
- JOLLANDS, N., LERMIT, J. and PATTERSON, M., 2004, *Aggregate eco-efficiency indices for New Zealand—a principal components analysis*. Journal of Environmental Management 73, 293–305.

- KAPLAN, R. S. e NORTON, D. P. A., 1997, *Estratégia em Ação: Balanced Scorecard*. Rio de Janeiro: Campus.
- KAYO, E. K. e SECURATO, J. R., 1997, *Método Delphi: Fundamentos, Críticas e Vieses*. Caderno de Pesquisas em Administração; v.1, n.4, p. 51-61, 1º Sem/97. 51; São Paulo.
- KEENEY, R. L.; RAIFFA, H., 1993, *Decisions with multiple objectives: preferences and value tradeoffs*. Cambridge: Cambridge University Press, p. 569.
- KHAREL, G.P. and CHARMONDUSIT, K., 2007, *Eco-efficiency evaluation of iron rod industry in Nepal*. Journal of Cleaner Production, September.
- KROHLING, R. A. e CAMPANHARO, V. C., 2009, *Fuzzy TOPSIS para tomada de decisão multicritério: uma aplicação para o caso de acidentes com derramamento de óleo no mar*. XLI SBPO 2009 - Pesquisa Operacional na Gestão do Conhecimento.
- KUOSMANEN, T. and KORTELAJAINEN, M., 2005, *Measuring eco-efficiency of production with data envelopment analysis*. Journal of Industrial Ecology 9 (4), 59–72.
- KUTANOGLU, E. and LOHIYA, D., 2008, *Integrated inventory and transportation mode selection: A service parts logistics system*. Transportation Research Part E 44, 665–683
- LAKATOS, E. M. e MARCONI, M., 1991, *Fundamentos da Metodologia Científica*. São Paulo: Atlas.
- LAMBERT, D. M. and POHLEN, T. L., 2001, *Supply chain metrics*. The International Journal of Logistics Management, v. 12, n. 1, p. 1-19.
- LEAL JR, I. C. e DAGOSTO, M. A., 2008, *Avaliação do desempenho para escolha dos modos de transporte de carga com base na eco-eficiência*. XXII ANPET – Fortaleza, CE.

- LEAL JR, I. C. e D'AGOSTO, M. de A., 2009a, *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, 2009, Rio de Janeiro.
- LEAL JR, I. C. e D'AGOSTO, M. de A., 2009b, *Avaliação de alternativas para o transporte de etanol para exportação no Brasil considerando aspectos socioambientais* In: XVI SIMPEP - Simpósio de Engenharia de Produção, 2009, Bauru, SP.
- LEAL JR, I. C. e D'AGOSTO, M. de A., 2009c, *Escolha modal para transporte de etanol com a utilização de análise relacional grey e processo de análise hierárquica*. In: XXII ANPET - Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2009, Vitória, ES.
- 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.
- LEAL JR, I. C. e GARCIA, P. A. A., 2008, *Utilização de análise relacional grey para seleção dos modos de transporte baseando-se na eco-eficiência*. In: XI Encontro de Modelagem Computacional, Volta Redonda.
- LEAL JR, I. C. e MACEDO, M. A. da S., 2004, *Avaliação de Desempenho na Cadeia de Suprimentos* In: VII Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha, Rio de Janeiro.
- LEAL JR, I. C., D'AGOSTO, M. A. e GARCIA, P. A. A., 2010, *Método de Escolha modal com utilização de medidas de ecoeficiência*. XVI PANAM, July 15-18, Lisbon, Portugal
- LEAL JR, I. C., GAMA, R. B. e REAL, M. V., 2009a, *A decisão entre o transporte de bens siderúrgicos com foco na eco-eficiência*. In: VII Rio de Transportes, 2009, Rio de Janeiro.

- LEAL JR, I. C., INACIO, G. R. A., OLIVEIRA, L. F. R. e COSTA, B. S., 2009b, *Escolha modal para produtos perigosos com a utilização do Processo de Análise Hierarquica – AHP*. In: VII Rio de Transportes, 2009, Rio de Janeiro.
- LEAL JR., I. C., 2006, *O transporte rodoviário de produtos perigosos e os seus impactos no meio ambiente*. XIII SIMPEP - Bauru, SP, Brasil.
- LEITE, A. L., 2009, *Avaliação do desempenho do transporte ferroviário brasileiro*. Curso (Administração de Empresas) - Universidade Federal Fluminense. Monografia.
- LIMA, M. P., 2003, Custeio do Transporte Rodoviário de Cargas. In: FIGUEIREDO, Kleber Fossati *et al.* Logística e Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos - Planejamento do Fluxo de Produtos e dos Recursos. São Paulo: Atlas, p.257-267.
- LINS, M. E. e ANGULO MEZA, L., 1999, *DEA - Data Envelopment Analysis: Fronteiras de Produtividade*. UFRJ, Rio de Janeiro.
- LINS, M. E. e ANGULO MEZA, L., 2000, *Análise Envoltória de Dados e perspectivas de integração no ambiente de apoio à decisão*. UFRJ, Rio de Janeiro.
- LINSTONE, H.A. and TUROFF, M., 1975, *The Delphi Method, Techniques and Applications*. Addison Wesley, MA.
- LIU, S and LIN, Y., 2006, *Grey information: theory and practical applications*. Springer, London.
- LO, S., CHAO, Y and LEE, G., 2009, *Grey Relational Evaluation on Road Project Delivery Models*. AIP Conf. Proc. August 13, Volume 1148, pp. 480-484
- LOBIANCO, A. T. M. e ANGULO MEZA, L., 2008, *Uma proposta para determinação de rankings no ensino superior utilizando a análise envoltória de dados*. In: XL SBPO, João Pessoa, PB.

- LOOTSMA, F. A., 1990, *A multiplicative variant of the analytic hierarchy process*. Report of the faculty of technical mathematics and informatics, n. 90-45, Delft University of Technology.
- 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
- LU, M. and WEVERS, K., 2007, *Application of grey relational analysis for evaluating road traffic safety measures: advanced driver assistance systems against infrastructure redesign*. IET Intell. Transp. Syst., Vol. 1, No. 1, March.
- MACHADO, R. R., SILVA, M. L., MACHADO, C. C. e LEITE, H. G., 2006, *Avaliação do desempenho logístico do transporte rodoviário de madeira utilizando rede de petri em uma empresa florestal de Minas Gerais*. Revista Árvore, Viçosa-MG, v.30, n.6, p.999-1008.
- MAIA, A. D. G., 2008, *Cenários Prospectivos Tecnológicos para o transporte Rodoviário de Carga no Brasil: O Caso da Frota de Caminhões*. Rio de Janeiro. Tese de Doutorado. PET/COPPE/UFRJ, 193p.
- MALHOTRA N. K., 2002, *Pesquisa de Marketing: uma orientação aplicada*. Bookman. Porto Alegre. 3ª edição
- MANHEIN, L. M., 1980, *Understanding Supply in Transportation Systems*. Transportation Research. 14A, Great Britain, pp. 119-135
- MARTINS, R. S., LOBO, D. S. e PEREIRA, S. M., 2005, *Atributos relevantes no transporte de grãos agrícolas: preferência declarada pelos embarcadores*. Revista de Economia e Agronegócio, vol.3, Nº 2.
- MATTOS, L. B. R., 2001, *A Importância do Setor de Transportes na Emissão de Gases do Efeito Estufa – O Caso do Município do Rio de Janeiro*. COPPE/UFRJ, Tese de Mestrado, Planejamento Energético, Rio de Janeiro.

- MAXIMIANO, A. C. A., 2000, *Teoria Geral da Administração*. Editora Atlas, 2 ed. São Paulo.
- MCT, 2003, *Estimativa das Emissões de Gases de Efeito Estufa Derivadas da Queima de Combustíveis no Brasil*. Ministério de Ciência e Tecnologia, Brasil.
- MELLO, P. F. B., CARDOSO, B. C. e D'AGOSTO, M. A., 2009, *Identificação dos atributos de desempenho para a utilização do serviço de transporte de carga pela hidrovia tietê-paraná*. In: XXII ANPET - Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2009, Vitória, ES.
- MICHELSEN, O. FET, A. M. and DAHLSTRUD, A., 2005, *Eco-efficiency in extended supply chains: A case study of furniture production*. Journal of Environmental Management. October.
- MICKWITZ, P., MELANEN, M., ROSENSTRO, U. e SEPPALA, J., 2005, *Regional eco-efficiency indicators e a participatory approach*. Journal of Cleaner Production 14, 1603e1611
- MILES, I. and SCAPOLO, F., 2006, *Eliciting expert's knowledge: a comparison of two methods*. Technological Forecasting & Social Change, 73, pp. 679-704
- MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, 2010, *Política Ambiental do Ministério dos Transportes*. Ministério dos Transportes, Brasil. Disponível em: <http://www.transportes.gov.br/CPMA/politica-ambiental.pdf> Acessado em 20/03/2010.
- MMA, 2007, *Plano Nacional de prevenção, preparação e resposta rápida a emergências ambientais com produtos químicos perigosos*. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, Brasil.
- MME, 2006, *Balanco Energético Nacional 2006*. Ministério de Minas e Energia. Brasil. Internet: <http://www.mme.gov.br>

- MORLOK, E. K., 1980, *Types of Transportation Supply Functions and Their Applications*. Transportation Research. 14B, Great Britain, pp. 9-27
- MRS Logística, 2009, *Relatório de Acidentes em 2009*. Documentos Internos da MRS Logística. Acesso em 05/02/2010.
- MUSEU DO TREM, 2010, Inventário de Locomotivas no Brasil. Internet: <http://www.trem.org.br/guiaigl.htm>. Acessado em 15/11/2010.
- MS, 2009, *Modelo de atuação para a vigilância em saúde. Ambiental relacionada aos acidentes com produtos perigosos*. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Coordenação Geral de Vigilância em Saúde Ambiental, Brasília, Brasil
- NEELY, A.D., GREGORY, M.J., PLATTS, K.W., 1995, *Performance measurement system design: a literature review and research agenda*. International Journal of Operations & Production Management, Vol. 15 N°4, pp.80-116.
- NEIVA, S. B. e GOMES, L. F. A. M., 2007, *A aplicação da teoria da utilidade multiatributo à escolha de um software de e-procurement*. Rev. Tecnol. Fortaleza, v. 28, n. 2, p. 160-171.
- NIJKAMP P., REGGIANI A. and BOLIS, S., 1997, *European freight transport and the environment: empirical applications and scenarios*. Transportation Research Part D: Transport and Environment, Volume 2, Issue 4, December, Pages 233-244.
- NIOSH, 2005, *NIOSH pocket guide to chemical hazards*. Department of Health and Human Services. Centers for Disease Control and Prevention. National Institute for Occupational Safety and Health. DHHS (NIOSH) Publication No. 2005-149, September.
- NOVAES, A. G., 2004, *Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição*. Campus, Rio de Janeiro.
- NOVAES, A. G. e ALVARENGA, A. C., 1994, *Logística Aplicada: Suprimento e Distribuição*. Editora Pioneira, São Paulo.

- NOVAES, A. G., 2007, *Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição* - 3ª Ed., Editora: 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.
- ODUM, E. P., 1998, *Ecologia*. Editora Guanabara, Rio de Janeiro.
- 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.
- OLIVEIRA, J. G., BORGES, F. H. e JABBOUR, C. C., 2005, *Avaliação de desempenho no âmbito da gestão ambiental na organização*. In: XII Simpósio de Engenharia de Produção - SIMPEP, 2005, Bauru. XII Simpósio de Engenharia de Produção.
- OLIVEIRA, R. L. M. e CURY, M. V. Q., 2004, *A escolha modal no transporte de cargas sob a ótica da modelagem neuro-fuzzy: um estudo de caso*. In: XVIII ANPET - Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2004, Florianópolis, SC.
- OLIVEIRA, L. F. R., LEAL JUNIOR, I. C., 2009, *Programa de Adoção de Empresas Terceirizadas na Cadeia de Suprimentos Fundamentado no Conceito de Eco-eficiência – O Caso do Transporte Rodoviário de Carga da CSN* XI Encontro Nacional de Gestão Empresarial e Meio Ambiente, Fortaleza, CE.
- PACHECO, E. A., DROHOMERETSKI, E. 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.

- PAI, T., HANAKI, K., HO, H. and HSIEH, C., 2007, *Using grey system theory to evaluate transportation effects on air quality trends in Japan*. Transportation Research Part D 12, 158–166.
- PAMCARY, 2010, *Instituto Cuidando do Futuro e FETCEMG divulgam os indicadores de risco de transportes em Minas Gerais*. Pamcary Seguros. Internet: http://www.gps-pamcary.com.br/Press_Release.pdf. Acessado em 12/10/10.
- PEREIRA NETO, W. A., 2001, *Modelo Multicritério de Avaliação de Desempenho Operacional do Transporte Coletivo por Ônibus no Município de Fortaleza*. Fortaleza, 2001. XX, 192 fl., Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- PEREIRA, N. N. (2007). *Um estudo para instalações propulsoras para empurradores fluviais*. 241 fl., Dissertação (Mestrado em Engenharia Naval) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica, São Paulo.
- PEREIRA, L. C. de S. N. (1983). *Avaliação de Desempenho de Sistemas de Transporte por Ônibus*. COPPE/UFRJ, Dissertação de Mestrado, Programa de Engenharia de Transportes, Rio de Janeiro.
- PETROBRAS, 2009, *Principais Operações*. Internet: <http://www.petrobras.com.br/pt/quem-somos/principais-operacoes/>. Acessado em 21/11/2009.
- PEZERICO, L. A. M., 2002, *Sistema de avaliação de desempenho no transporte urbano: uma abordagem para o setor metropolitano*. Dissertação de Mestrado. Mestrado Profissionalizante em Engenharia. Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
- PEZZI FILHO, M., 2003, *Aplicação de IBR, Inspeção Baseada em Risco, a oleodutos segundo o API 581 BRD. Verificação de consistência com as práticas usuais da*

indústria para avaliação de risco. PUC-RIO, Master's thesis, Mechanic Engineering Program, Rio de Janeiro.

PHMSA., 2010, *Office of pipeline safety hazardous liquid pipeline operators accident summary statistics by year*.

Internet:<http://www.phmsa.dot.gov/portal/site/PHMSA/menuitem.ebdc7a8a7e39f2e55cf2031050248a0c/?vgnnextoid=79c952edc3c3e110VgnVCM1000001ecb7898RCRD&vgnnextchannel=3430fb649a2dc110VgnVCM1000009ed07898RCRD&vgnnextfmt=prin>. Accessed on January, 27.

PINHEIRO, M. C. e SOARES DE MELLO, J. C. C. B., 2005, *Ordenação dos aeroportos do brasil através do apoio de análises multicritério*. XXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. 27 a 30/09/05, Gramado, RS

PLANETA SUSTENTÁVEL, 2008, *O Mundo do Petróleo: Principal fonte de energia do planeta, o petróleo continua a apresentar números crescentes*. Editora Abril. Internet.

http://planetasustentavel.abril.com.br/noticia/energia/conteudo_279436.shtml. Por Fabiane Stefano, Samantha Lima e Sérgio Teixeira Jr

PACIFIC BIODIESEL, 2000. *Biodiesel Emissions*. Pacific Biodiesel, Inc. November 2000.

POZO, H., 2004, *Administração de Recursos Materiais e Patrimoniais – uma abordagem logística*. 21ª Edição, Atlas, São Paulo.

QU, L., CHEN, Y. and YANG, M., 2007, *A Dynamic Combination Forecast Model for Analysis Transport Volume Time Series*. ICNC, vol. 1, pp.705-709, Third International Conference on Natural Computation (ICNC 2007).

QUARIGUASI F. N. J., BLOEMHOF, J., VAN NUNEN, J.A.A.E. e VAN HECK, E., 2007, *Designing and evaluating sustainable logistics networks*. International Journal of Production Economics, (in print)

- 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.
- RAZZOLINI FILHO, E., 2009, *Logística: Evolução na administração – desempenho e flexibilidade*. 2ª reimp. Ed. Jarua. Curitiba.
- REAL, M. V., 2000, *A informação como Fator de Controle de Riscos no Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos*. COPPE/UFRJ, Tese de Mestrado, Engenharia de Transportes, Rio de Janeiro.
- REAL, M. V. e BRAGA, M.G.C., 2000, *Controle de riscos no transporte rodoviário de produtos perigosos no Brasil - Uma proposta..* In: XIV ANPET Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, Gramado. Anais do XIV ANPET, 2000. p. 267-290.
- REAL, M. V., 2004, *Apostila do Curso de Química Ambiental*. Curso de Gestão Ambiental do IDHGE/CEFET. Disponível em: www.saudeetrabalho.com.br/download_2/toxicologia-vallereal.ppt
- RESTREPO, C. E., SIMONOFF, J. S. and ZIMMERMAN R., 2009, *Causes, cost consequences and risk implications of accidents in US hazardous liquid pipeline infrastructure*. International Journal of Critical Infrastructure Protection 2, pp. 38 – 50.
- RIBEIRO, S. K. e MATTOS, L. B. R., 2000, *A Importância do Setor de Transporte Rodoviário no Aquecimento Global: O caso do Rio de Janeiro*. In: XVI ANPET, 2000, Gramado. Anais do XVI ANPET.
- RICHARDSON, R., 1999, *Pesquisa Social: métodos e técnicas*. São Paulo: Atlas.
- RISTINEM, R.A., KRAUSHAAR, J.J., 1999, *Energy and the Environment*. John Wiley & Sons, Inc, New York.

- ROCHA, H., 2004, *Cenários Prospectivos: ferramentas estratégicas para obtenção e manutenção da vantagem competitiva das organizações*. Revista eletrônica de Ciência Administrativa (RECADM) – ISSN 1677-7387, V.3, n.2, Nov. 2004. Arquivo capturado no site [HTTP://www.presidentekennedy.br/recadm/edicao6/artigo02.pdf](http://www.presidentekennedy.br/recadm/edicao6/artigo02.pdf) em 10/12/2007
- 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.
- ROGERS, D. S. and TIBBEN-LEMBKE, R. S., 1999, *Going backwards: reverse logistics trends and practices*. Universidade de Nevada. Reno.
- 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 and BERTIER, P., 1973, *La method Electre II: une application au media-planning*. In: Ross, M. (Ed.) OR'72, North-Holland Publishing Company, p. 291-302.
- ROY, B.; BOUYSSOU, D., 1993, *Aide multicritère à la décision: méthodes et cas*. Paris: Economica, p. 695.
- ROY, B. and HOGONNARD, J. C., 1982, *Ranking of suburban line extension projects on the Paris metro system by multicriteria method*. Transportation Research, v. 164A, n. 4, p. 301-312.
- ROY, B. and SKALKA, J. M., 1985, *Electre IS: aspects méthodologiques et guide d'utilisation*. Cahier du LAMSADE, Paris: Université de Paris-Dauphine, n. 30.
- ROY, B., 1968, *Clasement et choix en presence de points de vue multiples (La method Electre)*. RIRO 8, p. 57-75.

- ROY, B., 1978, *ELECTRE III: un algorithme de classements fondé sur une représentation floue des préférences en présence de critères multiples*. Cah. Centre Etudes Rech. Opér., v. 20, pp. 3-24.
- ROY, B., 1985, *Decision-aid and decision making*. Paris: Université Paris-Dauphine.
- SAARI, A., LETTENMEIER, M., PUSENIUS, K. and HAKKARAINEN, E., 2006, *Influence of vehicle type and road category on natural resource consumption in road transport*. Transportation Research Part D 12, 23–32
- SAATY, T. L and FORMAN, E. H., 1992, *The analytic hierarchy process. The Hierarchon: a dictionary of hierarchies*. Expert Choice Inc, v. 5, (AHP Serie).
- SAATY, T. L., 1980, *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. ISBN 0-07-054371-2, McGraw-Hill.
- SACHS, I., 1993, *Estratégias para a transição para o século XXI: desenvolvimento e meio ambiente*. São Paulo: Studio Nobel.
- SALGADO, Vivian Gullo (2007). *Indicadores de ecoeficiência e o transporte de gás natural*. Rio de Janeiro: Interciência.
- SALOMON, V. P., MONTEVECHI, J. A. B. e PAMPLONA, E. O., 1999, *Justificativas para aplicação do método de análise hierárquica*. 19o ENEGEP. Rio de Janeiro, RJ.
- SANTANA FILHO, A. R., 1984, *Avaliação de Desempenho de Serviços de Ônibus Urbano do Ponto de Vista do Usuário*. COPPE/UFRJ, Tese mestrado, Programa Engenharia de Transportes, Rio de Janeiro.
- SANTANA FILHO, A. R., 1992, *Avaliação do desempenho de sistemas de transporte público. Gerenciamento de transportes coletivos*, Capítulo VI, FETRANSPOR, Rio de Janeiro. pp. 101 a 120.

- SANTOS, D. R., 2006, *O Perfil do transporte rodoviário de produtos perigosos no Distrito Federal – Uma proposta metodológica*, Distrito Federal.
- SCC, 2002, *Supply Chain Operations Reference*. Supply Chain Concl. Model. Versão 5.0. SCC, Pittsburgh.
- SCHMIDT, M. and SCHWEGLER, R., 2008, A recursive ecological indicator system for the supply chain of a company. *Journal of Cleaner Production* 16, 1658–1664
- SILVA, E. L. e MENEZES, E. M., 2001, *Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação*. 3. ed. rev. atual.– Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 121p.
- SILVA NEVES, J. C., 2000, *Aplicação da Análise Envoltória de Dados (DEA) Para Avaliação de Fornecedores*. Tese (Mestrado em Sistemas e Computação) – Instituto Militar de Engenharia.
- SILVA, P. R., 2004, *Transporte Marítimo de Petróleo e Derivados na costa Brasileira: Estrutura e Implicações Ambientais*. Rio de Janeiro, 2004 XII, 148 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc., Planejamento Energético, 2004) Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE
- 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.
- SILVA, R. A .M., 2001, *Transporte urbano de passageiros e qualidade do ar: O caso da implementação de um novo sistema hidroviário na região metropolitana do Rio de Janeiro*. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro: UFRJ; COPPE, 2001.
- SILVA, R. R. e LEAL JR, I. C., 2009, *A evolução dos indicadores de eficiência operacional da ferrovia brasileira: contexto atual e perspectivas futuras de uma empresa do setor* In: XXIII ANPET - Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes, Vitória, ES.

- SIMÕES, A. F., 2003, *O transporte aéreo no contexto de mudanças climática globais*. CONPET, Ministério de Minas e Energia. Disponível em: http://www.conpet.gov.br/artigos/artigo.php?segmento=&id_artigo=24
- SLACK, N., CHAMBERS; S. e JOHNSTON, R., 2002, *Administração da Produção*. Editora Atlas S.A, 2º Edição, São Paulo
- SOARES, A. C., OLIVEIRA, P. F. e COSTA, H. G., 2001, *Emprego do método electre iii na escolha de prestadoras de serviço para transporte de materiais perigosos*. ENEGEP.
- SOARES DE MELLO, J. C. C. B., GOMES, E. G., GOMES, L. F. A. M., NETO, L. B. e ANGULO MEZA, L., 2005, *Avaliação do tamanho de aeroportos portugueses com relações multicritério de superação*. Pesquisa Operacional. Print version ISSN 0101-7438. Pesqui. Oper. vol.25 no.3 Rio de Janeiro Sept./Dec..
- STSP, 2007. *Os transportes no estado de São Paulo - balanço anual dos transportes – 2007*. Secretaria de Estado dos Transportes de São Paulo, São Paulo, Brasil.
- TAHA, H. A., 2008, *Pesquisa operacional: uma visão geral*. Prentice Hall, 8ª edição, São Paulo.
- TERZIAN, R. L., 2005, *Conceitos e metodologias de gestão de projeto e sua aplicação ao caso da integridade da malha dutoviária*. PUC Rio, Tese de Mestrado, Engenharia de Produção, Rio de Janeiro.
- TRANSPETRO, 2008a, *Projeto Multimodal da hidrovia Tietê-Paraná*. VI. Simpósio Internacional e Mostra de Tecnologia da Agroindústria Sucroalcooleira. Piracicaba – SP.
- TRANSPETRO, 2008b, *Relatório Anual*. VI. Simpósio Internacional e Mostra de Tecnologia da Agroindústria Sucroalcooleira. Piracicaba – SP. Internet, available at <http://www.transpetro.com.br/> Accessed on October 19, 2009.

TRANSPETRO, 2009, Terminais e Oleodutos - Corredor de Exportação do Etanol. Disponível em http://www.transpetro.com.br/TranspetroSite/appmanager/transpPortal/transpInternet?_nfpb=true&_windowLabel=barraMenu_3&_nffvid=%2FTranspetroSite%2Fportlets%2FbarraMenu%2FbarraMenu.faces&_pageLabel=pagina_base. Accessed on October 19, 2009.

TSOULFAS, G.T. and PAPPIS, C.P., 2005, *Environmental principles applicable to supply chains design and operation*. Journal of Cleaner Production 14, 1593–1602.

TUZKAYA, U. R. and ÖNÜT, S., 2008, *A fuzzy analytic network process based approach to transportation-mode selection between Turkey and Germany: A case study*. Information Sciences. March.

UNICA, 2008, *Estatísticas da União da Indústria de cana-de-açúcar*. Internet, Disponível em <http://www.unica.com.br/dadosCotacao/estatistica/>. Acesso em 22/12/2008.

UNICA, 2009, *União da Indústria de Cana de Açúcar. Dados e Cotações – Estatísticas 2009*. Internet: <http://www.unica.com.br/dadosCotacao/estatistica/> acessado em 21/11/2009.

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.

USDOT, 2004, *Bureau of Transportation Statistics (USDOT) and U.S. Census Bureau, 2002 Commodity Flow Survey*. Hazmat Data, December.

USDOT, 2006, *Research and Innovative Technology Administration Bureau of Transportation Statistics Freight in America*. U.S. Department of Transportation.. Washington DC, January.

- USDOT, 2010, *Estimation of Future Truck Emissions*. Department of transport – Federal Highway Administration. Disponível em www.fhwa.dot.gov/environment/freightaq/appendixb.htm. Acessado em 01/03/2010.
- USEPA, 2000, *Modeling and Inventories - Heavy-Duty Models*. Environmental Protection Agency (Disponível em www.epa.gov/OMS/hdmodels.htm) Acessado em (01/03/2010)
- VALE, 2007. *Logística da Vale*. Companhia Vale do Rio Doce. Internet, disponível em: <http://www.revistaferroviaria.com.br/nt2007/palestras/24-Out/FCA%20-%20Negocios%20nos%20trilhos.pdf>. Acessado em 20/03/2010.
- VARIG, 2002, *A Sustentabilidade na Empresa*. Internet <http://www.cebds.org.br/cebds/pub-docs/relatorio-sustentabilidade/rel-2002-br/varig.pdf>. Acessado em 25/04/2009.
- VASCONCELLOS, E. A., 2008, *Transporte e Meio Ambiente: Conceitos e informações para análise de impactos*. São Paulo: Annablume.
- VERFAILLIE, H. A. e BIDWELL, R., 2000, *Measuring eco-efficiency – a guide to reporting company performance*. World Business Council for Sustainable Development. Disponível em: <http://www.gdrc.org/sustbiz/measuring.pdf> Acessado em 29/03/2010.
- VICHAS, R. P., 1982, *Complete Handbook of Profitable Marketing Research Techniques*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
- WALLEY, N. and WHITEHEAD, B., 1994, Its not easy being green. Harvard Business Review 72 (3), 46–52
- WANG, R., HO, C., FENG, C. and YANG, Y., 2004, *A comparative analysis of the operational performance of Taiwan's major airports*. Journal of Air Transport Management 10, 353–360

- WBCSD, 2000, *Measuring Eco-Efficiency. A Guide to Reporting Company Performance*. Word Business Council for Sustainable Development, Geneva, Switzerland.
- WEIL, D. N., 2005. *Economic Growth*. Pearson Education, Inc., First Edition, United States of America.
- WEN, K., 2004, *Grey Systems: Modeling and Prediction*. Printed in USA by Yang's Scientific Press. ISBN 0-9721212-7-7
- WRIGHT, J. T. C. e GIOVINAZZO, R. A., 2000, *Delphi – Uma ferramenta de apoio ao planejamento prospectivo*. Caderno de Pesquisa em Administração, V 01, n° 12, 2° trim/2000, São Paulo.
- YANG, C. and CHEN, B., 2005, Supplier selection using combined analytical hierarchy process and *grey* relational analysis. *Journal of Manufacturing Technology Management* Vol. 17 No. 7, pp. 926-941.
- YU, W., 1992, *Aide multicritère à la decision dans le cadre de la problématique du TRI*. Dissertação (Doutorado) – Université de Paris-Dauphine, Paris.
- ZADEH L. A., 1987, *Fuzzy sets and applications: Selected papers*. New York: Wiley.
- 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.

ANEXO I

Questionário para pesquisa sobre atributos/indicadores de ecoeficiência

Caro Respondente,

Este questionário é parte integrante de uma pesquisa sobre atributos/indicadores de ecoeficiência para avaliar o transporte de produtos perigosos. Contamos com a participação do(a) senhor(a) e agradecemos sua colaboração. Ficaremos gratos se o(a) senhor(a) puder reservar alguns minutos de seu tempo para preencher o questionário.

Desde já agradecemos a colaboração.

Atenciosamente,

Programa de Engenharia de Transportes/COPPE/UFRJ

Dados para fins de classificação

Idade: _____

Mestrado:

Tempo de experiência em transporte de carga:

Doutorado:

Sexo: () Masculino () Feminino

Área de atuação:

() Acadêmica

() Governamental

() Profissional

Tempo de experiência com transporte de produtos perigosos:

_____ anos

Tempo de experiência com transporte de etanol:

_____ anos

Instituição onde atua:

Localização da instituição:

Cargo:

e-mail:

Formação Educacional:

Graduação:

Especialização:

Qual o nível de conhecimento que você considera ter sobre as influências ambientais do transporte de produtos perigosos?

() Considera-se conhecedor do assunto.

() Seu conhecimento decorre da atividade que exerce atualmente.

() Seu conhecimento decorre de atividade que exerceu e se mantém atualizado.

() Seu conhecimento decorre de atividade que exerceu, mas não está atualizado.

() Seu conhecimento decorre de leituras por livre iniciativa.

() Seu conhecimento decorre de leituras por livre iniciativa, mas não está atualizado.

() Tem conhecimento apenas superficial do assunto.

Solicitamos agora que o(a) senhor(a) classifique os atributos/indicadores de ecoeficiência pertencentes aos dois grupos (valor do serviço e influências ambientais), segundo um grau de importância de 1 a 7 (sendo “1” pouco importante e “7” muito importante), ou seja, cada indicador deverá receber uma nota segundo sua importância em um processo de avaliação de transportes de carga.

Caso o(a) senhor(a) não considere o atributo/indicador importante, marque um X na terceira coluna da tabela. O(A) senhor(a) poderá consultar um glossário, ao lado das tabelas, caso tenha dúvidas sobre o conceito de cada atributo/indicador.

Valor do Serviço

Grau de Importância	Atributo	Sem Importância
	<i>Valor Monetário</i>	
	<i>Serviço Produzido</i>	

Grau de Importância	Indicador	Sem Importância
	<i>Distância percorrida</i>	
	<i>Momento de transporte</i>	
	<i>Valor monetário da carga</i>	
	<i>Volume transportado</i>	
	<i>Quantidade transportada</i>	
	<i>Receita de frete recebida</i>	
	<i>Receita líquida</i>	

Influências Ambientais

Grau de Importância	Atributo	Sem Importância
	<i>Consumo de energia</i>	
	<i>Emissão de gases de efeito estufa</i>	
	<i>Poluição atmosférica</i>	
	<i>Poluição visual</i>	
	<i>Poluição sonora</i>	
	<i>Segurança</i>	
	<i>Poluição térmica</i>	
	<i>Poluição da água e do solo</i>	
	<i>Consumo de material</i>	
	<i>Consumo de água</i>	

Glossário:

- *Consumo de água em operação:* É a quantidade de água consumida na operação do sistema de transporte. No caso de produtos perigosos, inclui a água utilizada para limpeza dos veículos/implementos que tiveram contato com o produto. Medido em litros.

- *Consumo de energia:* Relaciona-se à quantidade de energia consumida durante o transporte utilizando-se fontes renováveis e não renováveis como biocombustíveis e combustíveis fósseis. No caso do transporte de carga, é o consumo de óleo diesel e biodiesel. Medido em l/km.

- *Consumo de material:* Refere-se ao descarte de substâncias na forma sólida que são prejudiciais à vida e ao meio ambiente, como pneus, peças plásticas e metálicas. Isso pode poluir água e solo. Medido em unid/km.

- *Emissões de gases de efeito estufa:* Gases liberados pela operação do transporte e que afetam todo o Globo Terrestre. Esses gases podem ser o CO₂, CH₄, N₂O e CFC. Medidos em kg/km.

- *Poluição atmosférica:* Poluentes liberados pela operação do transporte e que afetam locais próximos da fonte emissora e regiões próximas. Incluem-se aqui poluentes como: CO, hidrocarbonetos, material particulado, aldeídos, SOx, NOx. Medido em kg/km.

- *Poluição da água e do solo:* Refere-se ao descarte de substâncias na forma líquida que são prejudiciais à vida e ao meio ambiente. Isso pode poluir a água e solo. Esse descarte relaciona-se ao uso de óleo para motor, caixa de marcha e diferencial e seu descarte na troca. Medido em l/km.

- *Poluição sonora:* Nível de ruído emitido pelo veículo em trânsito. Medido em DbA/hora.

- *Poluição térmica:* É a adição de calor nos ecossistemas provocada pelo funcionamento dos veículos durante o transporte. Pode estar relacionada também ao volume de efluentes superaquecidos descarregados no ambiente aquático. Medido em kJ/hora.

- *Poluição visual:* Elementos que promovem o desconforto espacial e visual daqueles que transitam pelos locais. Diz respeito ao uso e à ocupação do solo pelos sistemas de transporte. Medido em km²/km².

- *Segurança:* Mede a quantidade de acidentes na operação do transporte de carga (acidentes/viagem). Inclui os acidentes com ou sem derrame de substâncias. No caso de produtos perigosos, um acidente pode impactar negativamente o meio ambiente pelo derramamento de substâncias em água, solo ou na atmosfera.

- *Serviço produzido:* Considera que o valor do serviço é expresso na produção do transporte, sendo que quanto maior for o serviço de transporte, maior será o valor do negócio.

- *Valor monetário:* Considera que o valor do serviço deva ser avaliado com base em recursos financeiros.

- *Distância percorrida:* Espaço percorrido entre a origem e o destino no transporte da mercadoria (medida em km).

- *Momento de transporte:* Refere-se ao transporte de uma unidade de massa ou volume por uma unidade de distância. Pode ser medido em t/km ou m³/km.

- *Quantidade transportada:* Massa (peso) total dos produtos transportados. Pode ser medido em quilos (kg) ou toneladas (t).

- *Receita de frete recebida:* Total faturado pelos transportadores, referente ao serviço de transporte (R\$).

- *Receita líquida:* É o valor monetário por unidade de carga menos as despesas com frete por unidade de carga (R\$).

- *Valor monetário da carga:* É o valor monetário total dos produtos transportados pelos veículos em um dado percurso (R\$).

- *Volume transportado:* Volume total dos produtos transportados. Poder ser medido em litros ou m³

Após preencher o questionário, responda às questões que seguem:

- Solicitamos que você escolha uma das alternativas a seguir:
 - () Gostaria de participar dos outros questionários.
 - () Estou disposto, mas não ansioso em participar dos outros questionários.
 - () Eu prefiro não participar dos outros questionários.

- Caso tenha vontade, faça as observações que desejar:

- Em sua opinião, qual o grau de pertinência do assunto que trata esse questionário?
 - () Altíssimo
 - () Muito alto
 - () Alto
 - () Médio
 - () Baixo
 - () Muito baixo
 - () Baixíssimo

ANEXO II

Questionário para pesquisa sobre atributos/indicadores de ecoeficiência

Instruções para participação no Método *Delphi* – 2a. rodada

Essa versão contém as questões do primeiro questionário respondido pelo Sr(a) e o resultado do conjunto de especialistas consultados. O intuito é atingir o consenso, utilizando para isso o modelo indicado pelo método *Delphi*, que prevê a redistribuição dos questionários.

Apresentamos em cada questão a mediana dos graus atribuídos pelo grupo de especialistas a cada atributo/indicador. Também são apresentados os graus atribuídos pelo Sr(a) na primeira rodada. Solicita-se que o Sr (a) responda novamente, mantendo ou alterando a resposta dada na rodada anterior.

Como nessa rodada o número de questões é pequeno e os especialistas já conhecem o estudo, acredita-se que em minutos o questionário poderá ser respondido e enviado.

Solicitamos agora que o(a) senhor(a) classifique os atributos/indicadores de ecoeficiência pertencentes aos dois grupos (*valor do produto e influências ambientais*), segundo um grau de importância de 1 a 7 (sendo “1” pouco importante e “7” muito importante), ou seja, cada atributo/indicador deverá receber uma nota segundo sua importância em um processo de avaliação de transportes de carga. Por favor, atribua os graus apenas com números inteiros.

Caso o(a) senhor(a) não considere o indicador importante, marque um X no espaço reservado para atribuição do grau de importância. O(A) senhor(a) poderá consultar um glossário, ao lado das tabelas, caso tenha dúvidas sobre o conceito de cada indicador.

Caso tenha vontade, faça as observações que desejar no final do questionário.

Valor do Serviço

Grau de Importância	Atributo	Mediana do grupo na 1ª rodada	Sua resposta na 1ª rodada
	Valor Monetário	6	6
	Serviço Produzido	6	7

Grau de Importância	Indicador	Mediana do grupo na 1ª rodada	Sua resposta na 1ª rodada
	Distância percorrida	6	6
	Momento de transporte	6	7
	Valor monetário da carga	6	4
	Volume transportado	5	6
	Quantidade transportada	5,5	6
	Receita de frete recebida	6	3
	Receita líquida	6	3

Influências Ambientais

Grau de Importância	Atributo	Mediana do grupo na 1ª rodada	Sua resposta na 1ª rodada
	Consumo de energia	7	7
	Emissão de gases de efeito estufa	7	6
	Poluição atmosférica	7	6
	Poluição visual	4	4
	Poluição sonora	5	5
	Segurança	7	6
	Poluição térmica	4,5	4
	Poluição da água e do solo	6	3
	Consumo de material	5,5	3
	Consumo de água	5	5

Glossário:

- *Consumo de água em operação:* É a quantidade de água consumida na operação do sistema de transporte. No caso de produtos perigosos, inclui a água utilizada para limpeza dos veículos/implementos que tiveram contato com o produto. Medido em litros.
- *Consumo de energia:* Relaciona-se à quantidade de energia consumida durante o transporte utilizando-se fontes renováveis e não renováveis como biocombustíveis e combustíveis fósseis. No caso do transporte de carga, é o consumo de óleo diesel e biodiesel. Medido em l/km.
- *Consumo de material:* Refere-se ao descarte de substâncias na forma sólida que são prejudiciais à vida e ao meio ambiente, como pneus, peças plásticas e metálicas. Isso pode poluir água e solo. Medido em unid/km.
- *Emissões de gases de efeito estufa:* Gases liberados pela operação do transporte e que afetam todo o Globo Terrestre. Esses gases podem ser o CO₂, CH₄, N₂O e CFC. Medidos em kg/km.
- *Poluição atmosférica:* Poluentes liberados pela operação do transporte e que afetam locais próximos da fonte emissora e regiões próximas. Incluem-se aqui poluentes como: CO, hidrocarbonetos, material particulado, aldeídos, SOx, NOx. Medido em kg/km.
- *Poluição da água e do solo:* Refere-se ao descarte de substâncias na forma líquida que são prejudiciais à vida e ao meio ambiente. Isso pode poluir a água e solo. Esse descarte relaciona-se ao uso de óleo para motor, caixa de marcha e diferencial e seu descarte na troca. Medido em l/km.
- *Poluição sonora:* Nível de ruído emitido pelo veículo em trânsito. Medido em DbA/hora.
- *Poluição térmica:* É a adição de calor nos ecossistemas provocada pelo funcionamento dos veículos durante o transporte. Pode estar relacionada também ao volume de efluentes superaquecidos descarregados no ambiente aquático. Medido em kJ/hora.
- *Poluição visual:* Elementos que promovem o desconforto espacial e visual daqueles que transitam pelos locais. Diz respeito ao uso e à ocupação do solo pelos sistemas de transporte. Medido em km²/km².
- *Segurança:* Mede a quantidade de acidentes na operação do transporte de carga (acidentes/viagem). Inclui os acidentes com ou sem derrame de substâncias. No caso de produtos perigosos, um acidente pode impactar negativamente o meio ambiente pelo derramamento de substâncias em água, solo ou na atmosfera.
- *Serviço produzido:* Considera que o valor do serviço é expresso na produção do transporte, sendo que quanto maior for o serviço de transporte, maior será o valor do negócio.
- *Valor monetário:* Considera que o valor do serviço deva ser avaliado com base em recursos financeiros.
- *Distância percorrida:* Espaço percorrido entre a origem e o destino no transporte da mercadoria (medida em km).
- *Momento de transporte:* Refere-se ao transporte de uma unidade de massa ou volume por uma unidade de distância. Pode ser medido em t/km ou m³/km.
- *Quantidade transportada:* Massa (peso) total dos produtos transportados. Pode ser medido em quilos (kg)/toneladas (t).
- *Receita de frete recebida:* Total faturado pelos transportadores, referente ao serviço de transporte (R\$).
- *Receita líquida:* É o valor monetário por unidade de carga menos as despesas com frete por unidade de carga (R\$).
- *Valor monetário da carga:* É o valor monetário total dos produtos transportados pelos veículos em um dado percurso (R\$).
- *Volume transportado:* Volume total dos produtos transportados. Poder ser medido em litros ou m³