



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**  
**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**  
**CAMPUS II – CAMPINA GRANDE**

UMA AVALIAÇÃO MULTICRITERIAL DO SISTEMA DE  
TRANSPORTES DE CARGAS DO BRASIL

por

SEBASTIÃO INÁCIO FERNANDES

**CAMPINA GRANDE**

ABRIL DE 1996

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

UMA AVALIAÇÃO MULTICRITERIAL DO SISTEMA DE  
TRANSPORTES DE CARGAS DO BRASIL

SEBASTIÃO INÁCIO FERNANDES

CAMPINA GRANDE - PB

ABRIL DE 1996

F363a Fernandes, Sebastiao Inacio.  
Uma avaliacao multicriterial do sistema de transportes de cargas no Brasil / Sebastiao Inacio Fernandes. - Campina Grande, 1996.  
93 f.

Dissertacao (Mestrado em Engenharia Civil) -  
Universidade Federal da Paraiba, Centro de Ciencias e  
Tecnologia.

1. Transporte de Carga - Brasil. 2. Dissertacao -  
Engenharia Civil. I. Rabbani, Simin Jalali Rahnemay. II.  
Universidade Federal da Paraiba - Campina Grande (PB). III.  
Título

CDU 656.135(043)

**SEBASTIÃO INÁCIO FERNANDES**

**UMA AVALIAÇÃO MULTICRITERIAL DO SISTEMA DE  
TRANSPORTES DE CARGAS DO BRASIL**

Dissertação apresentada ao Curso de  
Mestrado em Engenharia Civil da  
Universidade Federal da Paraíba, em  
Cumprimento às exigências para  
obtenção do Grau de Mestre em  
Ciências (M.SC.)

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: TRANSPORTES**

**SIMIN JALALI RAHNEMAY RABBANI**

**Orientadora**

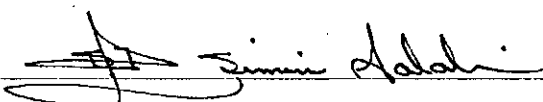
CAMPINA GRANDE - PB

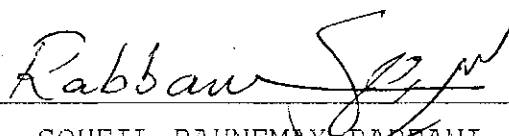
ABRIL DE 1996

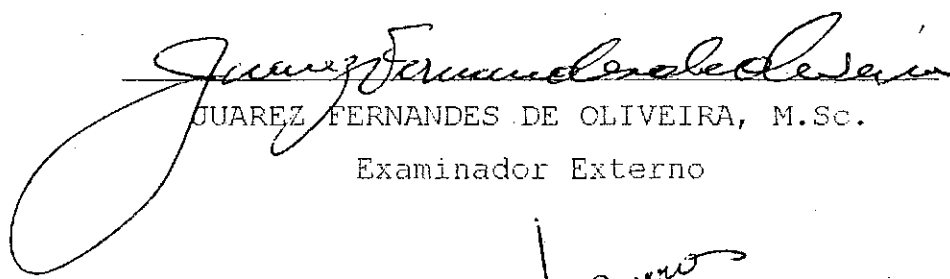
UMA AVALIAÇÃO MULTICRITERIAL DO SISTEMA DE  
TRANSPORTES DE CARGAS DO BRASIL


SEBASTIÃO INÁCIO FERNANDES

Aprovada em 08 / abril / 1996

  
SIMIN JALALI RAHNEMAY RABBANI, Doutor(a)  
Orientadora

  
SOHEIL RAHNEMAY RABBANI, Doutor  
Examinador Interno

  
JUAREZ FERNANDES DE OLIVEIRA, M.Sc.  
Examinador Externo

  
VALÉRIA DE CASTRO COSTA BARROS, M.Sc.  
Examinador Externo

CAMPINA GRANDE - PB

ABRIL DE 1996

### **DEDICATÓRIA**

A meus pais e irmãos pelo apoio e incentivo que me deram durante a execução deste trabalho.

## AGRADECIMENTOS

A minha orientadora, a Professora Dra. Simin Jalali Rahnemay Rabbani pelo incentivo e dedicação prestados durante a execução deste trabalho.

Ao Professor Dr. Soheil Rahnemay Rabbani pelo apoio oferecido.

Aos colegas que me incentivaram e a todos que contribuíram para a execução deste trabalho.

Aos funcionários do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE de Campina Grande, pela ajuda que me deram durante a coleta de dados para este trabalho.

Aos funcionários do Núcleo de Processamento de dados da UFPB, Campus II. pela ajuda oferecida durante a execução do programa computacional.

E a todos que direta ou indiretamente colaboraram para a conclusão deste trabalho.

## R E S U M O

Este trabalho propõe uma metodologia para a avaliação do sistema de transporte inter-regional de carga com a aplicação do método de tomada de decisão interativa multicritério - TODIM e teoria de grafos.

Os métodos multicriteriais permitem levar em consideração os interesses de vários grupos envolvidos ou afetados pelo sistema, bem como os critérios relevantes para estes grupos; quer sejam estes quantificáveis ou de difícil quantificação. A teoria de grafos serve para avaliar sistemas de grande porte, como o caso em questão.

A metodologia proposta foi aplicada ao sistema de transporte de carga inter-regional do Brasil. Os resultados desta aplicação indicam as modalidades ferrovia e hidrovia como as que provocam menor índice de desutilidades ao sistema, consumindo menos combustíveis fósseis e conseqüentemente emitindo menor nível de poluição ambiental. O trabalho, de acordo com os resultados obtidos, sugere uma prioridade de 36,4% dos investimentos governamentais destinados aos transportes na modalidade ferroviária e 45,6% no modal hidroviário, a fim de garantir a alocação mais eficiente dos recursos cada vez mais escassos.



## A B S T R A C T

This work proposes a methodology for the evaluation of the inter-regional freight transport system of Brazil with the application of the Multicriteria Interactive Decision Making Method and Graph Theory.

The multicriteria methods permits to take into consideration the interests of several groups involved, or affected by the system. As well as the relevant criteria, quantitatively determinable or not for these groups. The graph theory serves to evaluate large sized systems as in the case of study.

The methodology was applied to the inter-regional transports system of Brazil. The results of this application indicate that the railway and waterway modes minimize transportation disutility index to the system, providing less pollution level and consequently less environmental impact of combustion. The results of this study indicate that up to 36,4% of governamental resources should be allocated to railways and 45,6% to waterways, in order to obtain the most efficient manner for the allocation of limited resources.

# Í N D I C E

	Pág.
CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO .....	1
1.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	1
1.2 - OBJETIVO .....	3
CAPÍTULO II - IMPACTOS AMBIENTAIS DEVIDO AO SISTEMA DE TRANSPORTES.....	5
2.1 - INTRODUÇÃO .....	5
2.2 - IMPACTOS NEGATIVOS DO SISTEMA DE TRANSPORTE.....	6
2.2.1 - Poluição Atmosférica.....	6
2.2.2 - Poluição Sonora.....	22
2.2.3 - Poluição Visual.....	28
2.2.4 - Vibração .....	29
2.2.5 - Acidentes no Transporte de Cargas e Produtos Perigosos .....	30
CAPÍTULO III - METODOLOGIA PROPOSTA .....	35
3.1 - INTRODUÇÃO .....	35
3.2 - O MÉTODO TODIM .....	37
3.3 - TEORIA DOS GRAFOS .....	41
3.3.1 - Conceito Básico da Teoria de Grafos e Redes de Transportes .....	46
3.3.2 - Algoritmo de Fulkerson ou (Out-of-Kilter).....	48
CAPÍTULO IV - APLICAÇÃO DA METODOLOGIA .....	53
4.1 - INTRODUÇÃO.....	53
4.2 - APLICAÇÃO DO MÉTODO TODIM .....	55

	Pág.
4.3 - APLICAÇÃO DA TEORIA DOS GRAFOS.....	63
4.4 - ESTUDO DE CASO: SISTEMA DE TRANSPORTE DE CARGA INTERREGIONAL DO BRASIL .....	65
4.5 - DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	67
4.6 - MODALIDADES UTILIZADAS .....	68
CAPÍTULO V - ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	75
5.1 - INTRODUÇÃO .....	75
5.2 - APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	77
CAPÍTULO VI - CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES FINAIS .....	87
BIBLIOGRAFIA .....	91
A N E X O S .....	94

## G L O S S Á R I O

- RFESA - Rede Ferroviária Federal Sociedade Anônima.
- FEEMA - Fundação Especial de Estudos do Meio Ambiente.
- FEPASA - Ferrovias Paulistas Sociedade Anônima.
- SNBT - Sistema Nacional Básico de Transportes.
- CETESB - Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento  
Básico e de Defesa do Meio Ambiente.
- DENATRAN - Departamento Nacional de Trânsito
- SEMA - Secretaria Especial do Meio Ambiente.
- DNER - Departamento Nacional de Estradas e Rodagens.
- COPPE - Coordenação de Programas de Pós-Graduação em  
Engenharia da Universidade Federal do Rio de  
Janeiro.
- ANTP - Associação Nacional dos Transportes Públicos.

## LISTA DE TABELAS E FIGURAS

TABELA	Pág.
II.1 - Poluentes Lançados na Atmosfera, 10 <sup>6</sup> ton. ....	8
II.2 - Quantidade Estimada de Poluentes Lançados no ar	8
II.3 - Gases de Exaustão - Composição em ppm. ....	9
II.4 - Padrões Primários de Qualidade do Ar Ambiente..	10
II.5 - Teor de chumbo na gasolina em alguns países do mundo.....	12
II.6 - Níveis Típicos de Ruído .....	24
II.7 - Resumo do Diagnóstico sobre ruído urbano na cidade de São Paulo.....	26
II.8 - Uma Classificação das Características dos Produtos Perigosos.....	31
III.1 - Escala para as matrizes .....	39
IV.1 - Matriz de Utilidades Parciais .....	59
IV.2 - Matriz de Utilidade Parciais Normalizada.....	60
IV.3 - Matriz de Comparação por pares dos critérios...	60
IV.4 - Matriz de Comparação por pares dos critérios normalizada .....	61
IV.5 - Matriz de Dominância .....	62
IV.6 - Ordenação das Alternativas.....	62
IV.7 - Petróleo bruto e líquido de gás natural processados, por origem - 1979 - 1988.....	70

TABELA	Pág.
IV.8 - Composição percentual das modalidades de transporte.....	73
V.1 - Resultados obtidos da avaliação do sistema de transporte de carga no Brasil .....	78
V.2 - Resultados obtidos da avaliação do sistema de transporte de carga no Brasil. ....	80
V.3 - Resultados obtidos da avaliação do sistema de transporte de carga no Brasil. ....	83
FIGURA	Pág.
III.1 - Sistema de transporte escolhido para avaliação	44
QUADRO	Pág.
III.1 - Escala para as matrizes .....	39
GRÁFICO	Pág.
IV.1 - Consumo Energético nos Transportes .....	70

# CAPÍTULO I

## I N T R O D U Ç Ã O

### 1.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

Os meios de transporte são de vital importância para o desenvolvimento econômico e social de uma nação, especificamente o sistema de transporte de carga que é responsável pela movimentação da produção do país. No Brasil este transporte foi iniciado pelos bandeirantes quando penetraram pelo interior do país, sendo as cargas transportadas através de tração animal. No litoral este transporte era feito em navios, sendo mais tarde introduzido o transporte ferroviário e posteriormente o rodoviário e o aéreo. Neste estudo se faz uma análise do sistema de transporte inter-regional de carga no Brasil ressaltando os aspectos mais relevantes como: custo de transporte, consumo energético e poluição ambiental. O sistema de transporte de carga no Brasil consiste de uma extensa malha viária de rodovias, ferrovias, hidrovias, dutovias e aerovias. Algumas

distorções existentes no sistema, bem como as melhorias gerais serão apontadas, para que este torne-se mais eficiente.

A metodologia proposta neste trabalho emprega um dos métodos multicritérial de auxílio à tomada de decisão e a teoria de grafos. Os métodos multicriteriais de auxílio a tomada de decisão permitem levar em consideração fatores relevantes do sistema, para diversos grupos envolvidos na tomada de decisão ou afetados por este sistema.

Emprega-se o Método de Tomada de Decisão Interativa Multicritério - TODIM que foi desenvolvido pelo professor Gomes (1976), sendo uma versão do Método de Análise Hierárquica - AHP. O método TODIM foi adotado por ser de fácil aplicabilidade e por ter sido eficiente em outras aplicações.

A teoria de grafos, por outro lado, permite avaliar sistemas de grande porte, propondo meios para identificar as melhores alternativas para o transporte de carga no Brasil, aquelas que sejam mais econômicas, confiáveis e causarem menor nível de poluição ambiental.



## 2.2 - OBJETIVO

Este trabalho tem por objetivo propor uma metodologia para avaliação do sistema de transporte inter-regional de carga do Brasil com a utilização de um método multicriterial de auxílio a tomada de decisão. Os métodos multicriteriais são capazes de levar em consideração os fatores econômico, social e ambiental, bem como os interesses de todos os grupos envolvidos ou afetados pelo sistema, sejam eles, o governo a comunidade, operadores e usuários.

Com a utilização desta metodologia é possível propor melhorias no sistema como um todo, sugerindo aquelas alternativas para o transporte de cargas no Brasil que sejam mais eficientes em termos de consumo energético, custo de transporte, confiabilidade, flexibilidade e nível de poluição ambiental.

O trabalho foi dividido em seis capítulos, no primeiro capítulo apresenta-se a introdução e seus objetivos.

No segundo capítulo, se faz uma abordagem dos principais impactos negativos causados ao meio ambiente e as comunidades pelo sistema de transportes.

No terceiro capítulo, apresenta-se a metodologia desenvolvida neste trabalho, empregando um dos métodos

multicriteriais de auxílio à tomada de decisão e a teoria de grafos.

No quarto capítulo apresenta-se a aplicação da metodologia ao sistema inter-regional de transporte de carga do Brasil, onde foram consideradas as desutilidades relativas às modalidades rodoviária, ferroviária e hidroviária para os diversos grupos de interesse.

No quinto capítulo, vem a análise dos resultados a partir da aplicação da metodologia.

O sexto capítulo, é destinado a conclusão e recomendações finais.

## CAPÍTULO II

### IMPACTOS AMBIENTAIS DOS SISTEMAS DE TRANSPORTES

#### 2.1 - INTRODUÇÃO

Neste capítulo, apresenta-se uma análise dos principais impactos negativos causados ao meio ambiente e às populações principalmente das grandes cidades, pelo sistema de transportes tais como: a poluição ambiental, sonora, visual e vibração, apresentando-se ainda, os resultados de pesquisas realizadas no Brasil para verificar a viabilidade de fontes energéticas alternativas como: álcool, gás natural, hidrogênio e metanol sugerindo-se modalidades de transporte que permitem reduzir os impactos negativos causados pelo sistema de transporte de carga no Brasil.

Apresentar-se-á ainda, uma definição dos conceitos ligados a poluição atmosférica, sonora, visual e vibração. Finalmente destacando as principais medidas que devem ser tomadas no transporte de cargas perigosas.

## **2.2 - IMPACTOS NEGATIVOS DO SISTEMA DE TRANSPORTE**

Apresenta-se, a seguir os principais impactos negativos causados ao meio ambiente pelo sistema de transporte.

### **2.2.1 - Poluição Atmosférica**

Os impactos mais sérios sobre o meio ambiente, a partir da geração energética em grande quantidade, residem nas modificações do clima do mundo. É certo porém que tanto o combustível fóssil como a energia nuclear aquecem diretamente a atmosfera ao produzirem eletricidade. É uma das consequências mais sérias deste aquecimento, é resultante do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) produzido na queima do combustível fóssil, que pode alterar bastante as propriedades atmosféricas, perturbando o equilíbrio existente entre a incidência de radiação solar sobre a superfície da terra e o fluxo de radiação térmica que dela se desprende (MELLO, 1989).

A partir da década de 80, os governantes no mundo inteiro vieram preocupar-se com os efeitos negativos do consumo energético em grande escala. Dentre estes, pode-se destacar: as chuvas ácidas, a destruição da camada de ozônio e o efeito estufa.

## **- Principais Emissores de Gases**

Na década de 60, o "United States Health Service" fez um levantamento da quantidade dos principais poluentes lançados na atmosfera pelos automóveis e indústrias. Segundo o estudo realizado em 1979, pelo órgão responsável pela saúde pública nos Estados Unidos "Public Health Service", as mais importantes fontes de poluição industrial eram: as fábricas de papel, as siderúrgicas, as refinarias de petróleo, fundições e as indústrias químicas que no conjunto, lançavam anualmente no ar milhões de toneladas de poluentes, enquanto 90 milhões de automóveis lançavam as seguintes quantidades. Ver Tabela II.1.

Vale mencionar, que a emissão dos poluentes das fontes naturais como: os vulcões e incêndios em florestas, quando comparadas com aqueles emitidos pelas atividades humanas, representam apenas um percentual relativamente pequeno. (Ver Tabela II.2). O grande problema da poluição com origem nas atividades humanas não é apenas a quantidade, e sim a concentração destes poluentes nos grandes centros industriais onde vive a maior parte da população.

As indústrias são responsáveis pela maior parte dos óxidos de enxofre ( $SO_x$ ) e material particulado (MP) lançados na atmosfera, enquanto que os automóveis são responsáveis

A quantidade de monóxido de carbono (CO) lançada na atmosfera é proveniente dos automóveis, principalmente aqueles que utilizam motores de ciclo otto, devido ao modo de operação destes que trabalham com altas velocidades resultando na combustão incompleta da gasolina e expelindo um alto percentual de monóxido de carbono (CO) e hidrocarbonetos não queimados. Os motores de ciclo diesel tem um nível de emissão de monóxido de carbono (CO) e hidrocarbonetos bem menor que os de ciclo otto. Ver Tabela II.3.

TABELA II.3 - Gases de Exaustão - Composição em ppm.

Tipo de Poluente Motor	CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO				
		Ponto Morto	Aceleração	V. Constante	Desaceleração
Gasolina	CO	69.000	29.000	27.000	39.000
	HC	5.300	1.600	1.000	10.000
	NO <sub>x</sub>	30	1.020	650	30
Diesel	CO	-	1.000	-	-
	HC	400	200	100	300
	NO <sub>x</sub>	60	350	240	30

**FONTE:** BRAGA et al (1980), Rodovias, Recursos Naturais e Meio Ambiente. Eduff - Editora Universitária, Universidade Federal Fluminense. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - DNER.

A Tabela II.4 apresenta os padrões de qualidade do ar adotados no Brasil que tem seus valores limite determinados pela resolução CONAMA nº 03/90 de 28 de junho de 1990.

TABELA II.4 - Padrões Primários de Qualidade do Ar Ambiente

Dióxido de enxofre SO <sub>2</sub>	80 ug/m <sup>3</sup> - média aritmética anual 365 ug/m <sup>3</sup> - concentração máxima diária que não deve ser excedida mais do que uma vez por ano
Partículas totais em suspensão	80 ug/m <sup>3</sup> - média geométrica anual 240 ug/m <sup>3</sup> - concentração máxima diária que não deve ser excedida mais do que uma vez por ano
Fumaça	60 ug/m <sup>3</sup> - média geométrica anual 150 ug/m <sup>3</sup> - concentração máxima diária que não deve ser excedida mais do que uma vez por ano
Monóxido de Carbono	10 ug/m <sup>3</sup> - concentração máxima em amostras de (ou 9 p.p.m.) 8 horas, que não deve ser excedida mais do que uma vez por ano. 40 ug/m <sup>3</sup> - concentração máxima em amostras de 1 hora, que não deve ser excedida mais do que uma vez por ano.

(Ug) - representa unidade grama

**FONTE:** BRAGA (1980), BELLIA, Victor - BIDONE, Edison D. Rodovias Recursos Naturais e Meio Ambiente. Eduff - Editora Universitária, Universidade Federal Fluminense. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - DNER.

As grandes áreas metropolitanas do Brasil apresentam um elevado índice de poluição, entretanto, dispõe-se apenas de dados sistemáticos sobre os principais poluentes no Rio de Janeiro e São Paulo.

Em mil novecentos e setenta e cinco, segundo a CETESB, os automóveis são responsáveis por 40% dos poluentes lançados no ar em São Paulo, ficando a indústria com 60%. Em 1983 a FEEMA, indica que os veículos são responsáveis por 70% da poluição do ar no Rio de Janeiro, sendo responsável pela emissão de 37% do material particulado (MP), 90% do dióxido de enxofre ( $\text{No}_x$ ), 97% do monóxido de carbono (CO), 68% dos hidrocarbonetos (HC) e 72% dos óxidos de nitrogênio ( $\text{No}_x$ ) que poluem a cidade. Outros poluentes extremamente perigosos tem sua origem nos automóveis. O principal dentre eles é o chumbo que é adicionado a gasolina na forma de composto: o chumbo tetraetila, este composto desempenha duas funções: o aumento da actanagem das gasolinas e a lubrificação das válvulas de escapamento dos motores. Com a substituição em larga escala dos automóveis a gasolina pelos automóveis a álcool no Brasil, a ameaça representada pela poluição por chumbo parece estar controlada. Mas inexplicavelmente, o Brasil é o país que permite o maior percentual em peso de chumbo tetraetila na gasolina como mostra a Tabela II.5.

Pode-se ver que a contribuição dos transportes é fundamental para a melhoria da qualidade de vida, principalmente nos grandes centros urbanos. Afinal, o setor de transporte é responsável por 22,25% de toda a energia consumida no país e pelo consumo de 74% do óleo diesel, 100%



da gasolina, 81% da querosene e de 93% do álcool etílico. Portanto, o sistema de transportes é responsável pela queima da maior parte dos combustíveis produtores de gases tóxicos.

TABELA II.5 - Comparação do Teor de Chumbo na gasolina em alguns países do mundo

PAÍS	TEOR DE CHUMBO (gr/l)
Brasil	0,845
Grécia	0,840
Canadá	0,549
Suíça	0,540
França	0,450
Inglaterra	0,450
Israel	0,420
Austrália	0,400
Estados Unidos	0,340
Japão	0,260
Alemanha	0,150
Suécia	0,150

FONTE: FEEMA (Fundação Especial de Estudos do Meio Ambiente)

Ao longo dos anos não havia planejamento dos meios de transportes voltada para o meio ambiente e os programas que visavam a redução do consumo de combustíveis derivados de petróleo tiveram outros objetivos, sem levar em consideração a redução da poluição ambiental. Os melhoramentos neste campo eram oferecidos à população do mesmo modo que bens de consumo. Viadutos, estradas e terminais eram construídos sem que os demais subsistemas com os quais eles iriam se inter-relacionar fossem estudados, provocando influências negativas principalmente no relacionamento com o meio ambiente. Como

afirma Dantas na tradução da obra "Energia Nuclear Problemas e Opções", publicado pela editora Eutrix em 1979, os países industrializados são responsáveis por 85% da produção mundial de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), devido a queima de combustíveis fósseis, sendo que os Estados Unidos (E.U.A) são responsáveis por 25% desta emissão.

O setor de transporte representa 23% do consumo de energia nos E.U.A, com o automóvel consumindo 52% deste volume, 32% em viagens urbanas e 20% em viagens interurbanas. As linhas aéreas concorrem com 9% e os caminhões de frete com 22% do consumo energético em transportes.

Um estudo realizado pela Comissão Nacional de Energia e que no Ministério dos Transportes (PRODEL), mostrou que o setor de transportes é responsável por 19% do consumo de energia do país; O setor industrial consome 36%, ficando o setor residencial com 19%.

Segundo Novais, Análise do Setor de Transporte de Carga, setembro 1984, no setor de transportes o grosso do consumo recai sobre o transporte rodoviário, responsável por 82% do consumo total.

Quanto ao tipo de combustível, 51% do total consumido é constituído pelo óleo diesel, a gasolina corresponde a 32% e o álcool com os 17% restantes.

O consumo do óleo diesel, que afeta sobremaneira nossa balança de pagamentos, está assim distribuído:

O transporte de carga gasta cerca de 50%; o transporte urbano de passageiros 10%; o transporte de passageiro intermunicipal 7% e outros 33%.

#### **- Efeitos da Poluição Atmosférica**

A poluição atmosférica causa enormes danos ao meio ambiente e à saúde das pessoas como mostra-se a seguir:

- As chuvas ácidas são provocadas por gases tóxicos, emitidos por processos industriais e motores a combustão. Levados pelos ventos, estes poderão ser produzidos em uma região, provocando danos à natureza e destruição de florestas.

Este é um fenômeno localizado e pode ser minimizado através da redução da poluição industrial.

- A destruição da camada de ozônio é provocada pelo CFC (clorofluorcarbono), existente nos aerosóis e nos equipamentos de refrigeração. Cada partícula de ozônio, abre um verdadeiro buraco nesta camada estratosférica que filtra os raios ultravioletas do sol.

A destruição desta camada provoca o aumento do câncer na pele, as infecções oculares e a destruição de inúmeras espécies biológicas.

Segundo Mello, no artigo publicado pela Revista dos Transportes Públicos - ANTP, edição setembro de 1989, várias reuniões tem sido realizadas entre os países industrializados, principais consumidores da CFC, de maneira a buscar alterar processos tecnológicos que permitam o uso de substitutos daquele insumo não danoso ao meio ambiente. Este é um fenômeno que deverá ser resolvido quase que exclusivamente pelos países ricos através da redução de seu uso, ou pela busca dos substitutos não prejudiciais à natureza através da pesquisa científica. Os países em desenvolvimento são responsáveis por apenas 16% do uso do CFC.

O efeito estufa é devido ao progressivo aquecimento do planeta, provocado pela queima dos combustíveis fósseis. O elemento principal deste efeito é o aumento do dióxido de carbono na atmosfera. Observou-se ao longo dos cem anos uma elevação da temperatura média do globo terrestre de 0,7°C.

A continuar o atual ritmo de produção de calor na terra poderá haver uma elevação da temperatura global entre 1,5°C e 4,5°C até a metade do próximo século, e que provocaria degelos e a elevação do nível dos oceanos, e uma série de

danos causados por este desequilíbrio climático. Esta elevação de temperatura poderá ocasionar um aumento do nível dos oceanos de 30 cm a 1,5 m.

Os motores de combustão interna emitem também poluentes como hidrocarbonetos (HC), óxidos de nitrogênio (No<sub>x</sub>) e monóxido de carbono (CO) que causam impactos adversos sobre a atmosfera regional e sobre a saúde individual dos seres humanos.

A inalação destes poluentes causa sérios danos à saúde como problemas respiratórios e cardiovasculares.

#### **- Medidas de Prevenção dos Efeitos Negativos**

Podemos ver que pelo menos dois fenômenos adversos a natureza, capazes de alterar o clima e mesmo a vida da humanidade, estão ligados aos transportes grandes produtores de dióxido de carbono, as chuvas ácidas, e o efeito estufa.

Então deve-se perguntar qual a parcela de culpa dos veículos automotores, movidos a derivados de petróleo, nessa desorganização climática, o que fazer para que eles possam dar a sua contribuição, de modo a minimizar os efeitos negativos dos gases produzidos em seu funcionamento, tanto para as mudanças climáticas como para a saúde da população, principalmente nas grandes cidades.

O transporte é considerado como atividade-meio dentro de uma economia. Porém, essencial ao funcionamento de qualquer empreendimento humano. Apenas as economias primitivas podem prescindir dos transportes, pois estão ligados às trocas, aos intercâmbios, à própria necessidade cotidiana dos indivíduos. Logo, se não podemos eliminar esta necessidade, e muito pelo contrário, é de se esperar que a demanda por meios de transportes venha a crescer; deve-se ao menos procurar uma maneira mais racional de funcionamento de seus motores e de seu tráfego, para reduzir a emissão dos gases que causam o efeito estufa, as chuvas ácidas ou simplesmente dificultam a vida humana (MELLO, 1989).

O primeiro item a ser abordado é o rendimento dos motores de combustão interna. Em geral os motores diesel, dos ônibus e caminhões, apresentam um rendimento de 34 a 40% e os de ciclo otto, dos automóveis e veículos leves, têm níveis de rendimento ainda mais baixos, de 20 a 30%, ou seja, é baixo o percentual de energia que efetivamente é aproveitado.

Um passo a dar seria a intensificação de pesquisa tecnológica no sentido de aumentar o rendimento desses motores. Com isso obter-se-ia uma redução do consumo de combustíveis, provocando a economia de petróleo e diminuição da emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

Segundo DANTAS, na tradução Energia Nuclear: Problemas e Aplicações, 1979, leis em vigor nos Estados Unidos obrigam que os automóveis reduzam pela metade o consumo de gasolina. Esta exigência será possível devido aos aperfeiçoamentos que contribuem com este objetivo. A redução no peso dos veículos, graças a novos projetos e materiais mais leves, pode economizar de 20 a 30% de combustível, pneus radiais 5 a 10%, menor arrasto de ar 5%, melhor conjugação transmissão-motor 10 a 20% e a utilização de motores a diesel também diminuem muito o consumo de combustível dos veículos urbanos e de transporte de carga.

Outra opção seria utilizar meios de transporte menos poluentes ou utilizar de modo mais racional os meios de transportes disponíveis ou intensificar a substituição da gasolina ou diesel, por combustíveis menos poluentes, como o álcool ou gás natural. O uso em veículos automotores de gás natural, no qual predomina o metanol, pode reduzir em 98% a produção de monóxido de carbono e eliminar o enxofre que é produzido na combustão de óleo diesel. No Brasil, o uso de gás natural no transporte coletivo foi autorizado recentemente pelo Ministério das Minas e Energia. Na cidade de São Paulo por exemplo, o emprego do gás em indústrias e nos 10.000 ônibus que circulam na cidade poderá reduzir em

até 40% a poluição do ar. Hoje são despejados no ar paulistano 470 toneladas diárias de monóxido de carbono.

Com a utilização do álcool combustível, etanol ou metanol, ele produz menos monóxido e dióxido de carbono que os derivados de petróleo. A energia da biomassa é menos poluidora. Porém, atualmente é mais cara que a derivada de petróleo, relação que brevemente poderá se alterar pois o preço do petróleo começa a subir no mercado internacional.

Caso ele atinja patamares elevados, poderá haver um estímulo ao uso do álcool em outros países além do Brasil.

Atualmente, 20% dos automóveis produzidos no Brasil utilizam motores a álcool, tendo atingido 95% em janeiro de 1988. Com rendimento inferior ao dos motores a gasolina, o consumo do motor a álcool é da ordem de 20% maior que o de motor a gasolina, havendo, portanto, necessidade de subsidiar o seu preço para garantir o consumo. Os seus benefícios, no entanto, ao meio ambiente são inegáveis. Basta dizer que a recente redução do percentual de álcool na gasolina de 22% para 18%, representou um aumento de 8,5% de monóxido de carbono no ar de São Paulo.

Os veículos movidos exclusivamente a álcool apresentam uma redução de 66% de monóxido de carbono, 28% de hidrocarbonetos e 11 de óxido de nitrogênio, em comparação aqueles movidos a gasolina.



Atualmente, a cana e seus derivados representam cerca de 14% da produção total de energia primária no Brasil, sendo 20% aquela proveniente do petróleo. Em 1987 foram produzidos 12.556.420 m<sup>3</sup> de álcoois (SOPRAL, 1986). O emprego crescente de veículos a álcool poderá, sem dúvida, contribuir para a redução da poluição do ar nos aglomerados urbanos. O impasse no seu emprego reside nas vantagens econômicas oferecidas ainda pelos derivados de petróleo.

Outra alternativa seria a eletrificação do transporte ferroviário, quer para cargas a longas e médias distâncias, quer para passageiros dentro das cidades. No caso do transporte de cargas, para cada trecho no qual se pretenda substituir o transporte rodoviário pelo ferroviário deverá haver um estudo de viabilidade técnico-econômica, devido aos elevados custos de implantação de um sistema de transportes por trilhos. Apenas em poucas situações, com elevada densidade de tráfego, justificarão estes investimentos desde que a energia gerada seja de origem hidrelétrica. No Brasil devido ao grande potencial hidrelétrico do nosso país seria uma boa medida já que grande parte do petróleo aqui consumido é importado tornando o país altamente dependente em termos de consumo energético. Mas esta política não está sendo seguida pelos governantes porque enquanto o consumo de energia

elétrica aumenta em relação ao consumo, nos transportes este percentual está diminuindo.

No caso do transporte urbano de passageiros, para os corredores de tráfego com mais de 20.000 passageiros/hora no horário de pico, já merecem uma análise visando a substituição do transporte rodoviário pelo ferroviário.

Segundo, BARAT, em seu livro A Evolução dos Transportes no Brasil, publicado em 1978, a modalidade rodoviária é apontada como a que consome mais derivados de petróleo no Brasil, tais como: gasolina e o óleo diesel.

Uma das maneiras que se tenta reduzir o consumo de combustíveis fósseis é eletrificar os transportes usando baterias, mas neste caso esbarra-se no elevado peso, na reduzida vida útil e desempenho modesto dos veículos. Porque o automóvel teve uma autonomia de 80 a 100 quilômetros, rodando a uma velocidade média de 25 Km/h, um micro-ônibus, para 15 passageiros, exige dois conjuntos de 15 baterias de 6 volts cada, que devem ser recarregadas a cada 5 ou 6 horas.

As medidas a serem adotadas nas áreas urbanas com a finalidade de reduzir os impactos ambientais negativos, são de natureza completar como restrição ao uso de automóveis individuais, remanejamento do tráfego e melhoria do transporte coletivo. Onde bem aplicados estas medidas deram bons resultados, reduzindo o número de automóveis em

circulação dando mais fluidez à circulação e consequentemente, causando uma redução do consumo energético e da poluição ambiental.

### **2.2.2 - Poluição Sonora**

O conceito de poluição sonora é entendido como sendo ruído, barulho ou som indesejável. Nas grandes metrópoles estão concentrados os maiores focos de poluição sonora e seus habitantes ficam expostos a níveis de ruído elevados. As fontes de ruído são muito variadas e nem mesmo no período noturno, onde se precisa de mais silêncio, se consegue limitar o nível de ruído aos padrões ideais. Muitas vezes os habitantes não tem condições de sair destas áreas à procura de silêncio, indo morar em bairros distantes e calmos.

Para descrever o som, utiliza-se de duas características; a altura e a intensidade. A intensidade é originada pela pressão contra o ouvido ou outro instrumento de medição, quanto maior a pressão, mais intenso é o som. A altura é determinada pela frequência das vibrações, ou seja pelo número de vezes que o objeto vibrante dá impulsos ao ar na direção do receptor, durante um determinado período de tempo.

De acordo com um estudo realizado pela Coordenação de Programas de Pós-Graduação em Engenharia da Universidade

Federal do Rio de Janeiro (COPPE) e Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN) a unidade padrão para se medir sons é decibel (dB). É praticamente impossível se obter níveis de som inferiores a 25 dB, no meio urbano os sons geralmente variam entre 30 e 100 dB. Os ruídos percebidos são originados por sons de diferentes frequências e a altura do som é determinada também por suas características de frequência. Como as altas frequências são mais incomodas ao ouvido humano, se comparado com as baixas, surgiu a necessidade de ajustar o decibel a esta sensibilidade do ouvido. Então foi definida a ponderação A do decibel, que ajusta a variação do nível de pressão do som de acordo com a frequência. Surge então, a unidade conhecida como dBA que atribui intensidade aparente maior aos sons agudos (alta frequência) do que aos sons graves (baixa frequência).

São apresentados a seguir, na Tabela II.6, os níveis de ocorrência de ruído para algumas atividades e a sensação correspondente provocada.

TABELA II.6 - Níveis Típicos de Ruído

TIPO DE SOM	ALTURA	SENSAÇÃO
Relógio em funcionamento/Roçar de folhas/Sussurros/Chuveiro	30 dBA	Muito baixo
Ruído do trabalho doméstico/Rua residencial calma	40 dBA	razoavelmente baixo
Conversa	50 dBA	normal
Ruído de escritório	60 dBA	normal
Conversa ruidosa, gritos, veículos circulando a 10m	70 dBA	alto
Ruído de tráfego pesado	80 dBA	alto
Fábrica barulhenta	90 dBA	muito alto a insuportável
Buzina de veículo a 7 m	100 dBA	muito alto a insuportável
Calderaria	110 dBA	muito alto a insuportável
Avião	120 dBA	muito alto a insuportável
	130 dBA	limite da dor

FONTE: COPPE/UFRJ, DENATRAN/MJ, Tráfego e Meio Ambiente, 1980.

#### - Principais Emissores de Ruído

Atualmente, os níveis de ruído nas cidades são muito altos proveniente dos automóveis, aviões, construção civil e outros.

Neste trabalho, analisamos apenas o ruído causado pelo tráfego, que causa muitos transtornos principalmente nas grandes metrópoles onde vive a maioria da população. O nível de ruído produzido por um veículo vem principalmente do funcionamento do motor, do sistema de transmissão; do contato

dos pneus com a pavimentação; do freio e das buzinas. O ruído do tráfego, depende do fluxo de veículos, da geometria e materiais presentes.

Existem vários métodos para se medir o nível de ruído, mas procura-se chegar a um único índice, hoje é muito utilizado o Nível equivalente de energia (Leq), que é definido pela expressão

$$Leq = L_{50} + \frac{(L_{10} - L_{90})}{56}$$

onde:  $L_{10}$  e  $L_{90}$  são os níveis excedidos em 10% e 90% do tempo respectivamente, numa pesquisa de 24 horas.

Nas grandes metrópolis brasileiras já existe uma preocupação com o elevado índice de poluição sonora, um estudo realizado em São Paulo apresenta índices bastante altos como pode-se ver na Tabela II.7. O Conselho Nacional de Trânsito - CONTRAN através da Resolução nº 448/71, determinou os níveis máximos permissíveis de sons e ruídos produzidos por veículos em todo território nacional.

Para veículos de passageiros e de uso misto (exceto ônibus), motonetas, motocicletas e bicicletas com motor auxiliar é de 48 dBA.

TABELA II.7 - Resumo do Diagnóstico Sobre Ruído Urbano na Cidade de São Paulo.

Índices	Tipo da Via	Vias de Uso				
		Local	Local (próximas ao aeroporto)	Vias Coletoras	Vias Arteriais	Vias Expressas
Média nas Horas de Pico	L <sub>10</sub> (dBA)	63	69	77	81	81
	L <sub>90</sub> (dBA)	52	52	62	70	73
	L <sub>eq</sub> (dBA)	62	70	73	78	79
	TNI	68	91	90	80	75
Média Fora das Horas de Pico	L <sub>10</sub> (dBA)	66	72	76	81	81
	L <sub>90</sub> (dBA)	52	53	62	69	73
	L <sub>eq</sub> (dBA)	64	70	73	78	79
	TNI	78	94	90	87	75

FONTE: COPPE/UF RJ, DENATRAN, Tráfego e Meio Ambiente, 1980.

outros. Então as medidas tomadas devem ser na procura de soluções que venham melhorar a qualidade de vida dos habitantes das grandes cidades, melhorando os veículos para que emitam menor nível de ruído, desviando o tráfego ou dando mais fluidez a este para que não cause desconforto e irritação aos passageiros e habitantes dos grandes centros.

### **2.2.3 - Poluição Visual**

A poluição visual não causa grandes danos ao meio ambiente e às pessoas, se comparada com as outras formas de poluição, mas causa grandes transtornos aos habitantes das áreas metropolitanas, tais como: desconforto e irritação para quem convive com ela diariamente.

#### **- Origem da Poluição Visual**

Nas grandes metrópolis há necessidade de se construir muitas obras de engenharia para dar passagem ao fluxo de tráfego. Logo estas grandes construções como pontes, viadutos, passarelas, ferrovias. Acabam criando um clima de desconforto às comunidades urbanas e as pessoas que trafegam nestes locais.



Segundo Hutchinson, 1979 o engarrafamento de trânsito, a enorme quantidade de veículos, a fumaça que sai do escape dos automóveis também acabam criando uma irritação nas pessoas, hipertensão e outros males oriundos do desenvolvimento tecnológico.

#### **2.2.4 - Vibração**

De um modo geral, os problemas de vibração não assumem grande importância, principalmente se comparados com outros distúrbios causado pelo tráfego ao meio ambiente e às populações urbanas. Há vários tipos de vibração com muitas origens como colocação de estacas, compressores de ar, motores de fábricas e outros. Aqui estudaremos apenas a vibração devido ao tráfego (COPPE/DENATRAN, 1980).

##### **- Efeitos da Vibração**

Os efeitos da vibração são sentido mais na forma de fadiga ou desconforto, porque quando da passagem de um veículo gera vibração no solo e nas edificações vizinhas, causando a movimentação dos componentes mais flexíveis de uma edificação como portas e janelas, podendo ocasionar danos,

como pequenas rachaduras nos materiais mais frágeis em construções, principalmente em edificações antigas.

#### **- Recomendações e Medidas de Contrôlo**

As medidas recomendadas para eliminar os problemas de vibração são: proibir a passagem de veículos pesados nas vias onde se pretende reduzir os efeitos da vibração, desviando o tráfego para outras vias, redução de velocidade nas vias, ou quando possível afastar as construções.

#### **2.2.5 - ACIDENTES NO TRANSPORTE DE CARGAS E PRODUTOS**

##### **PERIGOSOS**

O transporte de produtos perigosos é realizado através de todas as modalidades de transporte, sendo que, a maioria dos condutores e a maioria da população não tem conhecimento dos riscos a que está exposta. Para que se faça o transporte de produtos perigosos, devem ser tomadas sérias medidas de controle, para evitar que, em caso de acidente, venha causar maiores danos às populações, como a perda de vidas humanas, a contaminação do solo, dos recursos hídricos, biológicos e do meio ambiente.

Cabe as autoridades determinar normas e fazer a fiscalização em rodovias, portos, ferrovias, aeroportos e dutovias para que não aconteçam acidentes e fazer o treinamento do pessoal que lida com tais produtos para que em caso de acidente saibam tomar as devidas prevenções.

Para melhor conhecimento destes produtos, estes foram divididos em 9 classes de acordo com o tipo de produto e risco a que estão sujeitos. A seguir vem a Tabela II.8 com cada classe, característica e exemplo.

Tabela II.8 - Uma Classificação das Características dos Produtos Perigosos

CLASSE	CARACTERÍSTICA	EXEMPLO
1	explosivos	- dinamite
2	gases	- oxigênio
3	líquidos inflamáveis	- querosene
4	sólidos ou substâncias inflamáveis	- enxofre
5	substâncias oxidantes e peróxidos orgânicos	- nitrato de amônia - água oxigenada
6	substâncias tóxicas e infectantes	- óxido de mercúrio - acetona cianídrica
7	substâncias radioativas	- urânio - cézio
8	substâncias corrosiva	- soda cáustica - ácido sulfúrico
9	substâncias diversas	- produtos (misturas, não enquadradas em outras classes).

**FONTE:** SENAI-RGS, Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, Departamento Regional do Rio Grande do Sul. Transporte Rodoviário de Cargas e produtos perigosos, 1992.

Apresentam-se a seguir os aspectos da Legislação Sobre a Movimentação de Produtos Perigosos:

Em março de 1985, a Resolução nº 640/85 do Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN), estabeleceu a obrigatoriedade do treinamento para os motoristas condutores de cargas e/ou produtos perigosos.

As Normas Brasileiras Regulamentadoras (NBR), expedidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) indicam as condições para o exercício da atividade de condutor de cargas e/ou produtos perigosos.

A responsabilidade é do condutor que faz o transporte e do proprietário da carga, para se fazer este transporte deve-se usar rótulos de segurança que identifiquem o tipo de produto, a fim de que se possam tomar as medidas de prevenção cabíveis, no seu transporte e movimentação.

No Brasil, atualmente, circulam todos os dias em nossas vias, grande quantidade de produtos perigosos, colocando em perigo muitas vidas humanas e podendo contaminar o meio ambiente, os recursos hídricos e o solo. Aqui e em todo o mundo já ocorreram graves acidentes no transporte de cargas e produtos perigosos em todas as modalidades do transporte, como por exemplo nas rodovias, ferrovias, dutovias, hidrovias e no transporte aéreo, causando muitos prejuízos materiais e

pessoais, por este motivo as autoridades competentes devem fiscalizar com mais rigor.

### **Medidas de Prevenção à acidentes no Transporte de Carga e Produtos Perigosos**

As medidas mais importantes na prevenção de acidentes com a movimentação e transporte destes produtos, é obedecer as normas para o seu transporte como:

- folhetos indicando as medidas à serem tomadas em caso de acidente;
- fiscalização dos veículos;
- treinamento do condutor;
- utilização dos equipamentos de proteção necessários;
- colocação de rótulos nos veículos indicando o tipo de produto;
- não fumar;
- não parar próximo a chamas ou queimadas;
- não estacionar a menos de 100 metros de pontes, viadutos, habitações ou locais de trabalho;
- verificar se a documentação pessoal, do veículo e da carga estão em ordem;

- ler a ficha de emergência com atenção, procurando eliminar as dúvidas;
- velocidade máxima de segurança 40 km/h.

Os impactos negativos causados pelo sistema de transportes é um problema que a sociedade moderna enfrenta trazendo muitos prejuízos para toda a população. Logo todas as comunidades devem se unir a procura de soluções para este problema, utilizando as alternativas de transporte mais viáveis e que causem menos danos as comunidades e ao meio ambiente. Entre estas alternativas pode-se citar fontes energéticas menos poluidoras como: álcool, hidrogênio e metanol. Também devem continuar com as pesquisas para melhorar o nível de conforto e segurança dos veículos para evitar danos a comunidade.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGIA PROPOSTA**

#### **3.1 - INTRODUÇÃO**

Neste capítulo, apresenta-se uma metodologia para avaliação de alternativas planos de transporte, empregando o Método de Tomada de Decisão Interativa e Multicritério - TODIM, e a Teoria de Grafos. O TODIM permite levar em consideração fatores relevantes do sistema de transporte de carga sejam estes quantificáveis ou de difícil quantificação, podendo assim, avaliar interesses de diversos grupos envolvidos ou afetados pelo sistema.

O emprego da Análise Multicriterial de Auxílio à Tomada de Decisão exige uma análise feita por operadores, especialistas, órgãos governamentais e usuários do sistema, atribuindo pesos às desutilidades nos trechos e modalidades que compõem o sistema. Matematicamente, as equações que descrevem o modelo procuram obter um conjunto de valores positivos ou nulos de maneira que a soma das desutilidades do sistema de transporte de carga seja mínima, sujeito a certas restrições.

Os métodos multicriteriais se originaram da pesquisa operacional onde frequentemente os profissionais procuram descobrir fatores relevantes ao seu problema por analogia com diferentes áreas de estudo.

A análise multicriterial é um método para avaliação e seleção de projetos, que agrega critérios de natureza social e ambiental aos critérios econômicos. Sua função é ordenar alternativos planos de ação como são percebidos por diversos grupos de interesse com diferentes experiências, compreensão e percepção de projeto, fazendo surgir de modo organizado e transparente as preferências dos diversos grupos envolvidos, permitindo ao tomador de decisão o conhecimento dos pontos críticos dos projetos, auxiliando o processo lógico de tomada de decisão.

A técnica multicriterial trata de aspectos discretos e contínuos, os contínuos são desenvolvidos pela programação matemática através da interação. Os discretos ordenam um conjunto de critérios e alternativas, a principal preocupação é com problemas onde existam vários critérios conflitantes. (MOTTA, 1992).

O principal objetivo destes métodos é encontrar uma alternativa viável que atenda aos interesses de todos os grupos, porque nem sempre é possível encontrar a solução ótima. Então estes objetivos precisam ser ponderados de modo



que ao atender os interesses de um grupo não venha prejudicar os demais grupos envolvidos na tomada de decisão ou por ela afetados.

Além do mais a Teoria de Grafos em conjunto com o método TODIM, proporciona meios para avaliação de sistemas de grande porte.

Essa metodologia possibilita avaliar o sistema de transporte de cargas, identificar a capacidade do sistema, bem como a demanda e oferta dos produtos nas origens e destinos. Assim pode examinar a viabilidade de introdução de novas facilidades no sistema com a utilização de alternativas mais eficientes para este transporte como; o aproveitamento e ampliação de hidrovias; ferrovias, portos e a implantação de pontos de transbordo.

### **3.2 - O MÉTODO TODIM**

Este estudo utiliza o método de Tomada de Decisão Interativa e Multicritério TODIM que foi desenvolvido pelo professor Gomes (1976) na sua tese de doutorado na Universidade de Berkeley, na Califórnia.

Este método foi inspirado no Método de Análise Hierárquica - AHP desenvolvido por Saaty no início da década

de 70 e que atende aos princípios básicos do auxílio multicritério a decisão.

Segundo Gomes, o método TODIM tem as seguintes características:

- a) trabalha com critérios quantitativos e qualitativos;
- b) os critérios quantitativos são mensurados por escala cardinal ou verbal;
- c) aceita critérios e alternativas dependentes e também interdependentes;
- d) hierarquiza critérios interdependentes;
- e) é uma teoria de decisão lógica, não ferindo qualquer teoria pré-existente;
- f) evita casos de reversão de ordem (ao incluir ou excluir alternativas, a ordenação final se modifica de maneira não esperada).

Para a aplicação do método, se faz a atribuição de valores das alternativas e critérios, e a eleição de um critério de referência.

O primeiro passo é a construção de matriz de utilidades parciais elaborada a partir de valorações obtidas através de julgamentos lidos em escala cardinal ou verbal (Ver quadro III.1), que julga os critérios em relação as alternativas.

Em seguida se faz a normalização da matriz de utilidades parciais, considera o maior valor de cada coluna igual a unidade e divide cada valor de sua coluna pelo maior valor, para evitar a reversão de ordem.

QUADRO III.1 - ESCALA PARA AS MATRIZES

INTENSIDADE DE IMPORTÂNCIA	DEFINIÇÃO	EXPLICAÇÃO PARA A TABELA 1	EXPLICAÇÃO PARA A TABELA 2
0	Nenhuma Importância	a alternativa não contribue para o critério c	-----
1	-----	a alternativa i tem muita pequena importância para o critério c	o critério p tem igual importância ao critério q
2	-----	a importância da alternativa i está entre muito pequena e pequena para o critério c	a importância do critério p está entre igual e ligeiramente do que a do critério q
3	Pequena Importância	a alternativa i tem pequena importância para o critério c	a importância do critério p é ligeiramente maior do que a do critério q
4	Importante	a alternativa i tem alguma importância para o critério c	o critério p é mais importante que o critério q
5	Forte Importância	a importância i tem forte importância para o critério c	o critério p é fortemente mais importante do que o critério q
6	-----	a importância de alternativa está entre forte e bastante forte para o critério c	a importância do critério p está entre forte/maior e muito forte/maior que o critério q
7	Muito forte importância	a alternativa i tem muito forte importância para o critério c	o critério p é muito fortemente mais importante do que o critério q
8	-----	a importância da alternativa i está entre muito forte e absoluta para o critério c	a importância do critério p está entre muito forte/maior e absoluta/maior do que a do critério q
9	Absoluta Importância	a alternativa i tem absoluta importância pra o critério c	o critério p é absolutamente mais importante do que o critério q

FONTE: Motta, 1993.

O segundo passo é a formação da matriz de comparação por pares entre critérios, e sua valoração é feita através da comparação de um critério em relação a outro critério, na comparação do critério a com ele mesmo, sua valoração é 1. Só

há necessidade de valorar o triângulo superior uma vez que o triângulo inferior é seu inverso matemático.

Em seguida se faz a normalização desta matriz, e do somatório das linhas horizontais normalizadas se escolhe o critério de referência que será o de maior valor que servirá para elaborar a matriz de dominância. (Gomes, 1976).

De posse do critério de referência, calcula-se a medida de dominância de uma alternativa em relação a outra.

O próximo passo é a formação da matriz de dominância através da função de utilidade linear aditiva.

$$\delta(i, j) = \sum_{c=1}^m [a_{rc} (W_{ic} - W_{jc})] \quad (12)$$

Em seguida é feita a ordenação das alternativas consideradas (equação de cálculo em Gomes, 1991).

onde  $a$  = valoração

$i, j$  = alternativas

$r$  = critério de referência

$c$  = critério qualquer

$W$  = valoração da alternativa  $(i, j)$  para o critério genérico  $c$ .

se  $\delta(i, j) < \text{zero}$ , isto implica que a alternativa  $i$  é dominada pela alternativa  $j$ .

A matriz de medidas de dominâncias relativas é formada pelos elementos  $(i,j)$ , possibilitando calcular a utilidade global das alternativas: (Motta, 1993).

$$\delta_i = \frac{\sum_{j=1}^n \delta(i,j) - \text{Min}_i \sum_{j=1}^n \delta(i,j)}{\text{Max}_i \sum_{j=1}^n \delta(i,j) - \text{Min}_i \sum_{j=1}^n \delta(i,j)} \quad (13)$$

O valor numérico de  $\delta(i,j)$  pode ser entendido como uma intensidade de dominância com possibilidade de apresentação gráfica, (grafo de dominância), que vai do nó  $i$  ao nó  $j$  deste grafo. Se um arco do grafo sai de qualquer nó  $i$ , tal intensidade é positiva. Por este raciocínio gráfico, a matriz de dominância ( $\delta_i$ ) é a soma destas intensidades, tomadas em seus valores relativos.

O método de Tomada de Decisão Interativa Multicritério - TODIM utiliza matrizes para organizar comparações de alternativas com alternativas, e critérios com critérios. Também usa a função de Utilidade Linear Aditiva para determinar a dominância de uma alternativa sobre a outra.

### 3.3 - TEORIA DE GRAFOS

O sistema de transportes é geralmente representado por nós e arcos que correspondem aos centros de atividade econômica e as rotas de transporte. Este sistema de

transporte pode ser apresentado na forma de matriz, com várias finalidades podendo especificar distância, modalidade, tempo de viagem, custo, capacidade, desempenho dos trechos e modalidades que fazem parte do sistema. A matriz deve ser quadrada e simétrica, podendo ser dividida em sub matrizes, cada uma representando uma modalidade específica.

Para se avaliar o sistema de transportes de carga, as entradas que constam das matrizes são desutilidades da malha, ou seja, um resumo do custo agregado (prejuízo) atribuído aos principais grupos de interesse pelo uso de um dado trecho ou modalidade da malha.

Matriz de Desutilidade - para se avaliar a malha viária nacional em suas várias modalidades, se especificou esta na forma da matriz, sendo as matrizes simétricas e quadradas, podendo ser divididas em submatrizes, cada uma com sua característica específica.

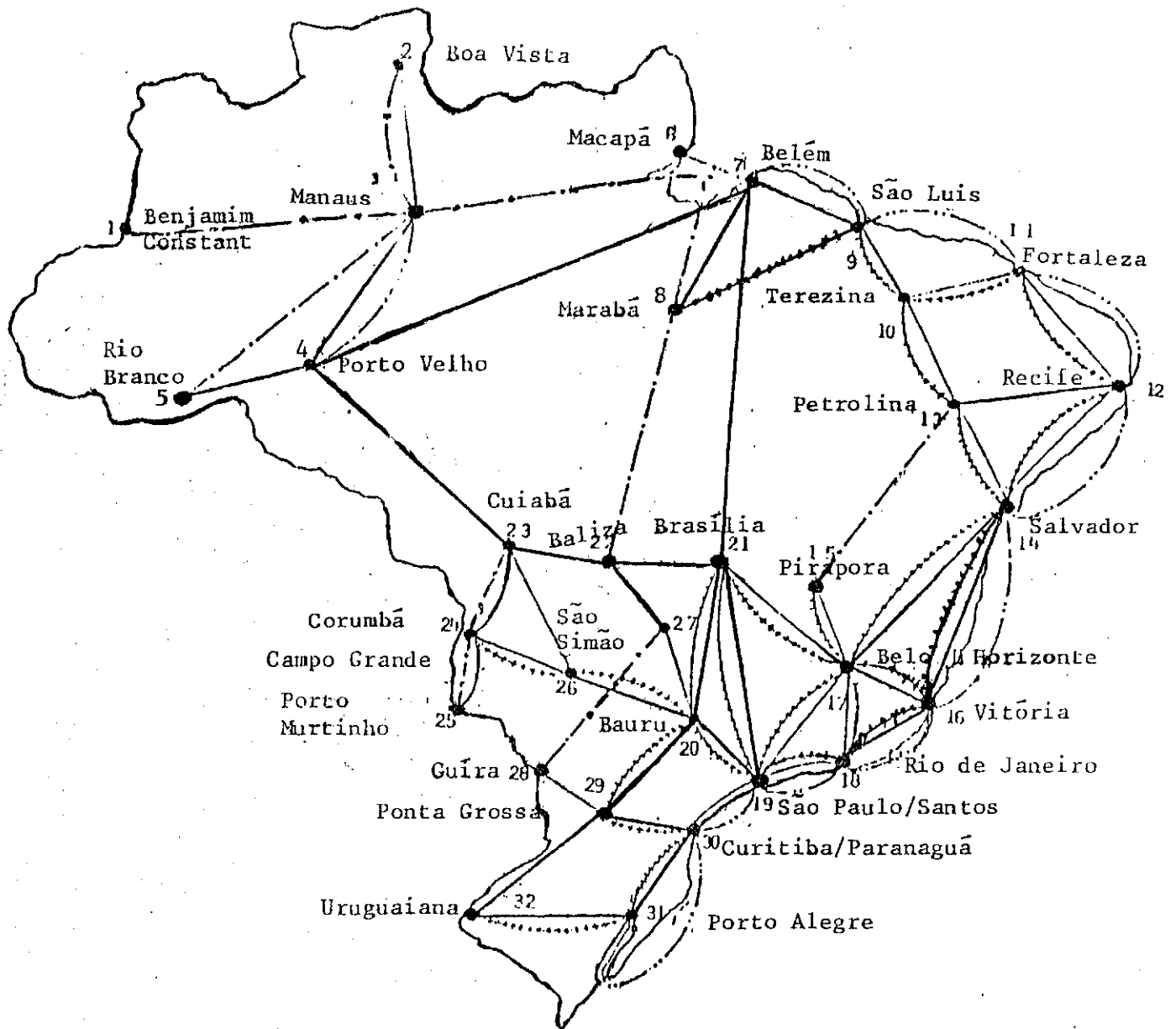
A matriz de desutilidade é construída por etapas. Primeiro, a extensão que pertence a um dado trecho e/ou modalidade inter-regional é determinada e resumida.

A desutilidade dos atributos que pertencem a trechos são julgados e resumidos, de acordo com o consenso geral de todos os grupos de interesse envolvidos ou afetados pelo sistema de transporte de carga. Estes valores são vistos como um resumo de medidas para todos os atributos de transporte, para os

trechos e as modalidades da malha. Então quanto maior este valor, maior o custo (prejuízo) ou dificuldade de fluxo naquele trecho da malha.

Obtém-se as rotas ótimas entre cada par de O-D por meio do algoritmo de "Fulkerson". A implementação das medidas propostas neste trabalho exige um estudo mais detalhado do ambiente sócio-político em que se insere.

O sistema de transporte escolhido para avaliação no Brasil é o representado na Figura III.1. Foram escolhidas as principais vias de transporte de carga inter-regional geralmente utilizadas no país. Também foram identificados os principais grupos de interesse associados ao sistema de transportes ou por ele afetados (usuários, operadores, governo, e comunidade) e definidos os atributos da utilidade (valor) percebida por diferentes grupos intervenientes incluindo custo, dispêndio energético, tempo, flexibilidade, confiabilidade e poluição. As estimativas das utilidades destes atributos foram baseadas nas características operacionais das modalidades de transporte consideradas rodovias, ferrovias, hidrovias, e os pesos relativos das utilidades para os principais atributos foram subjetivamente estabelecidos pelos representantes dos grupos envolvidos.



LEGENDA:

- Rodovia
- ..... Ferrovia
- Hidrovia (Interior)
- . - . - Hidrovia (Litorânea)

FIGURA III.1 - O SISTEMA DE TRANSPORTE ESCOLHIDO PARA AVALIAÇÃO:



---

A metodologia proposta para a avaliação de sistema de transportes é composta por uma série de procedimentos ordenados sequencialmente como a seguir:

1. Identificar e definir o sistema ou malha a ser avaliada
2. Identificar os principais grupos de interesse
3. Identificar e resumir, para todos os grupos de interesse, os atributos primordiais do sistema.
4. Escolher, através de consenso dos grupos de interesse, pesos para todos os critérios.
5. Determinar através da utilização de critérios de decisão e seus pesos relativos, fatores de desempenho, como impedância, para todas as modalidades de transporte do sistema.
6. Elaborar uma matriz de distância para o sistema ou malha considerada.
7. Elaborar uma matriz de desempenho (e.g. impedância) para a malha, determinando para cada elemento da matriz de distância o seu fator de desempenho correspondente.
8. Determinar as rotas ótimas para cada par de O-D da malha, aplicando um algoritmo de caminho mais curto.

No caso de matriz de impedância, a rota ótima para um dado par O-D é a sequência de trechos cuja impedância

agregada (dificuldade) é a menor dentre todas as alternativas possíveis.

Este estudo apresenta a teoria de grafos que é empregada em conjunto com a análise multicriterial de auxílio a tomada de decisão, que quando empregadas em conjunto são bastante eficientes na análise de sistemas de transportes.

### **3.3.1 - Conceitos Básicos da Teoria de Grafos e Redes de Transportes**

Denomina-se grafo um conjunto de pontos (ou nós) ligados entre si por um conjunto de arcos representado por  $G = (N, A)$ , onde  $N$  é o conjunto de nós e  $A$  o conjunto de arcos.

Desta maneira define-se a rede de transporte como uma malha composta por arcos e nós. Os nós correspondem aos centros de atividade econômica e os arcos as rotas de transporte. (Rabbani, 1983).

Rede de transportes é um grafo finito e sem voltas, ou seja, com número determinado de arcos e nós onde não há nenhum arco ligando um nó a si mesmo. Deste modo só existe um nó chamado origem, a partir do qual saem somente arcos com sentido do nó para fora e apenas um nó chamado destino, para o qual todos os arcos se destinam.

A cada arco é associado um número inteiro denominado fluxo  $X_{ij}$  que não pode ser negativo e não pode superar a capacidade de cada arco. O limite inferior de fluxo no arco é dado por  $L_{ij}$  e o limite superior por  $U_{ij}$ ; o custo unitário deste fluxo é chamado  $C_{ij}$  e é representado por um valor monetário ou tempo de viagem, ou a desutilidade dependendo do tipo de problema analisado.

O princípio de conservação do fluxo estabelece que o fluxo total que entra em um nó deve ser igual ao fluxo total que sai deste nó. (Ver equação II). Este princípio se aplica também a um conjunto de nós, isto é, a soma dos fluxos que entram neste conjunto deve ser igual a soma dos fluxos que saem da região.

O conjunto de fluxos máximos que pode passar por uma rede é fundamental para resolução de problemas que têm restrições quantitativas. Tais restrições podem ser de quantidades disponíveis ou demandadas e/ou limites de capacidade nos arcos da rede. Se a quantidade disponível for maior que a capacidade da rede de transporte, o fluxo máximo será igual a capacidade da rede. Se a quantidade disponível for menor que a capacidade da rede, o fluxo máximo será igual à disponibilidade do produto a ser transportado. Se o déficit total nos diversos destinos for pequeno, em relação à

disponibilidade do produto e à capacidade de transporte, as quantidades demandadas determinarão o fluxo máximo.

Finalmente se houver uma demanda que não possa ser suprida, devido a restrições de transporte ou falta de produto, o problema será inviável.

O fluxo total que pode passar por uma determinada rede pode ser determinado pelo algoritmo dos fluxos máximos. Este algoritmo não garante, no entanto, que os fluxos estejam colocados nos caminhos de menor custo. O algoritmo de Fulkerson, baseado no modelo de redes capacitadas, permite a alocação dos fluxos máximos nos caminhos de menor custo. (Rabbani, 1983).

### **3.3.2 - Algoritmo de Fulkerson ou (Out-of-Kitter)**

Este algoritmo permite determinar os caminhos de menor custo entre um conjunto de nós  $i$  e outro de nós  $j$ , sob restrições de capacidade, inferior e superior, nos arcos. Podendo estas restrições representar as disponibilidades ou quantidades demandadas em cada região da rede ou exigências de certos arcos.

O algoritmo determina o conjunto de fluxos máximos, que minimiza os custos totais de transferência, custos de transbordo, custos de transporte nas vias, custos de

processamento ou beneficiamento, custos de armazenagem ou outros custos que sejam atribuídos aos arcos da rede.

Este algoritmo minimiza:

$$\sum C_{ij} X_{ij} \quad (15)$$

Sujeito a:

$$(I) \quad L_{ij} \leq X_{ij} \leq U_{ij} \quad (\text{para todo } i, j) \quad (16)$$

$$(II) \quad \sum_j X_{ij} - \sum_j X_{ji} = 0 \quad (\text{para todo } i) \quad (17)$$

$X_{ij}$  = fluxo entre dois nós  $i$  e  $j$ .

$C_{ij}$  = custo unitário do fluxo no arco

$L_{ij}$  = limite inferior do fluxo no arco

$U_{ij}$  = limite superior do fluxo no arco

A restrição I exige que o fluxo não seja menor que o limite inferior e também não seja superior a capacidade do arco. A restrição II. é relativa ao princípio de conservação de fluxo, ou seja, o total dos fluxos que chegam em um nó qualquer é igual a soma dos fluxos que saem do mesmo nó.

Portanto, para que seja possível obter-se uma solução pelo algoritmo de Fulkerson, é necessário acrescentar-se ao sistema um arco artificial (DA, OA), que ligue à origem artificial ao destino artificial, de modo a completar o sistema. Desta forma, evita-se a perda de fluxo na origem OA e o ganho de fluxo no destino DA.

A partir de iterações do algoritmo de Fulkerson, são determinados os fluxos ótimos, com suas respectivas rotas de menor custo, e também o custo total da solução ótima. O algoritmo de Fulkerson, além de gerar os fluxos ótimos  $X_{ij}$  e o custo total da solução, determina de modo endógeno os custos líquidos de oportunidade dos arcos ( $\bar{C}_{ij}$ ), os preços nos nós ( $P_i$ ) e os números de Kilter.

Dados os custos dos arcos  $C_{ij}$ , os custos líquidos destes arcos,  $\bar{C}_{ij}$ , são calculados da seguinte maneira: (Rabbani, 1983).

$$\bar{C}_{ij} = C_{ij} - (P_j - P_i) \quad (18)$$

Este custo representa o custo para se aumentar o fluxo, neste arco, em uma unidade.

O conjunto de preços relativos  $P_j$  é definido da seguinte maneira:  $P_j = P_i + C_{ij}$ , os valores  $P_j$  e  $P_i$  são estabelecidos fixando-se arbitrariamente um dos valores e calculando-se os demais pela equação acima. Por conveniência, iguala-se a zero, o preço de um dos nós e calcula-se os custos a partir daí. Os preços nos nós são recalculados em cada iteração, de modo que os aumentos de fluxo sejam feitos pelos caminhos de menor custo.

Estabelecidos estes parâmetros, a cada arco se associa um estado Kilter e um número de Kilter.

O estado de um arco  $(i, j)$  pode ser representado através de um ponto no plano. A diferença de preços entre a origem e o destino  $(P_j - P_i)$  é plotada no eixo das ordenadas e o volume de fluxo no eixo das abcissas.

O resultado do modelo concernente ao custo de oportunidade em cada arco da rede representa a variação no custo total do sistema referente à alteração de uma unidade de fluxo do arco.

Os custos de oportunidade positivos indicam que se houver aumento de uma tonelada em determinado arco, também haverá um aumento no custo total do sistema. Se o custo de oportunidade apresentar valor negativo, quer dizer que se houver aumento de uma tonelada em determinado arco, haverá uma diminuição no custo total sistema. Quando o custo de oportunidade apresentar valor nulo, então não haverá variação no custo total do sistema ao se aumentar ou diminuir uma tonelada em determinado arco.

Os custos de oportunidade de cada arco podem ser utilizados para uma classificação de prioridades de ação nos elementos do sistema, ou seja, aos menores custos de oportunidade estariam associadas as primeiras posições na escala de prioridades de intervenção.

A metodologia apresentada neste Capítulo baseia-se na análise multicriterial e teoria de grafos, podendo ser utilizada em estudos onde existam interesses conflitantes de diversos grupos envolvidos. O método utilizado neste estudo é o de tomada de decisão interativa e multicritério TODIM, em conjunto com a teoria de grafos que permite avaliar sistemas de grande porte identificando as melhores alternativas e as rotas ótimas para se fazer a transferência das cargas em todas as regiões do país.



## CAPÍTULO IV

### APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

#### 4.1 - INTRODUÇÃO

Neste capítulo se faz a aplicação da metodologia proposta no capítulo anterior, para um estudo realizado visando a melhoria do sistema inter-regional de carga do Brasil. Neste estudo se faz uma análise das três modalidades mais utilizadas no transporte de cargas rodovias, ferrovias e hidrovias, do ponto de vista dos principais grupos de interesse envolvidos ou afetados pelo sistema. A seguir apresentam-se os grupos envolvidos de acordo com a definição feita por Kawamoto, 1994.

- **Operador** é uma pessoa ou uma entidade que trata da operação do sistema de transporte e as decisões relativas aos problemas administrativos ou aos problemas de roteamento e horários no caso de uma empresa de transporte;
- **Usuários** são pessoas ou entidades que tomam decisões sobre viagens. Em transporte de cargas são os expedidores ou receptores. A importância do usuário na análise de oferta

está no fato de que os custos de transporte incorridos aos usuários são relevantes na obtenção da função oferta;

- **A comunidade** que é afetada pelo sistema durante a transferência das cargas;

- **O governo** que executa as obras necessárias, a fim de que o sistema atenda a demanda de transportes, facilitando a transferência dos produtos pelas três modalidades avaliadas..

Os critérios utilizados neste estudo foram os seguintes:

- **Redução dos custos de transporte**, por afetar diretamente o preço dos produtos, sendo que envolve vários parâmetros como: consumo de combustíveis, preço de veículos, salário de empregados e outros;

- **Redução do consumo energético**, este é de fundamental importância porque é um dos itens mais importantes na determinação do preço de frete, e também no nível de poluição emitido que depende do consumo e combustíveis fósseis;

- **Redução da poluição ambiental**, é muito importante porque elimina os efeitos negativos causados ao meio ambiente e as comunidades pelo sistema de transporte.

- **Flexibilidade**, neste estudo, é definida como sendo a facilidade que um veículo tem para se locomover, desempenhando suas tarefas com mais liberdade.

- **Confiabilidade** - Refere-se à qualidade de realizar o transporte dentro do prazo e das condições previamente estabelecidas, preservando a integridade da carga.

#### **4.2 - APLICAÇÃO DO MÉTODO TODIM**

O primeiro passo foi a formação da matriz de utilidades parciais elaborada a partir do consenso dos grupos de interesse que atribuíram valores para os critérios e alternativas através de uma escala absoluta de (0 a 9) dependendo da importância do critério em relação as alternativas adotadas.

Em seguida foi feita a normalização da matriz de utilidades parciais dividindo-se cada valor da coluna pelo maior valor, considera o maior valor igual a unidade para evitar a reversão de ordem.

O segundo passo foi a formação da matriz de comparação por pares entre critérios, formada a partir de valores atribuídos pelos representantes dos grupos de interesse.

Para aplicação deste método foram atribuídos pesos para os critérios e alternativas utilizadas neste estudo, foram convidados os técnicos da Secretaria do Meio ambiente de Campina Grande e representantes dos usuários, operadores e especialistas em transporte.

Comparando a importância de um critério em relação a outro critério, por exemplo a importância do critério 1) a redução do consumo energético, em relação à confiabilidade recebeu o valor 6, indicando a forte importância do primeiro sobre o segundo. Só é necessário atribuir valores ao triângulo superior uma vez que o triângulo inferior é seu inverso matemático.

Também é verificado o grau de inconsistência das matrizes. O grau de inconsistência tolerável é de 10%.

#### **Determinação da Inconsistência das Matrizes**

Para se determinar a  $\lambda_{max}$  multiplica-se a matriz de comparações pelo vetor de prioridades relativas para encontrar-se um novo vetor, então, divide-se o primeiro elemento deste vetor pelo primeiro elemento do vetor da solução estimada, o segundo pelo segundo, o terceiro pelo terceiro e assim por diante, até se construir um outro vetor.

Em seguida, divide-se a soma de seus componentes pelo número de elementos do mesmo, determinando-se desta forma, o valor do  $\lambda_{max}$ .

De posse do  $\lambda_{max}$  determina-se o índice de consistência através da seguinte expressão:

$$I_c = \frac{(\lambda_{max} - n)}{n-1}$$

$$e R_c = \frac{IC}{IR}$$

onde: n é a ordem da matriz

$R_c$  é a razão de consistência

$I_c$  é o índice de consistência

IR é o índice de consistência médio de uma matriz.

Os valores médios de IR para  $n = 1, \dots, 11$ . estão relacionados abaixo:

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
IR	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,51	1,59

A matriz terá uma inconsistência admissível se a razão de consistência  $R_c$  for menor que 0,1.

O passo seguinte é a normalização da matriz de comparação por pares, também se faz o somatório das linhas horizontais já normalizadas para determinar-se o critério de referência que será o de maior valor, que servirá para elaborar a matriz de dominância.

A matriz de dominância é elaborada através da função de utilidade linear aditiva.

$$\delta(i,j) = \sum_{c=1}^m [a_{rc} (W_{ic} - W_{jc})]$$

Em seguida é feita a ordenação das matrizes.

A seguir serão apresentados os critérios e alternativas utilizados neste estudo:

Critérios usados na avaliação do sistema de transporte de carga inter-regional do Brasil:

1. Redução dos custos de transporte
2. Redução do consumo energético
3. Redução da poluição ambiental
4. Confiabilidade
5. Flexibilidade

Alternativas utilizadas na avaliação do sistema de transporte de carga inter-regional do Brasil são:

alternativa A - Rodovia

alternativa B - Ferrovia

alternativa C - Hidrovia

A seguir, apresentam-se os grupos de interesse envolvidos no sistema, bem como os interesses de cada grupo:

Operadores  $\left[ \begin{array}{l} \text{a u m e n t o d o s l u c r o s} \\ \text{r e d u ç ã o d a s d e s p e s a s} \end{array} \right]$

Usuário [ redução do frete  
flexibilidade  
confiabilidade ]

governo [ redução dos impactos ambientais  
redução do consumo energético  
redução do custo de transporte  
facilidade de implantação ]

comunidade [ redução dos impactos ambientais  
redução dos preços de bens de consumo  
confiabilidade ]

A seguir serão apresentadas as matrizes de utilidades parciais das alternativas x critérios; critérios x critérios, bem como as respectivas matrizes de utilidades parciais normalizadas.

TABELA IV.1 - Matriz de Utilidades Parciais

Alternativas	Critérios				
	1	2	3	4	5
A	6	6	5	6	9
B	9	8	7	8	7
C	7	7	8	7	5
Valor máximo em cada coluna	9	8	8	8	9

Os valores máximos na última linhas da Tabela IV.1, indicam que a alternativa "Ferrovia" é o mais desejado quando considerar os critérios "redução dos custos de transporte", redução do consumo energético, e a confiabilidade; enquanto que a alternativa C "hidrovia" atribui-se a maior utilidade para "confiabilidade", e a alternativa A "rodovia" foi considerada aquela de maior flexibilidade.

TABELA IV.2 - Matriz de Utilidade Parciais Normalizada

Alternativas	Critérios						Prioridade relativa
	1	2	3	4	5	$\Sigma$	
A	0,5	0,7	0,6	0,7	1,0	3,5	0,296
B	1,0	1,0	0,8	1,0	0,7	4,5	0,382
C	0,7	0,8	1,0	0,8	0,5	3,8	0,322
$\Sigma$	-	-	-	-	-	11,8	-

TABELA IV.3 - Matriz de Comparação por Pares dos Critérios

		CRITÉRIOS				
		1	2	3	4	5
CRITÉRIOS	1	1,0	0,25	0,33	3,0	3,0
	2	4,0	1,0	5,0	6,0	5,0
	3	3,0	0,20	1,0	4,0	6,0
	4	0,33	0,16	0,25	1,0	3,0
	5	0,33	0,20	0,16	0,33	1,0
	$\Sigma$	8,66	1,81	6,74	14,33	18,0



TABELA IV.4 - Matriz de Comparação por Pares dos Critérios Normalizada

CRITÉRIOS	CRITÉRIOS					$\Sigma$	Prioridade relativa
	1	2	3	4	5		
	0,11	0,13	0,05	0,20	0,16	0,65	0,13
	0,46	0,55	0,74	0,42	0,27	2,44	0,48
	0,34	0,11	0,15	0,27	0,33	1,20	0,24
	0,04	0,08	0,15	0,07	0,16	0,50	0,10
	0,04	0,11	0,02	0,02	0,05	0,24	0,05
$\Sigma$						5,03	

$$\lambda_{\max} = 5,40 \quad I_c = 0,10 \quad R_c = 0,089$$

A tabela IV.2 apresenta a matriz de utilidades parciais normalizada, onde o maior valor de cada coluna é igual a 1 na última coluna aparece a prioridade relativa de cada alternativa, indicando que a alternativa B, ferrovia fica com a maior prioridade 0,38, a alternativa C hidrovias com a segunda 0,322.

A tabela IV.3 representa a comparação de um critério em relação a outro critério, indica que o critério 2 redução do consumo energético obteve os maiores valores quando comparado com os outros critérios.

A tabela IV.4 o somatório das linhas horizontais indica que o critério 2 redução do consumo energético foi escolhido o critério de maior importância 2,44, sendo o critério de referência com a maior prioridade relativa 0,48. O critério 3 redução da poluição ambiental ficou com o segundo lugar 0,24 e o critério 1 redução dos custos de transporte obteve 0,13.

A tabela IV.5 representa a matriz de dominância de uma alternativa em relação a alternativa, indicando que a alternativa B ferrovia é a mais importante porque é toda

positiva em segundo lugar aparece a alternativa C hidrovía e em terceiro lugar rodovia.

A tabela IV.6 apresenta a ordenação das alternativas, como a alternativa ferroviária obteve maior valor fica em primeiro lugar na preferência, a alternativa hidrovía recebe o segundo lugar na preferência e rodovia fica com o terceiro lugar na preferência.

TABELA IV.5 - Matriz de Dominância

ALTERNATIVAS	A	B	C
A	0,000	-0,588	-0,203
B	0,588	0,000	0,238
C	0,203	-0,238	0,000

TABELA IV.6 - Ordenação das Alternativas

ALTERNATIVAS	TOTAL	%	ORDENAÇÃO
1) rodovia	-0,791	0,00	3
2) ferroviária	+0,826	100,00	1
3) hidrovía	-0,035	46,78	2

A alternativa ferroviária fica com 100% no cálculo da utilidade total, obtendo o primeiro lugar nas preferências.

### 4.3 - APLICAÇÃO DA TEORIA DE GRAFOS

Para aplicação deste método o primeiro passo foi a definição do sistema ou malha a ser avaliado, no caso em estudo "o sistema de transporte inter-regional de carga no Brasil", este foi dividido em 32 pontos (ou nós) ligados entre si por um conjunto de arcos. Sendo que os nós correspondem aos maiores centros industriais, regionais e comerciais e os arcos correspondem as rotas de transporte mais utilizadas na transferência de cargas inter-regional através das três modalidades rodoviária, ferroviária e hidroviária.

Em seguida se determinou a matriz de distância sendo que esta é quadrada e simétrica. Elaborou-se, ainda, as matrizes de custo, produção, capacidade, demanda de produtos agrícolas e minério de ferro de Minas Gerais e Pará.

Estes dados foram introduzidos no programa desenvolvido por Fulkerson com a finalidade de determinar: o fluxo ótimo em cada arco, os custos de oportunidade de cada arco o percentual de utilização por cada modalidade e o custo de operação do sistema.

Para aplicação do método são necessários os seguintes dados de entrada:

- 1) a produção de cada centro produtor (ton/ano);

- 2) a desutilidade relativa nas várias modalidades em cada arco da rede (R\$/ton);
- 3) a capacidade de cada arco da rede para cada modalidade de transporte (ton/ano);
- 4) o volume demandado em cada centro consumidor (ton/ano).

Como dados de saída são obtidos:

- 1) fluxos otimizados em cada arco;
- 2) custo de oportunidade em cada arco;
- 3) percentual de utilização da capacidade de cada arco;
- 4) número de Kilter para cada arco;
- 5) custo total de operação do sistema.

Neste trabalho foram obtidos os seguintes dados de entrada do programa: produção, custo de transporte, demanda dos produtos através das três modalidades rodovias, ferrovias e hidrovias que compõe o sistema de transporte de carga inter-regional do Brasil, sendo a produção referente aos anos de 1992 e 1993 e a demanda também dos mesmos anos. Na parcela do custo não foi incluído apenas o frete mas no cálculo deste entrou o valor das desutilidades do sistema obtidos através do método TODIM, por atribuição de pesos feitos por consenso entre especialistas em transporte e representantes dos grupos de interesse, sendo que para cada modalidade se obteve um coeficiente que foi multiplicado posteriormente pelo frete naquele trecho, representativo da desutilidade do mesmo.

#### 4.4 - ESTUDO DE CASO: SISTEMA DE TRANSPORTE DE CARGA INTER-REGIONAL DO BRASIL

O transporte como uma atividade meio é de grande importância para o desenvolvimento de uma nação. Atualmente o sistema de transportes de carga no Brasil enfrenta sérias dificuldades para escoar a grande produção, principalmente dos produtos agrícolas do interior do país. Este sistema é composto por uma extensa malha viária de rodovias, ferrovias, hidrovias, dutovias e aerovias. No entanto, sofre várias distorções na área de planejamento, operação e manutenção.

Neste sistema a maioria dos produtos é transportada por rodovia mesmo nas distâncias relativamente mais longas, onde as modalidades ferroviária e hidroviária apresentam uma maior economia no consumo de combustíveis e conseqüentemente no custo de transporte por estas modalidades. Esta diminuição do custo de transporte é de grande valia para a maior parte da população que percebe menos de um salário mínimo, isto é cerca de 40% da população de acordo com dados do IBGE (1990).

O menor custo de transporte acarreta menor custo dos produtos e os bens de consumo favorecendo principalmente as camadas de menor poder aquisitivo. No entanto, nos últimos anos o setor rodoviário tem recebido mais incentivo em detrimento das outras modalidades, acarretando uma

concorrência prejudicial para as modalidades ferroviária, hidroviária e cabotagem que não conseguem competir em pé de igualdade com o transporte rodoviário devido à sua alta flexibilidade e rapidez perdendo grande quantidade de cargas para esta modalidade.

Sabe-se que a maioria dos combustíveis (gasolina e óleo diesel) são consumidos pelo setor rodoviário, e que grande parte do petróleo consumido no Brasil é proveniente de outros países consumindo grande parte de nossas divisas, vale mencionar, ainda, que as modalidades que tem menor dispêndio energético, também emitem menor quantidade de poluentes como: monóxido de carbono e hidrocarbonetos.

Neste estudo pretende-se avaliar o sistema de transporte de carga no Brasil, e propor melhorias no sistema como um todo. Os principais objetivos dos diferentes grupos considerados neste estudo são: redução do consumo energético, redução nos custos de transporte, redução da poluição ambiental, bem como confiabilidade e flexibilidade. Baseado nestes objetivos, pretende-se encontrar as melhores alternativas para o transporte de cargas no Brasil, aquelas que causam menor nível de poluição, e que sejam mais econômicas e seguras.

#### 4.5 - DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo foi definida de acordo com a demanda por transporte de cargas, os maiores centros industriais, comerciais, regionais, grande portos importadores e exportadores de cargas, interligando as diversas regiões do país.

Neste estudo verifica-se que de acordo com a região há um predomínio de determinada modalidade de transporte, na região Norte há um predomínio da navegação fluvial no transporte de cargas em consequência das condições climáticas da região, devido à dificuldade em se penetrar nas enormes florestas através de outras modalidades e sendo através do transporte aéreo muito dispendioso economicamente. Nas outras regiões há predomínio da rodovia, e no Sul e Sudeste onde aparecem os maiores volumes de carga, onde há mais equilíbrio entre as modalidades, e maior investimentos em todas as modalidades, ocorrem os maiores problemas de armazenagem de produtos, congestionamentos de caminhões, trens, navios e aviões, e a espera para descarregar e carregar com os diversos produtos. No Nordeste há predomínio da rodovia aparecendo também algumas ferrovias, poucas hidrovias interiores e alguns portos bastante movimentados. Apresentam-

se a seguir os principais componentes do sistema de transporte de carga no Brasil.

#### **4.6 - MODALIDADES UTILIZADAS**

**Rodovias** - O transporte rodoviário no Brasil teve início na década de 40 em âmbito estadual e municipal. Somente a partir de 1950 com a implantação da indústria automobilística e outros fatores como a expansão das fronteiras agrícolas, é que deu-se início aos grandes investimentos no setor rodoviário com a construção de rodovias paralelas ao litoral ligando as principais capitais e outras penetrando em direção ao interior e absorvendo cargas anteriormente transpostas pelas modalidades ferrovia e de cabotagem fazendo uma concorrência prejudicial a estas modalidades, que devido à alta flexibilidade das rodovias não conseguiram concorrer igualmente com estas, perdendo grandes volumes de cargas. Com o desenvolvimento do setor rodoviário surgiram grandes rodovias interligando todas as regiões do país. O consumo de combustíveis teve um grande crescimento gerando um mecanismo inflacionário uma vez que os custos de manutenção das rodovias não são cobertos pelos impostos. Atualmente o setor rodoviário está bastante carente de recursos para fazer a manutenção das rodovias que se encontram em precário estado



de conservação necessitando de cerca de 864,06 milhões de dólares para estes serviços. Atualmente o país conta com 136.647 Km de estradas pavimentadas e 1.348.058 km de estradas não pavimentadas. (GEIPOT, 1994).

**Ferrovias** - o sistema ferroviário brasileiro teve início em 1854 com a inauguração da 1ª estrada de ferro no Brasil, sendo este meio de transporte um dos mais importantes para o desenvolvimento econômico do país, por ser considerado uma das modalidades mais econômicas e seguras no transporte de cargas, principalmente para médias e longas distâncias, obtendo um bom rendimento em termos de tonelada por quilômetro por litro de óleo diesel consumido no transporte de cargas, só perdendo para o transporte marítimo. Esta modalidade de transporte ao longo dos anos vem perdendo grandes volumes de cargas para o transporte rodoviário. Atualmente o transporte ferroviário enfrenta muitos problemas devido a falta de manutenção das vias, alguns trechos deficientes em termos de capacidade das vias, gerando prejuízos e pela falta de investimento no setor.

Mas o crescimento do transporte rodoviário é um fenômeno mundial principalmente no Brasil, sabendo-se que o modal rodoviário é responsável pelo consumo da maior parte dos combustíveis no país, o óleo diesel foi o que teve maior aumento como apresenta o gráfico IV.1. Segundo o Anuário

Estatístico do Brasil de 1990, grande parte do petróleo aqui consumido é importado, tornando o país dependente em termos energéticos como mostra a Tabela IV.7.

GRÁFICO IV.1 - CONSUMO ENERGÉTICO NOS TRANSPORTES

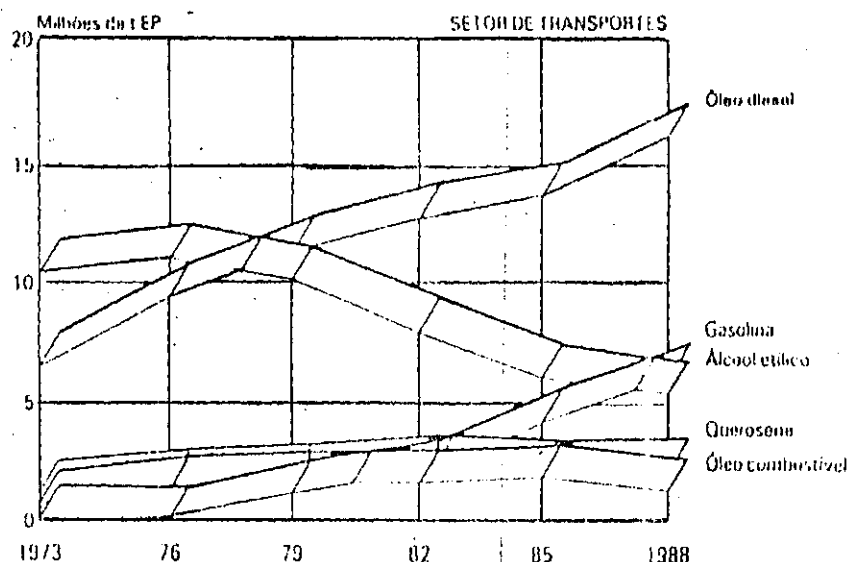


TABELA IV.7 - PETRÓLEO BRUTO E LÍQUIDO DE GÁS NATURAL PROCESSADOS, POR ORIGEM - 1979-88

ANOS	PETRÓLEO BRUTO PROCESSADO (m <sup>3</sup> )			LÍQUIDO DE GÁS NATURAL PROCESSADO (m <sup>3</sup> )
	TOTAL	ORIGEM		
		NACIONAL	IMPORTADO	
1979	64.616.813	9.113.211	55.503.602	326.787
1980	63.158.492	10.210.851	52.947.631	331.754
1981	61.012.045	10.963.249	50.048.796	252.543
1982	60.429.194	13.295.507	47.133.687	250.564
1983	58.899.519	18.194.814	40.605.505	296.864
1984	62.843.495	25.756.224	37.087.271	465.735
1985	63.265.603	31.204.622	32.060.981	647.031
1986	67.033.937	33.119.440	33.914.497	623.165
1987	68.581.528	32.695.662	35.885.866	695.877
1988	68.948.056	31.867.310	37.080.746	600.081

FONTE: Ministério da Infra-Estrutura, Secretaria Nacional de Energia, Departamento Nacional de Combustíveis, Coordenadoria de Planejamento.

Atualmente o país possui 29.883 quilômetros de ferrovias, dos quais 2.149 quilômetros são eletrificados. Esta malha ferroviária pertence em sua maioria a Rede Ferroviária Federal S.A. (RFFSA), a ferrovia Paulista (FEPASA), a Estrada de ferro Vitória - Minas e a Ferrovia de Carajás. Destas apenas a estrada de ferro Vitória - Minas, a ferrovia de Carajás, alguns trechos da FEPASA e outros da RFFSA são rentáveis e bem aparelhados para o transporte de cargas no Brasil.

**Hidroviias** - No Brasil o transporte marítimo de cabotagem é realizado através de toda costa, transportando grande quantidade de produtos, fazendo a ligação entre os vários portos, apesar do sistema não estar bem aparelhado apresentando muita deficiência comprometendo todo o trabalho e perdendo grande parcela de produtos para outras modalidades, embora seja a modalidade que apresenta melhor desempenho em termos de consumo energético e eficiência, os estudos revelam que o sistema necessita urgentemente de grandes investimentos tais como: construção de armazens, dragagem de portos, aquisição de guindastes e modernização de todo o sistema.

A rede de hidroviias existente no Brasil é bastante significativa principalmente na região Norte onde é a modalidade mais utilizada possuindo grande número de vias

navegáveis que faz a ligação entre grandes distâncias unindo as cidades e vilas de toda a região, transportando os produtos necessários ao abastecimento das comunidades.

Certas vias navegáveis como é o caso do Tietê - Paraná exige investimentos para que possam ser utilizados de maneira mais eficiente no transporte de cargas.

O Nordeste possui alguns rios que podem ser aproveitados para a navegação como: o rio São Francisco, o Parnaíba e outros que se bem aproveitados serão muito úteis para o transporte de cargas.

**Dutovias** - A rede dutoviária no Brasil está fazendo um trabalho bastante eficiente no transporte de cargas, especificamente os derivados de petróleo e alguns minérios, nas regiões Sudeste, Sul e parte do Nordeste onde existe uma considerável malha de oleodutos, gasodutos e mineradutos transportando vários produtos com muita segurança, contudo o setor necessita de investimentos para ser ampliado porque é de vital importância para o desenvolvimento do país, já que é um meio de transporte que fica abaixo da superfície não causando congestionamento no trânsito, não gera poluição sendo bastante confiável, esta modalidade atualmente é responsável pelo transporte de 4,6% das cargas do Brasil e a tendência é aumentar sua participação.

**Transporte Aéreo** - O Brasil conta com grandes aeroportos bem aparelhados e bastante movimentados em todas as regiões do país. Em relação ao transporte de cargas a modalidade aérea é muito eficiente, sendo a mais rápida fazendo o transporte a grandes distâncias e regiões de difícil acesso. Esta modalidade de transporte é a mais indicada para transportar produtos de alto valor agregado e bens mais sofisticados, esperando-se que esta modalidade tenha um aumento significativo no transporte de cargas com a utilização de aviões com maior capacidade de carga, esta modalidade representa atualmente 0,3% do transporte de carga no Brasil como mostra a Tabela IV.8.

TABELA IV.8 - COMPOSIÇÃO PERCENTUAL DAS MODALIDADES DE TRANSPORTE

MODO DE TRANSPORTE	COMPOSIÇÃO PERCENTUAL				
	1958	1987	1988	1989	1990
Aéreo	0,4	0,3	0,3	0,3	0,4
Dutoviário	4,2	3,9	3,7	3,6	4,0
Ferroviano	22,4	21,0	22,5	23,0	26,4
Hidroviário	17,5	19,7	17,0	15,9	14,6
Rodoviário	55,5	55,1	56,5	57,2	65,6
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

**FONTE:** Anuário Estatístico dos Transportes - 1990/91, GEIPOT - Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes, Ministério dos Transportes.

Neste estudo, faz-se uma avaliação do sistema inter-regional de transporte de carga no Brasil, pelas modalidades rodoviário, ferroviário e hidroviário. À medida do possível, os interesses de diferentes grupos envolvidos foram levados em consideração.

## CAPÍTULO V

### ANÁLISE DOS RESULTADOS

#### 5.1 - INTRODUÇÃO

Apresenta-se a seguir, os resultados obtidos apartir da aplicação da metodologia, inicialmente determinou-se o sistema representativo dos meios de transportes de carga inter-regional do Brasil, composto pelas seguintes modalidades: rodovias, ferrovias e hidrovias interiores e marítimas. Em seguida foram fornecidos os dados referentes a produção agrícola de 1992/93, e a produção de minério de ferro de Carajás e Minas Gerais. Também foram fornecidas as demandas destes produtos em 1992 e 1993. A tarifa nas três modalidades foi retirada da revista "Carga e Transportes" de 1994 em cruzeiros reais e transformada em reais, estando a tabela para o cálculo tarifário em anexo.

O sistema escolhido para estudo é composto por 320 arcos e 141 nós, abrangendo as principais rotas de transporte inter-regional de carga do Brasil.

Foi determinada a capacidade máxima em todos os arcos, para cada modalidade de transporte. Os dados referentes à produção agrícola, demanda de produtos através de modalidades,

capacidade das modalidades foram obtidos do "Anuário Estatístico do Brasil" de 1994, capítulo V.

Foram realizadas várias implementações expostas a seguir para análise da metodologia com o objetivo de verificar a viabilidade deste estudo em planejamento de transporte de cargas no Brasil.

Inicialmente, avaliou-se o sistema de transporte de carga inter-regional de carga do Brasil, considerando apenas os fretes relativos as modalidades de transporte, a tabela V.1 mostra os resultados obtidos neste experimento.

Numa outra aplicação, avaliou-se o sistema de transporte de carga inter-regional do Brasil, onde foram levados em consideração as desutilidades do sistema como: consumo energético, custo de transporte, poluição ambiental, confiabilidade e flexibilidade, que entram no cálculo do custo por meio de avaliação feita através da atribuição de pesos para estas desutilidades, por representantes dos grupos de interesse envolvidos no sistema. A tabela V.2 apresenta os resultados obtidos a partir da aplicação da metodologia.

Finalmente, se fez uma aplicação aumentando-se a produção agrícola da região Norte em 70 milhões de toneladas para análise dos resultados, a tabela V.3 mostra os resultados obtidos.



O custo de oportunidade negativo indica que deve-se aumentar o fluxo de carga por esta modalidade no referido arco, ocasionando uma diminuição no custo total do sistema. O custo de oportunidade positivo indica que se aumentar o fluxo neste arco através desta modalidade haverá um aumento no custo final do sistema, o custo de oportunidade nulo significa que não haverá variação no custo total do sistema ao se aumentar ou diminuir o fluxo naquele arco.

## **5.2 - APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS**

A seguir são apresentadas as tabelas com os resultados obtidos na aplicação da metodologia, estas mostram os arcos através de códigos representando os nós e modalidades, exemplo o nó 19 (0019R019; 0019F019; 0019A019), que representa a cidade de São Paulo, o primeiro código significa a modalidade rodoviária, o segundo se refere ao modal ferroviário e o terceiro ao transporte hidroviário, as tabelas também apresentam a capacidade, o custo de oportunidade e a percentagem de utilização de cada modalidade.

TABELA V.1 - Resultados Obtidos da Avaliação do Sistema de Transporte de Carga no Brasil.

ARCOS	CAPACIDADE (ton/ano)	CUSTO DE OPORTUNIDADE (R\$)	% DE UTILIZAÇÃO
0001A001	20	0	15,0
0002R002	236	0	0,0
0002A002	20	0	20,0
0003R003	236	0	0,0
0003A003	20	0	25,0
0004R004	236	0	2,5
0004A004	20	0	0,0
0005R005	236	0	3,8
0005A005	20	0	5,0
0006A006	20	0	20,0
0007R007	236	0	6,8
0007A007	20	-178	100,0
0008R008	236	0	0,0
0008F008	300	0	92,0
0008A008	26	-67	100,0
0009R009	236	0	0,0
0009F009	35	0	28,6
0009A009	396	0	9,1
0010R010	236	0	0,8
0010F010	20	-92	100,0
0011R011	236	0	0,0
0011F011	225	0	8,0
0011A011	27	-21	100,0
0012R012	236	0	0,0
0012F012	238	0	90,8
0012A012	40	-5	100,0
0013R013	236	0	0,4
0013F013	6	-93	100,0
0013A013	45	0	0,0
0014R014	236	0	0,0
0014F014	50	0	14,0
0014A014	163	0	54,6
0015R015	236	0	33,9
0015F015	25	-56	100,0
0015A015	9	0	0,0
0016R016	236	0	0,0
0016F016	479	0	26,1
0016A016	45	0	0,0
0017R017	236	0	74,2
0017F017	1595	-91	100,0
0018R018	236	0	0,0
0018F018	238	0	33,2

Continuação			
O018AO18	500	0	0,0
O019RO19	236	0	37,7
O019FO19	632	-98	100,0
O019AO19	650	-71	100,0
O020RO20	236	0	0,4
O020FO20	39	-62	100,0
O021RO21	236	0	5,9
O021FO21	150	0	59,3
O022RO22	236	0	53,0
O022AO22	10	0	10,0
O023RO23	236	0	22,0
O023AO23	7	0	0,0
O024RO24	236	0	31,8
O024FO24	120	0	19,2
O024AO24	6	-428	100,0
O025RO25	236	0	8,1
O025AO25	6	-187	100,0
O026RO26	236	0	19,5
O026FO26	39	-167	100,0
O027RO27	236	0	6,4
O027AO27	40	0	70,0
O028RO28	236	0	3,8
O028AO28	35	0	17,1
O029RO29	236	0	1,3
O029FO29	7	-14	100,0
O030EO30	236	0	0,0
O030FO30	238	0	29,0
O030AO30	200	-5	100,0
O031RO31	236	0	0,0
O031FO31	238	0	3,8
O031AO31	300	0	35,0
O032RO32	236	0	0,0
O032FO32	39	0	25,6

Apresenta-se a seguir os resultados obtidos pela avaliação feita sem levar em consideração as desutilidades do sistema, nesta análise considera-se apenas o frete na parcela do custo. Os resultados desta simulação se encontram na tabela V.1, pode-se constatar que os valores dos custos de oportunidade negativo

são menores que os da outra alternativa, portanto causando mais economia, obteve-se 8 ligações ferroviárias com valores negativos e 8 hidroviários, devendo-se dar prioridade para estas modalidades de transporte na transferência de cargas, foi encontrado um custo de oportunidade de 1.680 reais. Por exemplo utilizando-se a modalidade ferrovia no nó 19 encontra-se um custo de oportunidade negativo de 124 reais e para a modalidade hidrovia 100 reais. No nó 8 que representa a região de Marabá para o modal ferroviário o custo de oportunidade é nulo e a porcentagem de utilização é de 92%.

TABELA V.2 - Resultados Obtidos da Avaliação do Sistema de Transporte de Carga no Brasil.

ARCOS	CAPACIDADE (ton/ano)	CUSTO DE OPORTUNIDADE (R\$)	% DE UTILIZAÇÃO
0001A001	20	0	15,0
0002R002	236	0	0,0
0002A002	20	0	20,0
0003R003	236	0	0,0
0003A003	20	0	25,0
0004R004	236	0	2,5
0004A004	20	0	0,0
0005R005	236	0	3,8
0005A005	20	0	5,0
0006A006	20	0	20,0
0007R007	236	0	6,8
0007A007	20	-226	100,0
0008R008	236	0	0,0
0008F008	300	0	92,0
0008A008	26	-21	100,0
0009R009	236	0	0,0
0009F009	35	0	37,1
0009A009	396	0	8,3
0010R010	236	0	0,8
0010F010	20	-89	100,0

Continuação			
0011R011	236	0	0,0
0011F011	225	0	8,0
0011A011	27	-44	100,0
0012R012	236	0	0,0
0012F012	238	0	90,8
0012A012	40	-15	100,0
0013R013	236	0	0,0
0013F013	6	-66	100,0
0013A013	45	0	2,2
0014R014	236	0	0,0
0014F014	50	0	14,0
0014A014	163	0	54,6
0015R015	263	0	33,9
0015F015	25	-92	100,0
0015A015	9	0	0,0
0016R016	236	0	0,0
0016F016	479	0	26,1
0016A016	45	0	0,0
0017R017	236	0	74,0
0017F017	1595	-117	100,0
0018R018	236	0	0,0
0018F018	238	0	33,2
0018A018	500	0	0,0
0018R019	236	0	37,7
0019F019	632	-124	100,0
0019A019	650	-100	100,0
0020R020	236	0	0,4
0020F020	39	-100	100,0
0021R021	236	0	7,6
0021F021	150	0	56,7
0022R022	236	0	53,0
0022A022	10	0	10,0
0023R023	236	0	22,0
0023A023	7	0	0,0
0024R024	236	0	31,8
0024F024	120	0	19,2
0024A024	6	-468	100,0
0025R025	236	0	8,1
0025A025	6	-262	100,0
0026R026	236	0	19,5
0026F026	39	-218	100,0
0027R027	236	0	6,4
0027A027	40	0	70,0
0028R028	236	0	3,8
0028A028	35	0	17,1
0029R029	236	0	1,3
0029F029	7	-24	100,0
0030E030	236	0	0,0

Continuação			
O030F030	238	0	29,0
O030A030	200	-16	100,0
O032R031	236	0	0,0
O031F031	238	0	3,8
O031A031	300	0	35,0
O032R032	236	0	0,0
O032F032	39	0	25,6

A seguir mostra-se os resultados obtidos na tabela V.2 onde se considera as desutilidades do sistema, nesta análise foram identificados 8 ligações ferroviárias com custo de oportunidade negativo, e 8 ligações hidroviárias, indicando que deve-se dar prioridade para estas modalidades de transporte, também foi encontrado um custo de oportunidade negativo total de 1630 reais. No nó 19 que representa a cidade de São Paulo utilizando-se a modalidade ferroviária se obteve uma economia de 98 reais para cada tonelada transportada e terá uma economia de 72 reais se for utilizada a modalidade hidroviária, sendo feita a transferência por rodovia não haverá aumento nem economia porque o custo de oportunidade apresentou valor nulo. Para o nó 17 sendo utilizada a modalidade ferroviária se obterá um lucro de 91 reais e por rodovia não haverá ganho nem perda com uma percentagem de utilização de 72%.

TABELA V.3 - Resultados Obtidos da Avaliação do Sistema de Transporte de Carga no Brasil.

ARCOS	CAPACIDADE (ton/ano)	CUSTO DE OPORTUNIDADE (R\$)	% DE UTILIZAÇÃO
O001A001	120	0	20,8
O002R002	236	0	4,2
O002A002	40	-223	100,0
O003R003	236	0	8,5
O003A003	180	-223	100,0
O004R004	236	0	11,9
O004A004	50	0	4,0
O005R005	236	0	21,2
O005A005	100	-321	100
O006A006	20	0	65,0
O007R007	236	0	63,6
O007A007	150	-354	100,0
O008R008	236	0	90,3
O008F008	300	0	21,0
O008A008	26	-211	100,0
O009R009	236	0	0,0
O009F009	35	0	0,0
O009A009	396	0	11,6
O010R010	236	0	0,8
O010F010	20	-89	100,0
O011R011	236	0	0,0
O011F011	225	0	8,0
O011A011	27	-44	100,0
O012R012	236	0	0,0
O012F012	238	0	90,8
O012A012	40	-15	100,0
O013R013	236	0	0,0
O013F013	6	-83	100,0
O013A013	45	0	2,2
O014R014	236	0	0,0
O014F014	50	0	0,0
O014A014	163	0	58,9
O015R015	263	0	33,9
O015F015	25	-92	100,0
O015A015	9	0	0,0
O016R016	236	0	0,0
O016F016	479	0	26,1
O016A016	45	0	0,0
O017R017	236	0	74,2
O017F017	1595	-117	100,0
O018R018	236	0	0,0
O018F018	238	0	33,2

Continuação			
0018A018	500	0	0,0
0018R019	236	0	37,7
0019F019	632	-124	100,0
0019A019	650	-100	100,0
0020R020	236	0	0,4
0020F020	39	-100	100,0
0021R021	236	0	12,7
0021F021	150	0	48,7
0022R022	236	0	53,4
0022A022	10	0	0,0
0023R023	236	0	22,0
0023A023	7	0	0,0
0024R024	236	0	31,8
0024F024	120	0	19,2
0024A024	6	-468	100,0
0025R025	236	0	8,1
0025A025	6	-262	100,0
0026R026	236	0	19,5
0026F026	39	-218	100,0
0027R027	236	0	6,4
0027A027	40	0	70,0
0028R028	236	0	4,2
0028A028	35	0	14,3
0029R029	236	0	1,3
0029F029	7	-24	100,0
0030E030	236	0	0,0
0030F030	238	0	29,0
0030A030	200	-16	100,0
0032R031	236	0	0,0
0031F031	238	0	3,8
0031A031	300	0	35,0
0032R032	236	0	0,0
0032F032	39	0	25,6

Finalmente se fez uma avaliação do sistema aumentando-se a produção agrícola da região Norte em 70 milhões de toneladas, os resultados desta avaliação se encontram na tabela V.3, que indicam 11 ligações hidroviárias com custo de oportunidade negativo e 7 ligações ferroviárias, os valores dos custos de oportunidade são menores que as outras alternativas, esta



análise sugere que se deve aumentar a participação do transporte hidroviário em alguns trechos da região Norte entre Boa Vista - Manaus, Porto Velho - Manaus e Marabá - Belém, com a finalidade de economizar combustíveis e obter mais lucro. Por exemplo no nó 3 que representa a região de Manaus se obteve um custo de oportunidade negativo de 223 reais, e no nó 7 que representa a cidade de Belém por hidrovia se obteve um custo de oportunidade negativo de 354 reais. Para os outros arcos os valores são iguais aos encontrados na segunda alternativa. Também se obteve um custo total de oportunidade negativo de 3.084 reais, sugerindo-se portanto que é viável investir mais recursos nas modalidades de transporte hidroviário e ferroviário, aproveitando mais o grande potencial principalmente das regiões Norte, Centro-Oeste e Sudeste. Com este estudo verifica-se que a modalidade hidroviária deve participar com 45,6, a ferroviária com 36,4 e rodoviária com 18,0%.

De acordo com os resultados obtidos pela aplicação da metodologia sugere-se um maior aproveitamento do potencial hidroviário no transporte de carga. Podendo-se ainda, aumentar os investimentos nas modalidades ferroviária e hidroviária que apresentam bom desempenho no transporte de cargas. Estas modalidades são mais eficientes e provocam menor índice de poluição ambiental, uma vez que consomem menos combustíveis

fósseis. Vale salientar que a implementação destes resultados exige um estudo mais detalhado para cada tipo de produto.

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES FINAIS

O presente trabalho mostra um estudo realizado visando a melhoria do sistema de transportes de cargas no Brasil, com a utilização de um método multicriterial de auxílio à tomada de decisão e teoria de grafos. Neste estudo foram levados em consideração fatores relevantes do sistema de transporte como consumo energético, custo de transporte, poluição ambiental, flexibilidade e confiabilidade, bem como os interesses de vários grupos do sistema de transporte de carga.

Foi utilizado o método de Tomada de Decisão Interativa e Multicritério "TODIM", que determinou quais os critérios mais importantes na avaliação de sistemas de transportes. Aqui o critério de maior prioridade foi o consumo energético com 48%, seguido pelo critério custo de transporte com 24% e poluição ambiental com 13%, sendo estas as prioridades relativas determinadas através das matrizes de utilidades parciais e de comparação por pares. Foi utilizado, ainda, o algoritmo de "Fulkerson" que possibilitou a otimização do sistema de transporte de cargas no Brasil, encontrando as alternativas mais eficientes para este tipo de transporte. O modelo

identificou as melhores rotas, sugerindo prioridades para implementação das alternativas. O custo de oportunidade negativo correspondente a cada ligação, indica que o aumento no fluxo de carga nesta ligação, levará à uma redução no custo total do sistema.

Os resultados da aplicação da metodologia proposta, sugerem que as modalidades ferroviária e hidrovia interior e marítima deveriam ter suas participações aumentadas afim de trazer maiores benefícios para o transporte de cargas e a comunidade. Os resultados indicam, ainda, que os recursos governamentais poderiam ser assim alocados ao sistema de transportes: 36,4% na modalidade ferroviária, 45,6% no modal hidroviário interior e marítimo e 18,0% no modal rodoviário.

Além do mais os trechos indicados como prioritários são os seguintes: ligação hidroviária entre Marabá - Belém, Fortaleza - Recife, Cuiabá - Corumbá - Porto Murtinho, São Simão - Guaira, Santos - Paranaguá, Benjamin Constant - Manaus e Belém - Manaus. Ainda os resultados sugerem que deve-se aumentar a participação do modal ferroviário entre Belo Horizonte - São Paulo, Belo Horizonte - Vitória, São Paulo - Bauru, Bauru - Campo Grande e Terezina - São Luís. Portanto para que haja mais economia nos custos de transporte, consumo energético e conseqüentemente uma diminuição no preço final dos produtos, é necessário investir nas modalidades de transporte mais

eficientes que permitem fazer o transporte a grandes distâncias, e grandes quantidades. Portanto, os modais ferroviário e hidroviário devem aumentar sua participação no transporte de granéis sólidos e líquidos (minérios, cimento, grãos, sal, açúcar, carvão, derivados de petróleo, álcool, e outros). O modal rodoviário devido às suas características, rapidez, flexibilidade, e transporte porta-a-porta, é o mais viável para transportar pequenos e médios volumes a pequenas e médias distâncias.

Em termos de poluição ambiental os modais ferroviário e hidroviário também são ainda mais eficientes que o modal rodoviário, pelo fato de consumir menos combustíveis fósseis.

Pode-se concluir através dos resultados obtidos a partir da aplicação da metodologia proposta, que deve-se dar prioridade ao transporte de cargas pelas modalidades ferroviária e hidroviária com o aproveitamento de mais hidrovias no interior do país, melhorando as condições de navegabilidade, construindo mais portos, pontos de transbordo, e modernizando os portos existentes.

Na modalidade ferroviária deve-se melhorar o traçado, recuperar trechos deficientes, construir mais armazens e pátios. No Nordeste é muito importante a construção do arco ferroviário nordestino fazendo a ligação entre Cratêus - Piquet Carneiro e Missão Velha - Petrolina, que irá reduzir as

distâncias entre muitas cidades diminuindo os custos de transportes.

Atualmente o governo está empenhado na privatização do sistema de transportes, passando os portos, ferrovias e alguns trechos rodoviários para a iniciativa privada, afim de que sejam feitos mais investimentos neste setor com intuito de recuperar a malha ferroviária, rodoviária e o sistema portuário, bem como uma administração mais eficiente.

Para trabalhos futuros fica como sugestão a aplicação desta metodologia no transporte de cargas, para sistemas com maior número de ligações e usando-se mais critérios para avaliação do sistema.

## B I B L I O G R A F I A

1. ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL, Secretaria de Planejamento da Presidência da República, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 1990.
2. ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL, Secretaria de Planejamento da Presidência da República, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 1994.
3. BELLIA, Victor. Introdução à Economia do Meio Ambiente, 1993.
4. BELLIA, Victor - BIDONE, Edison D. Rodovias Recursos Naturais e Meio Ambiente. Eduff - Editora Universitária Universidade Federal Fluminense. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - DNER, 1993.
5. BARCELOS, Philipe Pereira. Impactos Ambientais da Indústria do Petróleo da Produção ao Consumo Final. COPPE, 1986.
6. BARAT, Josef. A Evolução dos Transportes no Brasil, 1978.
7. DENATRAN/MJ. Departamento Nacional de Trânsito do Ministério da Justiça. Tráfego e Meio Ambiente. Coordenação de Programas de Pós-Graduação de Engenharia. Universidade Federal do Rio de Janeiro. COPPE/UFRJ. Janeiro 1980.
8. BARROS. Valéria de Castro Costa. Transporte do Açúcar Cristal na Região Nordeste (Tese de Mestrado). 1990.

9. DANTAS, José Livio (Tradução) Energia Nuclear Problemas e Opções. Relatório do Grupo de Estudo da Política de Energia Nuclear (E.U.A). Editora Cultrix, São Paulo.
10. EDITORA ABRIL. Guia Rodoviário do Brasil, 4 Rodas, Ano XX.
11. GEIPOT. Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes. Ministério dos Transportes. Anuário Estatístico dos Transportes 1990/91.
12. GEIPOT. Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes. Ministério dos Transportes. Coleção Anuário Estatístico dos Transportes 1966/85.
13. HUTCHINSON, B. J., Princípios de Planejamento dos Sistemas de Transporte Urbano, Editora Guanabara Dois, 1979.
14. LIRA, André Agra Gomes de. Uma Abordagem Multicriterial dos Acidentes de trânsito no Brasil, Tese de Mestrado, 1993.
15. MELO, José Milton Castelo Brando de. Uma Análise do Sistema Ferroviário do Nordeste, Tese de Mestrado - Agosto de 1992.
16. MELLO, José Carcos, et. all. Revista dos Transportes Públicos - ANTP, Publicação da Associação Nacional dos Transportes Públicos, Ano 11. Setembro 1989.
17. MOTTA, José Paes Leme da. et all. Transportes. volume 1, nº 1 junho 1993. Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes.
18. MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. Programa de Desenvolvimento do Setor de Transportes (PRODESTE), 1990-93.



19. NEVES, Patrícia Bittencourt Tavares das. Método Multiobjetivo de Estacionamento. Estudo de Caso: Campina Grande. (Tese de Mestrado), agosto de 1991.
20. NOVAES, Antonio Galvão. Análise do Setor de Transportes de Carga. Elaborado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, Setembro 1984.
21. RABBANI, Soheil Rahnemay. Análise de Viabilidade Econômica do Transporte de Álcool no Brasil. Tese de Doutorado. São Carlos, 1983.
22. RFFSA, Sistema Regional Nordeste. Plano Nacional de Viação, Setor Ferroviário. Esquemas das Ferrovias do PNV. Recife, maio 1974.
23. REVISTA CARGA E TRANSPORTE. 1992 - Ano VIII, nº 85. pag. 47.
24. SEMA. Secretaria Especial do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Ministério do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente. Resoluções CONAMA 1984-86.
25. SENAI-RGS. Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, Departamento Regional do Rio Grande do Sul. Transporte Rodoviário de Cargas e Produtos Perigosos, 1992.
26. SOPRAL. Avaliação do Vinhoto como Substituto do Óleo Diesel e outros usos.
27. YIN, Kin Kwei. Avaliação de Sistemas de Transportes: Aplicação das Teorias de Utilidade Multiatributiva e de gráficos. 1981.

**A N E X O S**

TABELA DE FRETES

RODOVIÁRIO									
FRETE Km	CRS/Conhecimento								FRIETE VALOR
	ATÉ 10 Kg	11 a 20 Kg	21 a 30 Kg	31 a 50 Kg	51 a 70 Kg	71 a 100 Kg	101 a 150 Kg	CRS/TON ACIMA DE 200 Kg	
01 a 50	2.871,40	2.871,40	2.871,40	2.871,40	3.417,75	4.650,00	6.975,01	46.500,00	0,30%
201 a 250	2.871,40	2.939,10	3.406,69	3.840,88	4.909,64	6.679,78	10.019,68	66.797,80	0,30%
451 a 500	2.871,40	4.128,50	4.785,31	5.395,20	6.896,48	9.382,96	14.074,44	93.829,60	0,40%
651 a 700	3.458,90	5.070,11	5.876,72	6.625,72	8.469,39	11.522,99	17.284,48	115.229,90	0,60%
851 a 1000	4.385,99	6.432,74	7.456,13	8.406,42	10.745,60	14.619,86	21.929,80	146.198,60	0,60%
1501 a 1600	6.258,89	9.179,91	10.640,12	11.996,21	15.334,29	20.862,98	31.294,48	208.629,80	0,80%
1901 a 2000	7.556,77	11.083,27	12.848,51	14.483,81	18.514,09	25.189,24	37.783,88	251.892,40	0,80%
ATÉ 3000	10.767,31	15.792,06	18.304,43	20.637,35	26.379,92	35.891,04	53.836,56	358.910,40	1,00%
ATÉ 4000	13.937,58	20.441,78	23.693,88	26.713,69	34.147,07	46.458,59	69.687,89	464.585,90	1,20%
ATÉ 5000	17.147,85	25.153,11	29.154,75	32.870,55	42.017,13	57.166,17	85.749,25	571.661,70	1,20%
ATÉ 6000	20.381,63	29.893,06	34.648,78	39.064,80	49.935,01	67.838,78	101.908,17	679.387,80	1,20%

OBS: 1) OS FRETES ACIMA NÃO INCLUEM ICMS OU ISS, QUE VARIAM DE ESTADO PARA ESTADO. 2) O FRETE VALOR INCIDE SOBRE O VALOR DA MERCADORIA CONSTANTE DA NOTA FISCAL. 3) O FRETE VALOR PARA BOA VISTA MANAUS E MACAPÁ é 2,5%. 4) PREÇOS ACIMA EXPRESSOS EM CRS/CONHECIMENTO EXCETO PARA CARGAS DE 200 KGS QUANDO PASSAM A SER CRUZEIROS/TONELADA, OU FRAÇÃO CORRESPONDENTE. OS PREÇOS DOS FRETES CAEM PARA GRANDES VOLUMES. 5) TAXA DE DESPACHO POR CONHECIMENTO = CRS 5.545,40. FONTE: NTC.

FERROVIÁRIO			
DISTÂNCIA PERCORRIDA	FRETE VAGÃO CRS/ton	DISTÂNCIA PERCORRIDA	FRETE VAGÃO CRS/ton
ATÉ 50 Km	4.674,00	ATÉ 1100 Km	29.052,00
ATÉ 100 Km	5.999,00	ATÉ 1200 Km	30.906,00
ATÉ 200 Km	8.649,00	ATÉ 1300 Km	32.760,00
ATÉ 300 Km	11.289,00	ATÉ 1400 Km	34.613,00
ATÉ 400 Km	13.949,00	ATÉ 1500 Km	36.467,00
ATÉ 500 Km	16.335,00	ATÉ 1600 Km	38.321,00
ATÉ 600 Km	18.720,00	ATÉ 1700 Km	39.650,00
ATÉ 700 Km	21.105,00	ATÉ 1800 Km	40.979,00
ATÉ 800 Km	23.491,00	ATÉ 1900 Km	42.308,00
ATÉ 900 Km	25.345,00	ATÉ 2000 Km	43.637,00
ATÉ 1000 Km	27.250,00	ATÉ 2500 Km	45.600,00

OBS: 1) PREÇOS MÉDIOS POR FAIXAS QUILOMÉTRICAS SEM INCIDÊNCIA DE ICMS O QUAL VARIA DE ESTADO PARA ESTADO, INDO DE 7% A 18%.  
2) QUANDO HÁ MUDANÇA DE ESTADO VALE O ICM DO DESTINO.  
3) A REDE FERROVIÁRIA FEDERAL COBRA TAXA DE 2% SOBRE OS FRETES GERADOS EM SUAS LINHAS.  
4) CAPACIDADE DE UM VAGÃO LOTADO = 42 TONELADAS.  
5) FONTE: FEPASA

HIDROVIÁRIO			
ORIGEM	DESTINO	PREPAID	COLLECT
SUL	SUL	688.000,00	756.800,00
CENTRO	CENTRO	688.000,00	756.800,00
NORDESTE	NORDESTE	688.000,00	756.800,00
NORTE	NORTE	688.000,00	756.800,00
SUL	MANAUS	946.000,00	1.066.400,00
CENTRO	MANAUS	946.000,00	1.066.400,00
NORDESTE	MANAUS	817.000,00	885.800,00
NORTE	MANAUS	817.000,00	885.800,00
MANAUS	NORTE	688.000,00	756.800,00
(direto)	NORDESTE	688.000,00	756.800,00
MANAUS	CENTRO	989.000,00	1.139.500,00
(C/TRANS)	CENTRO	989.000,00	1.139.500,00
MANAUS	SUL	1.290.000,00	1.440.500,00
(C/TRANS)	SUL	1.290.000,00	1.440.500,00

OBS: 1) Acima constam os preços dos fretes por container de 20 ou de 40 pés (24 ou 48 toneladas), dry, standard.  
2) Em se tratando de carga "break-bulk" (carga leve, ou carga que não enche o container, ou que nele não cabe), o frete será igual a US\$ 55,00 (prepaid) e US\$ 62,00 (collect), por tonelada.  
3) "C/TRANS": significa COM TRANSBORDO, quando a carga muda de navio.  
4) "COLLECT": frete pago no destino.  
5) "PREPAID": frete pago na origem.  
6) "DRY, STANDARD": container tipo carga seca. FONTE: ALIANÇA NAVEGAÇÃO.

AÉREO		
DE SÃO PAULO PARA:		
FORTALEZA (3.024Km)	TARIFA MÍNIMA	15.540,00
	TARIFA GERAL	
	ATÉ 25,5 Kg	3.114,50
	DE 50,6 a 300,5 Kg	2.361,48
	ACIMA DE 1000,5 Kg	1.642,86
PORTO ALEGRE (844Km)		
	TARIFA MÍNIMA	8.627,00
	TARIFA GERAL	
	ATÉ 25,5 Kg	1.531,06
	DE 50,6 a 300,5 Kg	1.202,52
	ACIMA DE 1000,5 Kg	837,37
RIO DE JANEIRO (373Km)		
	TARIFA MÍNIMA	8.627,00
	TARIFA GERAL	
	ATÉ 25,5 Kg	850,42
	DE 50,6 a 300,5 Kg	650,39
	ACIMA DE 1000,5 Kg	450,21
DE RIO DE JANEIRO PARA:		
BRASÍLIA (910Km)	TARIFA MÍNIMA	8.627,00
	TARIFA GERAL	
	ATÉ 25,5 Kg	1.647,86
	DE 50,6 a 300,5 Kg	1.250,14
	ACIMA DE 1000,5 Kg	872,40
MANAUS (2.865Km)		
	TARIFA MÍNIMA	15.540,00
	TARIFA GERAL	
	ATÉ 25,5 Kg	3.425,74
	DE 50,6 a 300,5 Kg	2.619,68
	ACIMA DE 1000,5 Kg	1.813,62
SALVADOR (1.228Km)		
	TARIFA MÍNIMA	12.074,00
	TARIFA GERAL	
	ATÉ 25,5 Kg	1.959,58
	DE 50,6 a 300,5 Kg	1.496,57
	ACIMA DE 1000,5 Kg	1.036,08
DE BRASÍLIA PARA:		
BELÉM (1.627Km)	TARIFA MÍNIMA	12.074,00
	TARIFA GERAL	
	ATÉ 25,5 Kg	2.337,24
	DE 50,6 a 300,5 Kg	1.787,30
	ACIMA DE 1000,5 Kg	1.237,35
BOA VISTA (2.525Km)		
	TARIFA MÍNIMA	15.540,00
	TARIFA GERAL	
	ATÉ 25,5 Kg	3.137,15
	DE 50,6 a 300,5 Kg	2.339,01
	ACIMA DE 1000,5 Kg	1.660,85
CAMPO GRANDE (1.405Km)		
	TARIFA MÍNIMA	8.627,00
	TARIFA GERAL	
	ATÉ 25,5 Kg	1.533,21
	DE 50,6 a 300,5 Kg	1.249,54
	ACIMA DE 1000,5 Kg	854,64
FONTE: VARIIG		