

Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

**Quantificação dos impactos econômicos e ambientais decorrentes do estado de
conservação das rodovias brasileiras**

Daniela Bacchi Bartholomeu

Tese apresentada, para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de Concentração: Economia Aplicada

Piracicaba
2006

Daniela Bacchi Bartholomeu
Bacharel em Ciências Econômicas

**Quantificação dos impactos econômicos e ambientais decorrentes do estado de conservação
das rodovias brasileiras**

Orientador:
Prof. Dr. **JOSÉ VICENTE CAIXETA FILHO**

Tese apresentada, para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de Concentração: Economia Aplicada

Piracicaba
2006

AGRADECIMENTOS

Muitas pessoas tiveram importância fundamental para a elaboração e o desenvolvimento desta Tese.

Em primeiro lugar, expresso meus sinceros agradecimentos ao Prof. Dr. José Vicente Caixeta Filho pela atenção e orientação eficaz durante todas as etapas da Pós-Graduação e, principalmente, deste estudo.

Aos professores Joaquim Bento de Souza Ferreira Filho, Sílvia Helena Galvão de Miranda, Augusto Hauber Gameiro, Suzana Kahn Ribeiro, Ricardo Silveira Martins e Mirian Rumenos Piedade Bacchi, agradeço toda a atenção dispensada à Tese, através das sugestões e recomendações durante sua elaboração.

Agradeço à Netz Engenharia, na figura do Paulo Gentil, pelo apoio no processo de coleta de dados primários e disponibilização dos mesmos.

Às transportadoras Supricel e Lubiani, que se dispuseram em fornecer alguns dados para a pesquisa.

Gostaria de agradecer também a todos os demais professores, funcionários (à Maielli, em especial) e amigos da Pós-Graduação e do Departamento de Economia, Administração e Sociologia.

Também foi essencial o apoio de minha família. Aos meus pais (Carlos Augusto e Lavínia) e irmãos (João Neto e Marcelo), minha eterna gratidão. Ao meu marido e melhor amigo, William, meus agradecimentos pela compreensão e carinho.

Agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pela bolsa concedida ao longo da realização desta pesquisa.

SUMÁRIO

RESUMO	6
ABSTRACT	7
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS	10
LISTA DE QUADROS	14
LISTA DE SIGLAS	15
1 INTRODUÇÃO	17
2 CARACTERIZAÇÃO DO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGAS	21
2.1 Caracterização da qualidade da malha rodoviária	25
2.2 A frota brasileira de caminhões	29
3 AS EMISSÕES DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO ₂) NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO BRASILEIRO DE CARGAS	32
3.1 As mudanças climáticas e o Protocolo de Quioto	32
3.2 O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL	38
3.3 O consumo de energia e as emissões de CO ₂ no Brasil	40
3.4 Cálculo das emissões de CO ₂ pelo transporte	51
4 MATERIAL E MÉTODOS	64
4.1 Levantamento de dados primários	68
4.2 Estimativa dos parâmetros econômicos e ambientais	72
4.2.1 Classificação das rotas	74
4.2.2 Cálculo dos parâmetros econômicos	76
4.2.3 Cálculo dos parâmetros ambientais	80
4.3 Valoração dos benefícios econômicos	83
4.4 Valoração dos benefícios ambientais	91
5 RESULTADOS	95
5.1 Experimento 1	95
5.1.1 Características e classificação das rotas estudadas	95
5.1.2 Dados coletados	111
5.1.3 Cálculo dos benefícios econômicos e respectivas valorações	112

5.1.4 Cálculo dos benefícios ambientais e respectivas valorações (externalidades).....	117
5.2 Experimento 2	119
5.2.1 Características e classificação das rotas estudadas.....	119
5.2.2 Dados coletados.....	126
5.2.3 Cálculo dos benefícios econômicos e respectivas valorações	128
5.2.4 Cálculo dos benefícios ambientais e respectivas valorações (externalidades).....	134
5.3 Resultados agregados (Experimento 1 + Experimento 2)	135
5.3.1 Cálculo dos benefícios econômicos e respectivas valorações	136
5.3.2 Cálculo dos benefícios ambientais e respectivas valorações (externalidades).....	139
5.4 Análise de Sensibilidade.....	140
6 CONCLUSÕES.....	149
REFERÊNCIAS	153
APÊNDICE	160
ANEXO	163

RESUMO

Quantificação dos impactos econômicos e ambientais decorrentes do estado de conservação das rodovias brasileiras

Devido à importância do modal rodoviário para a economia brasileira no que diz respeito à sua participação na matriz de transporte de cargas, à elevada participação no consumo de combustíveis fósseis (óleo diesel) e nas emissões de CO₂, esta Tese avaliou se rodovias em melhores estados de conservação implicam benefícios econômicos e ambientais. Os benefícios econômicos disseram respeito à avaliação dos seguintes parâmetros: consumo de combustível, tempo de viagem e gasto com manutenção do veículo. Já os benefícios ambientais referiram-se às reduções das externalidades negativas resultantes da diminuição nas emissões de CO₂. Foram realizadas coletas de dados primários relacionados ao desempenho observado em caminhões em rodovias com diferentes condições de infra-estrutura. Nesse sentido, foram conduzidos dois conjuntos de experimentos, envolvendo rotas e tipos diferentes de caminhões, aos quais foram acoplados computadores de bordo para auxiliar na coleta dos dados. O primeiro conjunto de experimentos envolveu quatro rotas, as quais foram percorridas por um caminhão Volvo FH12, fabricado em 2004. Num total de 48 viagens, foram observados o consumo de combustível, e o perfil das velocidades em cada trajeto. Os resultados indicaram a existência de benefícios econômicos e ambientais para as rotas em melhor estado de conservação. No segundo conjunto de experimentos, foram selecionadas duas rotas em diferentes estados de conservação., nas quais dois caminhões de fabricantes distintos (Scania R124-420 e MB 1944S) realizaram um total de 40 viagens. Nesses experimentos, também foram comparados os resultados observados em cada tipo de veículo, tendo sido possível concluir que o tipo de tecnologia apenas impactou no consumo de combustível. Finalmente, os dados dos dois conjuntos de experimentos foram agregados, a fim de estimar valores mais próximos à realidade, já que na prática, há diversos tipos de modelos e fabricantes de caminhão. Ainda assim, os resultados obtidos confirmam a existência de benefícios econômicos e ambientais resultantes de viagens em rotas com melhor infra-estrutura: há um aumento na eficiência energética em rotas melhores, implicando menor consumo de combustível e menores níveis de emissão de CO₂. A análise estatística dos resultados sugeriu que, em geral, os dados relacionados ao consumo de combustível eram significativos ao nível de significância de 5%, rejeitando a hipótese nula de que o consumo médio das rotas em piores estados de conservação é estatisticamente igual ao consumo médio observado em rotas com melhores condições. Portanto, tratou-se de indicação em favor da hipótese alternativa, de que o consumo médio observado em rotas piores é maior do que aquele em rotas melhores.

Palavras-chave: Transporte rodoviário de cargas; Benefícios econômicos; Benefícios ambientais; Emissões de CO₂

ABSTRACT

Quantifying of the economic and environmental impacts deriving from Brazilian's highways state of conservation

Due to importance of the road transportation for the Brazilian economy related to its participation in the matrix of load transport, to its high participation in the fossil fuels consumption (diesel) and in the CO₂ emissions, this study evaluated if highways in better state of conservation imply in economic and environmental benefits. The economic benefits were related to the evaluation of the following parameters: fuel consumption, duration of the trip and expenses on vehicle maintenance. The environmental benefits related to the CO₂ emissions reduction. It was collected primary data related to the performance observed in trucks on highways with different infrastructure conditions. In this aspect, it was carried out two sets of experiments, involving different routes and types of trucks, to which cutting edge computers were connect to assist the collection of the data. The first set of experiments involved four routes covered by a Volvo FH12 truck, manufactured in 2004. In a total of 48 trips, the fuel consumption, and the velocity profile in each passage were observed. The results showed the existence of economic and environmental benefits in the routes with better conservation. In the second set of experiments, two routes in different states of conservation were selected, in which two trucks from distinct manufacturers (Scania R124-420 and MB 1944S) performed a total of 40 trips. In these experiments, the results observed in each type of vehicle were compared, which allowed to conclude that the type of technology only impacted on the fuel consumption. Finally, the data of the two sets of experiments were aggregated, in order to approximate the values to the reality, once in reality there are several types of truck models and manufacturers. Still, the results confirm the existence of economic and environmental benefits deriving from trips in routes with better infrastructure: there is a gain in energy efficiency, resulting in less fuel consumption and lower levels of CO₂ emissions. The statistical analysis of the results suggested that, in general, the data related to the fuel consumption were significant to the level of significance of 5%, rejecting the null hypothesis that the average fuel consumption in the routes in worse states of conservation is statistically equal to that observed in routes in better condition. Therefore, it is indicated that the alternative hypothesis is significant that the observed average consumption in worse routes is bigger than that observed in better routes.

Keywords: Road load transportation; Economic benefits; Environmental benefits; CO₂ emissions

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução da participação dos modais no transporte de cargas no Brasil (1986-2000)	21
Figura 2 – Malha ferroviária brasileira.....	22
Figura 3 – Principais hidrovias brasileiras	23
Figura 4 – Condições da pavimentação das rodovias analisadas (gestão estatal e terceirizada)...	26
Figura 5 – Vendas internas de veículos a diesel no atacado (1960 a 2004)	29
Figura 6 – Evolução das concentrações mundiais de CO ₂	34
Figura 7 – Variações da temperatura da Terra	34
Figura 8 – Participação dos setores econômicos no consumo mundial de derivados de petróleo	41
Figura 9 - Consumo final de energia por fonte (2004).....	42
Figura 10 - Consumo final energético por setor da economia brasileira, em 2004.....	42
Figura 11 – Evolução do consumo final energético pelos modais de transporte entre 1970 e 2004 (em milhões de tep)	43
Figura 12 – Consumo final energético de derivados de petróleo, por setor da economia brasileira em 2004	44
Figura 13 – Consumo de energia do setor de transporte brasileiro (%)	45
Figura 14 – Evolução do consumo de óleo diesel pelo transporte e pelo modal rodoviário, entre 1970 e 2004 (em milhões de tep)	45
Figura 15 – Evolução da intensidade energética por setor, entre 1970 e 2004	46
Figura 16 – Emissões de CO ₂ pelos subsetores abrangidos pelo setor “energia” (1994).....	47
Figura 17 – Emissões de CO ₂ por modal de transporte (1994)	48
Figura 18 – Evolução das emissões de CO ₂ pelos modais de transporte (1990-1994)	48
Figura 19 – Definição econômica da poluição ótima	66
Figura 20 – Um aumento não marginal na oferta: a mudança no excedente do consumidor.....	67
Figura 21 – Etapas da metodologia adotada.....	68

Figura 22 – Vista frontal do computador de bordo utilizado para a coleta de dados, já instalado no caminhão	69
Figura 23 - Passos seguidos para a realização dos cálculos necessários estimar os Valores dos Benefícios Econômicos e Ambientais	73
Figura 24 – Trajeto percorrido entre Cubatão e Campinas	96
Figura 25 – Trechos da rodovia SP-348, ilustrando condição de pavimentação	97
Figura 26 – Trajeto percorrido entre Ribeirão Preto e Bauru	99
Figura 27 – Trajeto percorrido entre São Paulo e Goiânia	101
Figura 28 – Trecho da rodovia SP-322, ilustrando condição de pavimentação	103
Figura 29 – Trechos da rodovia BR-153, ilustrando condição de pavimentação	104
Figura 30 – Trechos da rodovia BR-153, ilustrando condição de pavimentação	104
Figura 31 – Trajeto percorrido entre Feira de Santana e São Paulo	106
Figura 32 – Trechos da rodovia SP-381, ilustrando condição de pavimentação	109
Figura 33 – Trecho da rodovia BR-381, ilustrando condição de pavimentação	109
Figura 34 – Trajeto percorrido entre Campo Grande e Santos	120
Figura 35 – Trechos da rodovia SP-300, ilustrando condição de pavimentação	122
Figura 36 - Trechos da rodovia SP-280, ilustrando condição de pavimentação	123
Figura 37 – Trajeto percorrido entre Rondonópolis e Campo Grande	125
Figura 38 – Figura referente à ligação 44, com as classificações dos trechos quanto às condições de conservação do pavimento	165

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estado geral das rodovias brasileiras em 2005	25
Tabela 2 - Condições da pavimentação das rodovias brasileiras em 2005.....	26
Tabela 3 – Evolução da arrecadação bruta da CIDE (2002 – 2005)	28
Tabela 4 – Frota nacional de veículos em 2003	30
Tabela 5 – Frota registrada por tipo de veículo pelos transportadores de carga	30
Tabela 6 – Consumo de energia primária e emissão de CO ₂	38
Tabela 7 - Consumo final de energia no Brasil (em milhões de toneladas equivalentes de petróleo - tep) - 1998	49
Tabela 8 - Emissões de CO ₂ dos combustíveis fósseis por setor da economia brasileira - 1998 ..	50
Tabela 9 – Consumo de diesel e emissões de CO ₂ por categoria de veículos (em 1.000 t)	50
Tabela 10 – Características dos veículos e das viagens realizadas para a coleta de dados na rota (a), (b), (c) e (d)	71
Tabela 11 – Características dos veículos e das viagens realizadas para a coleta de dados nas rotas (d) e (e) 72	
Tabela 12 - Classificação das rodovias segundo a Pesquisa Rodoviária.....	74
Tabela 13 - Classificação das rodovias adotada para esta tese.....	75
Tabela 14 - Custo (R\$/km) de um caminhão Scania 4x2 tracionando carreta de 3 eixos de acordo com a condição da rodovia – janeiro/2006	80
Tabela 15 – Classificação do pavimento/geral da rota: Cubatão a Campinas.....	98
Tabela 16 – Classificação do pavimento/geral da rota: Ribeirão Preto a Bauru	100
Tabela 17 – Classificação do pavimento/geral da rota: São Paulo a Goiânia	105
Tabela 18 – Classificação do trecho entre Feira de Santana (BA) e Governador Valadares (MG) quanto ao pavimento	108
Tabela 19 – Classificação do pavimento/geral da rota: São Paulo a Feira de Santana	110

Tabela 20 - Resultados das medições realizadas para as quatro rotas estudadas, com um caminhão Volvo FH12/2004.....	111
Tabela 21 – Análise estatística dos dados de consumo de combustível coletados (l/100 km)....	112
Tabela 22 – Resultados do teste de hipóteses para o consumo médio de combustível.....	113
Tabela 23 – Benefícios no consumo médio de combustível, em l/100km e em R\$/100 km.....	113
Tabela 24 – Análise estatística dos dados de tempo de viagem coletados (h/100 km).....	114
Tabela 25 – Resultados do teste de hipóteses para o tempo médio de viagem.....	114
Tabela 26 – Benefícios no tempo médio de viagem, em h/100 km e em R\$/100 km.....	115
Tabela 27 – Valores dos benefícios econômicos parciais e total (R\$/viagem).....	116
Tabela 28 – Valores médios de consumo específico de combustível e de emissão de CO ₂	117
Tabela 29 – Benefícios nas emissões de CO ₂ , em kg CO ₂ /t.km e em R\$/100 km.....	118
Tabela 30 – Índices de emissão por estado de conservação da rodovia.....	118
Tabela 31 – Classificação do pavimento/geral da rota: Campo Grande - Santos.....	124
Tabela 32 – Classificação do pavimento/geral da rota: Rondonópolis - Campo Grande.....	126
Tabela 33 - Resultados das medições realizadas para as duas rotas estudadas.....	128
Tabela 34 – Análise estatística dos dados de consumo de combustível coletados (l/100 km)....	129
Tabela 35 – Resultados do teste de hipóteses para o consumo médio de combustível.....	130
Tabela 36 – Benefícios no consumo médio de combustível decorrentes de rotas com diferentes condições de conservação, em l/100km e em R\$/100 km.....	130
Tabela 37 – Benefícios no consumo médio de combustível decorrentes de veículo de diferentes fabricantes, em l/100km e em R\$/100 km.....	130
Tabela 38 – Análise estatística dos dados de tempo de viagem coletados (h/100 km).....	131
Tabela 39 – Resultados do teste de hipóteses para o tempo médio de viagem.....	131
Tabela 40 – Benefícios no tempo médio de viagem, em h/100 km e em R\$/100 km.....	132
Tabela 41 – Benefícios no tempo médio de viagem decorrentes de caminhões de diferentes fabricantes, em h/100km e em R\$/100 km.....	132

Tabela 42 – Valores dos benefícios econômicos parciais e total (R\$/100 km) decorrentes de rotas com diferentes condições de conservação	133
Tabela 43 – Valores médios de consumo específico de combustível e de emissão de CO ₂	134
Tabela 44 – Benefícios nas emissões de CO ₂ , em kg CO ₂ /t.km e em R\$/100 km	135
Tabela 45 – Análise estatística dos dados de consumo de combustível coletados (l/100 km)....	136
Tabela 46 – Resultados do teste de hipóteses para o consumo médio de combustível	136
Tabela 47 – Benefícios no consumo médio de combustível decorrentes de rotas com diferentes condições de conservação, em l/100km e em R\$/100 km.....	137
Tabela 48 – Análise estatística dos dados de tempo de viagem coletados (h/100 km)	137
Tabela 49 – Resultados do teste de hipóteses para o consumo médio de combustível	137
Tabela 50 – Benefícios no tempo médio de viagem decorrentes de rotas com diferentes condições de conservação, em h/100km e em R\$/100 km.....	138
Tabela 51 – Síntese dos valores dos benefícios econômicos parciais e total (R\$/100 km) decorrentes de rotas com diferentes condições de conservação	139
Tabela 52 – Valores médios de consumo específico de combustível e de emissão de CO ₂	139
Tabela 53 – Benefícios nas emissões de CO ₂ , em R\$/100 km	140
Tabela 54 – Composição do benefício total (R\$/100 km).....	141
Tabela 55 – Valores dos benefícios totais (<i>VBT</i>) para rotas com diferentes extensões (R\$)	142
Tabela 56 – Valor do benefício decorrente de variações no preço do combustível e no tempo de viagem (R\$/100 km).....	142
Tabela 57 – Valor do benefício decorrente dos custos de manutenção do veículo (R\$/100 km)	143
Tabela 58 – Valor do benefício ambiental (R\$/100 km)	143
Tabela 59 – Variações percentuais no <i>VBT</i> decorrentes de mudanças nos valores dos parâmetros (%)	144
Tabela 60 – Composição do benefício total (R\$/100 km).....	145
Tabela 61 – Valores dos benefícios totais (<i>VBT</i>) para rotas com diferentes extensões (R\$)	145

Tabela 62 – Variações percentuais no <i>VBT</i> decorrentes de mudanças nos valores dos parâmetros (%)	146
Tabela 63 – Composição do benefício total (R\$/100 km).....	146
Tabela 64 – Valores dos benefícios totais (<i>VBT</i>) para rotas com diferentes extensões (R\$)	147
Tabela 65 – Variações percentuais no <i>VBT</i> decorrentes de mudanças nos valores dos parâmetros (%)	148

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Fator de emissão de CO ₂ para veículos a diesel	56
Quadro 2 - Comparativo entre as metodologias citadas	61
Quadro 3 - Descrição da rota Cubatão - Campinas	96
Quadro 4 - Descrição da rota Ribeirão Preto - Bauru.....	99
Quadro 5 - Descrição da rota São Paulo - Goiânia.....	102
Quadro 6 - Descrição da rota Feira de Santana - São Paulo.....	107
Quadro 7 - Descrição da rota Campo Grande - Santos.....	121
Quadro 8 - Descrição da rota Rondonópolis - Campo Grande.....	125

LISTA DE SIGLAS

ABC – Análise Benefício-Custo
AND - Autoridade Nacional Designada
BEN - Balanço Energético Nacional
CEPAL - Comissão Econômica para a América Latina
CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo
CFC - Clorofluorocarbono
CGE - Equilíbrio Geral Computável
CH₄ – Metano
CE - Conselho Executivo
CIDE - Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico
CIMGC - Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima
CIMS - Canadian Integrated Modelling System
CO - Monóxido de carbono
CO₂ - Dióxido de carbono ou gás carbônico
COP - Conferência das Partes
DCP - Documento de Concepção do Projeto
DER - Departamento de Estradas de Rodagem
DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT – Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes
EOD - Entidade Operacional Designada
GAMS - General Algebraic Modeling System
GEIPOT - Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes
GEE - Gases de Efeito Estufa
HC – Hidrocarboneto
HDM - Highway Design and Maintenance
IEA - International Energy Agency
IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change
IRI - Índice de Irregularidade
MARKAL - Modelo MARKET ALlocation

MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia

MDL - Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

MME - Ministério de Minas e Energia

N₂O - Óxido Nitroso

NC - Número de Cetano

NMVOC - Compostos Orgânicos Voláteis Não Metânicos

OCDE - Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômicos

PCI - Poder Calorífico Inferior

PCS - Poder Calorífico Superior

PP - Participantes do Projeto

PPP - Parcerias Público-Privadas

PQ - Protocolo de Quioto

RCE - Reduções Certificadas de Emissão

RNTRC - Registro Nacional do Transporte Rodoviário de Cargas

UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change

VDM - Volume Diário Médio

VDMA - Volume Diário Médio Anual

VH - Volume Horário

1 INTRODUÇÃO

A importância do modal rodoviário para a economia brasileira pode ser facilmente verificada através de sua participação predominante na matriz de transporte de cargas.

Desta maneira, apesar das características positivas intrínsecas ao modal rodoviário, tais como flexibilidade, disponibilidade e velocidade, há também uma série de limitações quando comparado aos modais alternativos: baixa produtividade e ineficiência energética, elevados níveis de emissão de poluentes atmosféricos e menores índices de segurança.

Além destas distorções, verifica-se adicionalmente, no Brasil, dois outros aspectos que contribuem negativamente para seu desempenho: a elevada idade média da frota de caminhões e uma oferta insuficiente de infra-estrutura de transporte rodoviária, tanto em termos de extensão quanto em termos de qualidade das vias.

A má conservação das rodovias não somente impacta de forma negativa a economia, como gera um processo de “anti-economia”, ou seja, o volume poupado em serviços de manutenção da qualidade no momento adequado resulta em acréscimos em gastos futuros com obras de reconstrução e em custos adicionais para os usuários das vias.

Para auxiliar na manutenção e ampliação da infra-estrutura de transportes, foi instituída, em 2001, a Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico - CIDE, incidente sobre a importação e a comercialização de combustíveis. Entretanto, apesar do volume arrecadado entre 2002 e 2005, menos de 30% foram investimentos em transporte.

Outro aspecto importante do modal rodoviário está relacionado à composição da frota. Com o estabelecimento do Registro Nacional do Transporte Rodoviário de Cargas - RNTRC, até junho de 2006 haviam sido registrados 1,5 milhões de caminhões, entre transportadoras, autônomos e cooperativas. A idade média dos caminhões das empresas é de 9,8 anos, enquanto a dos autônomos é de 19,9 anos. A idade média da frota registrada é, portanto, de 15,6 anos, considerando também os veículos das cooperativas de transporte (AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES - ANTT, 2006).

Finalmente, deve-se destacar também a elevada dependência do transporte rodoviário em relação aos combustíveis fósseis, fato que torna este modo de transporte um importante consumidor de energia e, como resultado, faz deste setor o maior emissor de CO₂ no Brasil. A partir de 1996, a totalidade dos caminhões vendidos internamente era movido a diesel.

Assim, o subsetor “transportes” foi responsável por cerca de 40% das emissões de CO₂ do setor “energia” no Brasil em 1994, de acordo com dados da Comunicação Nacional (BRASIL, 2004), sendo o modal rodoviário responsável por quase 90% deste total. Este cenário torna importante a busca por opções que resultem em diminuições no consumo de combustível fóssil pelo modal rodoviário, reduzindo, conseqüentemente, sua participação nas emissões brasileiras de CO₂ e as emissões brasileiras como um todo.

Tal necessidade se torna mais evidente com as incertezas e indefinições relacionadas após o término do primeiro período de compromisso do Protocolo de Quioto, referente aos anos de 2008 a 2012, no qual o Brasil não tem obrigação de reduzir as suas emissões de Gases de Efeito Estufa - GEE. Entretanto, após este primeiro período de compromisso, as diretrizes a serem seguidas ainda não foram definidas, inclusive quanto ao estabelecimento das metas de reduções. Há, portanto, uma possibilidade de que as metas de redução das emissões sejam estendidas a países em desenvolvimento, como o Brasil. Assim, é importante que o país desde já comece a identificar e analisar as possibilidades existentes para mitigação de suas emissões.

1.1 Objetivos

Dada a importância do modal rodoviário de cargas para a economia brasileira, a busca de alternativas que resultem em redução de custos ou melhoria na eficiência energética geram efeitos multiplicadores positivos para a economia, seja através de aumento na competitividade dos produtos brasileiros, seja através da queda na dependência de combustíveis fósseis, respectivamente. Neste sentido, esta Tese procura verificar quais os impactos do estado de conservação das rodovias tanto nos custos de transporte quanto nas emissões de CO₂. Para tanto, é avaliada a hipótese de que “rodovias em melhores estados de conservação implicam benefícios econômicos e ambientais”.

Assim sendo, o principal objetivo deste trabalho é analisar e quantificar o impacto decorrente das condições de conservação das rodovias sobre os custos privados de transporte e sobre as emissões de CO₂. Especificamente, o enfoque privado busca verificar como o estado de conservação das rodovias interfere nos custos de transporte de um motorista em particular, considerando como variáveis o consumo de combustível, o tempo de viagem e os custos de manutenção do veículo. Com relação aos impactos ambientais, será feita uma valoração dos

benefícios resultantes de uma redução das emissões de CO₂ decorrentes de uma melhoria nas condições das rodovias brasileiras.

Busca-se assim verificar se rodovias bem conservadas, de fato, resultam em menores custos de transporte (decorrentes da redução no consumo de combustível, no tempo de viagem e no custo de manutenção do caminhão) bem como em menores emissões de CO₂ (ou seja, “poupam” energia).

De forma mais detalhada, os objetivos específicos da pesquisa dizem respeito a:

- a) quantificação das emissões de CO₂ decorrentes do percurso de trajetos em diferentes condições de conservação;
- b) elaboração de um índice de emissão por estado de conservação da rodovia;
- c) quantificação dos benefícios econômicos (variação no consumo de combustível, bem como na velocidade média, no tempo de viagem e no custo de manutenção do veículo) decorrentes da melhoria da infra-estrutura rodoviária sob a ótica privada (motorista); e
- d) valoração dos benefícios ambientais referentes às possíveis reduções das emissões de CO₂.

Com isso, espera-se identificar alternativas para atingir maior eficiência econômica e energética nos transportes, auxiliando nas práticas para um transporte sustentável.

1.2 Estrutura do trabalho

Esta tese está estruturada da seguinte maneira: o capítulo 2 apresenta um panorama do transporte de cargas no Brasil, com destaque para o transporte rodoviário, enfatizando sua importância histórica, bem como os gargalos relacionados, principalmente, à elevada idade média da frota brasileira de caminhões e à situação precária geral das estradas.

No capítulo seguinte, pretende-se contextualizar a relação do setor de transporte rodoviário brasileiro com a questão das mudanças climáticas assim como as negociações internacionais que surgem a partir do Protocolo de Quioto. Desta forma, optou-se por apresentar, inicialmente, um breve histórico das negociações internacionais a respeito do aquecimento global para, em seguida, destacar a importância do setor de transporte brasileiro no consumo de combustíveis fósseis e nas emissões de CO₂.

O capítulo 4 descreve os procedimentos metodológicos propostos para o cálculo dos custos privados decorrentes da má conservação das rodovias (relacionados com: combustível, tempo e manutenção do veículo) e dos benefícios ambientais (redução da externalidade negativa/redução das emissões) decorrentes de um programa de recuperação das rodovias.

O capítulo 5 apresenta os resultados obtidos a partir de cada experimento realizado separadamente e, em seguida, de forma agregada, considerando todos os dados coletados em ambos os experimentos. Além disso, é feita uma análise de sensibilidade dos principais resultados. As principais conclusões desta tese encontram-se no capítulo 6.

2 CARACTERIZAÇÃO DO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGAS

Ao longo da década de 90, o modal rodoviário respondeu por mais de 60% do total transportado no Brasil. Em seguida, verifica-se a utilização dos modais ferroviário e hidroviário, respectivamente (vide Figura 1).

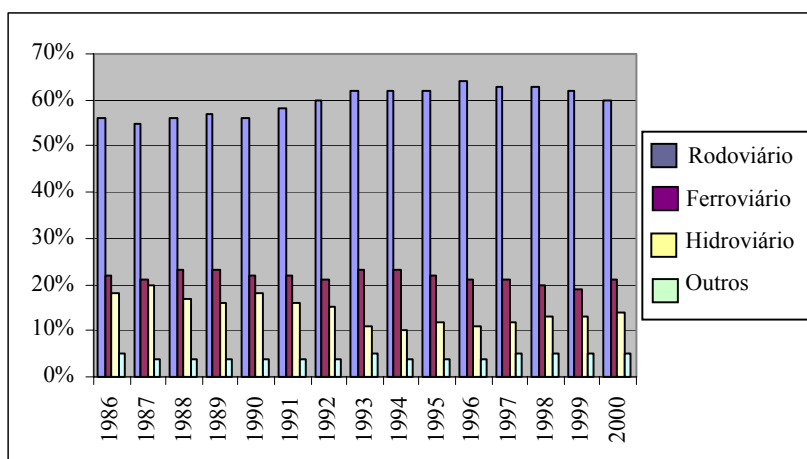


Figura 1 – Evolução da participação dos modais no transporte de cargas no Brasil (1986-2000)

Fonte: Brasil, 2001 apud USDA (2005)

Em 2004, a distribuição dos modais se manteve: o transporte rodoviário representou 61,1% da matriz de transporte nacional, movimentando 485 bilhões de toneladas por quilômetro útil - TKU; o ferroviário apresentou participação de 20,7% e o hidroviário 13,6%. Os demais modais foram responsáveis por 4,6% da matriz de transporte (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES - CNT, 2005b).

De acordo com a ANTT (2006), o modal ferroviário caracteriza-se por sua capacidade de transportar grandes volumes com elevada eficiência energética, principalmente em casos de deslocamentos a médias e grandes distâncias. Comparadas às rodovias, as ferrovias são consideradas mais seguras, apresentando menores índices de acidentes, furtos e roubos.

O sistema ferroviário brasileiro totaliza 29.706 km, concentrando-se nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste. Deste total, foram concedidos 28.840 km à iniciativa privada (ANTT, 2006). A Figura 2 apresenta a malha ferroviária nacional.

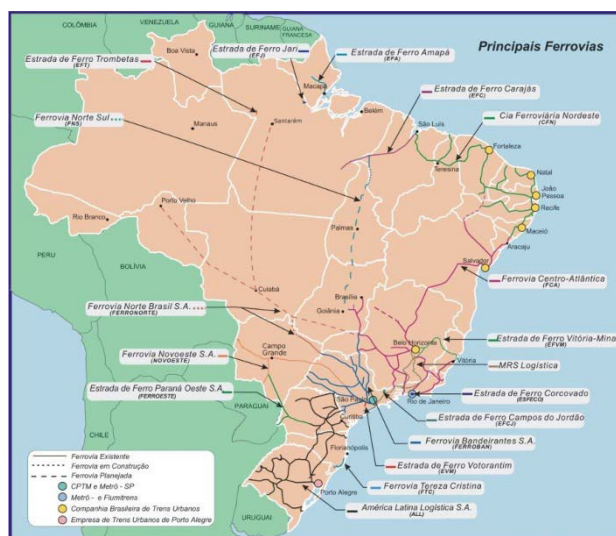


Figura 2 – Malha ferroviária brasileira

Fonte: ANTT (2006)

Pelas ferrovias brasileiras são transportados principalmente minério de ferro, soja e farelo de soja e produtos siderúrgicos. Em menores proporções, também incluem a lista: grãos, cimento, cal, adubos, fertilizantes, derivados de petróleo, calcário, carvão mineral, clínquer e contêineres. Em 2004, foram movimentadas 356 milhões de toneladas (CNT, 2005b) que, segundo a ANTT (2006), representa o maior volume transportado por ferrovias da América Latina.

Entretanto, a oferta de transporte do modal ferroviário é bastante baixa quando comparada aos padrões internacionais, correspondendo a 55% da oferta total de transporte na China, 40% no Canadá, 32% no México e 12% nos EUA (CENTRO DE ESTUDOS EM LOGÍSTICA – CEL; CNT, 2002).

O modal hidroviário, composto pelo transporte fluvial e de cabotagem, transportou em 2004 quase 399 milhões de toneladas (CNT, 2005b). Os principais tipos de carga transportados pelas hidrovias são minérios e grãos a granel. A cabotagem movimenta especialmente granéis sólidos e líquidos; há também uma pequena, mas crescente, participação de contêineres.

A Figura 3 ilustra as principais hidrovias brasileiras, as quais totalizam 42.000 km de vias navegáveis.



Figura 3 – Principais hidrovias brasileiras

Fonte: BRASIL (2006c)

São as rodovias, entretanto, as responsáveis pela maior parte do transporte de cargas no Brasil. De acordo com a CNT (2005b), em 2004 foram movimentadas aproximadamente 665 milhões de toneladas pelas rodovias.

A dependência excessiva do transporte brasileiro de cargas em relação ao modo rodoviário fica evidente quando se verifica a participação deste modal em outros países de dimensões continentais. Nos Estados Unidos, a participação das rodovias no transporte de cargas é de 26%, na Austrália é de 24%, e na China, de apenas 8% (CEL; CNT, 2002).

Como consequência desta elevada dependência, a produtividade do transporte no Brasil é equivalente a 22% da produtividade nos EUA, o consumo energético é 29% superior ao dos EUA, e a emissão de poluentes, medida em gramas de monóxido de carbono expelida por tonelada quilômetro de produção de transporte, é 2,6 vezes superior à norte-americana (CEL; CNT, 2002).

Desta maneira, apesar das características positivas intrínsecas ao modal rodoviário, tais como flexibilidade, disponibilidade e velocidade, há também uma série de limitações quando comparado aos modais alternativos: baixa produtividade e eficiência energética, elevados níveis de emissão de poluentes atmosféricos e menores índices de segurança.

Além destas distorções, verifica-se adicionalmente, no Brasil, dois outros aspectos que contribuem negativamente para seu desempenho: a elevada idade média da frota de caminhões e uma oferta insuficiente de infra-estrutura de transporte rodoviária, tanto em termos de extensão quanto em termos de qualidade das vias.

Com relação à extensão, tomando-se como base o indicador de disponibilidade, medido pela relação “quilometragem total de rodovia por espaço territorial (em km²)”, a oferta de vias de transporte no Brasil é equivalente a 69% da verificada na China, 55% do Canadá, 45% do México, e 6% dos EUA (CEL; CNT, 2002).

As condições das rodovias brasileiras e as características da frota de caminhões são apresentadas com mais detalhes nas seções 2.1 e 2.2.

A identificação dos determinantes dos custos do transporte rodoviário tem sido objeto de diversos estudos. Berger (1975), minimizando os custos de transporte para madeira de eucalipto, afirma que a distância é o fator mais importante no custo de transporte, mas também destaca outras características que podem alterar os custos, tais como: qualidade das estradas, intensidade do trânsito, densidade da produção e produto transportado.

Correa Junior (2001) procurou identificar a influência de fatores diversos para a determinação dos valores de frete praticados para o transporte de soja a granel com origem nos estados de Goiás, Mato Grosso e Paraná durante as safras de 1998 a 2000. Segundo o autor, os resultados mostraram que os valores de frete praticados no período foram influenciados por fatores como: a distância percorrida, a existência de praças de pedágio, a sazonalidade da demanda por transporte e as condições das vias utilizadas.

Dentre as conclusões mais importantes, Correa Junior (2001) observou que a elevação dos custos operacionais (como por exemplo, o preço do óleo diesel) e a implantação de novas praças de pedágio entre 1999 e 2000 podem ter desfavorecido a preferência por melhores estradas. Além disso, as condições da via parecem ser um diferencial no caso do estado do Mato Grosso.

Lima (2006) procurou estimar os custos logísticos com combustível, em termos macroeconômicos. O autor cita que em 1996 o diesel representava 16,8% do custo total de uma carreta, aumentando sua participação para 31,8% em 2004. Segundo esse mesmo estudo, cerca de 55% de todo o diesel consumido no Brasil em 2004 foram destinados ao transporte rodoviário de carga, o que equivale a 21,7 bilhões de litros e a R\$ 32,3 bilhões.

Já Sarkosy et al. (2001) verificaram que o comportamento de uma frota de veículos quanto às suas emissões de poluentes está muito mais ligado às condições impostas pelo tráfego/operação que à forma individual de se dirigir.

2.1 Caracterização da qualidade da malha rodoviária

Segundo o Boletim Estatístico (CNT, 2005b), o Brasil apresenta 1,6 milhões de quilômetros de rodovias, dos quais apenas 196 mil km (ou 12% do total) são pavimentados. Da parcela não-pavimentada (1,4 milhões de quilômetros), 90,7% são rodovias municipais, 8,3% são estaduais e 1% são federais.

Dados da Pesquisa Rodoviária (CNT, 2005a)¹ indicam que o estado geral das rodovias² apresenta-se bastante desfavorável, uma vez que 72% das rodovias analisadas apresentam algum tipo de comprometimento, sendo classificadas como “Deficiente”, “Ruim” ou “Péssimo”, conforme mostra a Tabela 1. Considerando apenas o quesito “Pavimento”, a situação melhora um pouco: 54,6% da extensão encontram-se com pavimento em estado “Deficiente”, “Ruim” ou “Péssimo” (vide Tabela 2).

Tabela 1 – Estado geral das rodovias brasileiras em 2005

Estado Geral	Extensão Total		Gestão Estatal		Gestão Terceirizada	
	km	%	km	%	km	%
Ótimo	8.993	11,0	3.723	5,2	5.270	50,2
Bom	13.922	17,0	10.354	14,5	3.568	34,0
Deficiente	26.063	31,8	24.802	34,7	1.261	12,0
Ruim	18.057	22,0	17.699	24,8	358	3,4
Péssimo	14.909	18,2	14.869	20,8	40	0,4
Total	81.944	100,0	71.447	100,0	10.497	100,0

Fonte: CNT (2005a)

¹ A décima edição da Pesquisa Rodoviária CNT analisou 100% da malha rodoviária federal pavimentada, os principais trechos sob gestão estadual, além de rodovias sob gestão terceirizada de todos os estados da federação, totalizando 81.944 quilômetros.

² No “Estado Geral” são consideradas, simultaneamente, as características do pavimento, da sinalização e da geometria viária.

Tabela 2 - Condições da pavimentação das rodovias brasileiras em 2005

Pavimento	Extensão Total		Gestão Estatal		Gestão Terceirizada	
	km	%	km	%	km	%
Ótimo	26.295	32,1	17.592	24,6	8.703	82,9
Bom	10.916	13,3	10.070	14,1	846	8,1
Deficiente	24.551	30,0	23.875	33,4	676	6,4
Ruim	14.029	17,1	13.757	19,3	272	2,6
Péssimo	6.153	7,5	6.153	8,6	-	-
Total	81.944	100,0	71.447	100,0	10.497	100,0

Fonte: CNT (2005a)

Deve-se destacar o desequilíbrio qualitativo das regiões. Na análise comparativa do estado geral das rodovias pesquisadas em 2005, o Nordeste apresenta cerca de 31,2% de sua extensão em péssimo estado geral de conservação, enquanto no Sul, este índice cai para 4,1%. Estes valores fazem do Nordeste a região detentora da malha rodoviária em piores condições de todo o país, fato que compromete seu próprio desenvolvimento e também as possibilidades de maior integração econômica com as demais regiões.

A Figura 4 traz as condições do pavimento das rodovias brasileiras sob gestão estatal (mapa da esquerda) e sob gestão privada (mapa da direita).



Figura 4 – Condições da pavimentação das rodovias analisadas (gestão estatal e terceirizada)

Fonte: CNT (2005a)

Neste sentido, o Governo Federal justificou o aumento do número das praças de pedágio, dentro do Programa de Concessão de Rodovias, como parte do esforço de redução do Custo Brasil, baseando-se

“em números levantados por um estudo dos técnicos do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) e da Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes (Geipot): uma estrada degradada representa aumento de 58% no consumo de combustíveis, de 38% nos gastos de manutenção de veículo, de 50% no índice de acidentes e de até 100% no tempo gasto nas viagens” (Revista CNT, 2001, p. 1).

O mau estado das rodovias tem impacto direto na economia. Relatórios da Comissão Econômica para a América Latina - CEPAL e do Banco Mundial estimam que ao mau estado da infra-estrutura viária na América Latina estão associados prejuízos de cerca de 2% do PIB, conforme documentado por IRF e GTZ³ (1996 apud SENNA et al., 1998).

De acordo com Lee, 1996 apud Senna et al. (1998, p. 76),

“o atraso nos investimentos necessários para minorar as carências do setor gera o processo de anti-economia, em que para cada dólar poupado em serviços de conservação em momento oportuno, resulta em um acréscimo de cerca de 3 dólares em gastos futuros com obras de reabilitação e reconstrução, e custos de operação adicionais de até 3 dólares para os usuários das vias”.

De acordo com o Boletim Estatístico (CNT, 2005b), os investimentos necessários para recuperação do pavimento da malha nacional (cerca de 55,6 mil km) totalizam R\$ 11,8 bilhões. Este valor considera os gastos necessários com obras de manutenção das rodovias em “bom” estado, de restauração de rodovias consideradas “deficientes” ou “ruins” e reconstrução de rodovias em “péssimas” condições de conservação.

Analisando pelo lado da receita do governo, a Lei nº 10.336/2001 instituiu a Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico - CIDE, incidente sobre a importação e a comercialização de petróleo e seus derivados, gás natural e seus derivados, e álcool etílico combustível, para que seus recursos fossem destinados ao:

- pagamento de subsídios a preços ou transporte de álcool combustível, de gás natural e seus derivados e de derivados de petróleo;
- financiamento de projetos ambientais relacionados com a indústria do petróleo e do gás; e
- financiamento de programas de infra-estrutura de transportes.

³ INTERNATIONAL ROAD FEDERATION – IRF; DEUTUSCHE GESELLSCHAFT FÜR TECHNISCHE ZUSAMMENARBEIT - GTZ. Concessiones en Argentina. **Reforma:** Conservação Vial, Santiago de Chile, n. 1, Jul. 1996.

Parte da arrecadação da CIDE deve ser repassada aos Estados e ao Distrito Federal, de acordo com os critérios estipulados pela Lei 10.866/2004, para ser aplicada obrigatoriamente no financiamento de infra-estrutura de transporte. Cada estado, por sua vez, deve repassar 25% do montante recebido da União para seus municípios investirem na infra-estrutura de transporte.

Segundo dados divulgados pelo Boletim Econômico (CNT, 2006), entre os anos 2002 e 2005 foram arrecadados cerca de R\$ 30 bilhões com a CIDE (uma média de R\$ 7,5 bilhões por ano). Entretanto, o investimento total acumulado em transporte até 21 de janeiro de 2006 foi de apenas R\$ 8,9 bilhões (considerando investimentos em todos os modais de transporte). A Tabela 3 apresenta a evolução da arrecadação bruta com a CIDE.

Tabela 3 – Evolução da arrecadação bruta da CIDE (2002 – 2005)

Ano	Arrecadação Bruta (bilhões de R\$)	Investimentos em transporte (bilhões de R\$)	Percentual investido em transporte pela União (%)
2002	7,24	1,75	22,4
2003	7,50	1,11	14,9
2004	7,67	1,40	18,2
2005	7,68	4,70	61,2
Total	30,10	8,96	29,8

Fonte: Secretaria da Receita Federal, 2006 apud CNT (2006)

Da totalidade da CIDE investida em 2005 (R\$ 4,7 bilhões), cerca de 86% foram destinadas ao modal rodoviário. Outras fontes de receita da União totalizaram R\$ 502,5 milhões, sendo 89% investidas na infra-estrutura rodoviária.

Verifica-se que, apesar da destinação constitucional da CIDE para investimentos na infra-estrutura de transportes, seus recursos foram essencialmente utilizados na formação do superávit primário do governo (CNT, 2006).

A seção seguinte apresenta as principais características da frota de caminhões no Brasil, destacando a sua elevada idade média e a dependência total em relação ao óleo diesel.

2.2 A frota brasileira de caminhões

A venda de veículos pesados a diesel está fortemente condicionada ao crescimento econômico e ligada aos setores produtivos primários (BRASIL, 2002b).

Ao longo das três últimas décadas, as vendas de veículos a diesel sofreram grandes variações.

“Com a implantação da indústria automobilística no Brasil, o diesel foi definido como de uso exclusivo para carga e transporte coletivo. Essa política tinha como objetivo favorecer o uso social do diesel com um preço menor por energia fornecida. Esta tendência foi acentuada após o primeiro choque de petróleo (1973), quando a participação do diesel nos veículos comerciais pesados chegou a praticamente 100%” (BRASIL, 2002b, p. 55).

A Figura 5 ilustra a evolução das vendas internas de veículos movidos a diesel no atacado, a partir de 1960. A partir de 1996, verifica-se que o diesel é o combustível que representa a totalidade dos caminhões vendidos no Brasil⁴.

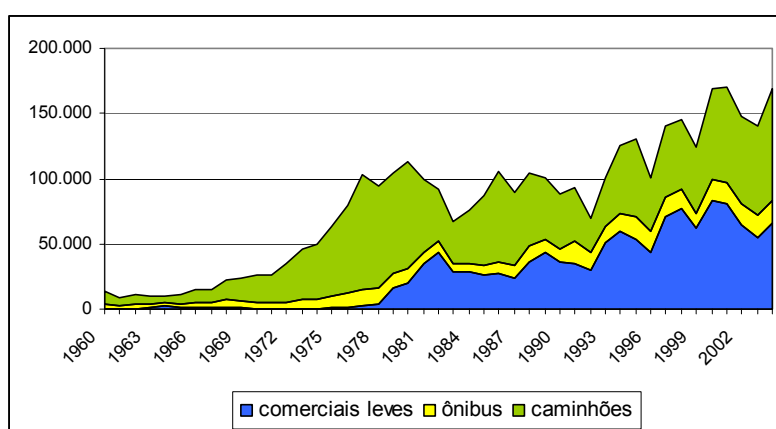


Figura 5 – Vendas internas de veículos a diesel no atacado (1960 a 2004)

Fonte: ANFAVEA (2005)

De acordo com dados da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores – ANFAVEA (2005), a frota total de veículos, independentemente do tipo de combustível, era de 21,3 milhões de veículos em 2003, sendo que os caminhões representam 6% da frota nacional (Tabela 4).

⁴ Apenas no ano 2000 verificou-se a venda de 117 caminhões movidos a gasolina.

Tabela 4 – Frota nacional de veículos em 2003

	Quantidade (mil unidades)	%
Automóveis	17.057	79,9
Comerciais Leves	2.665	12,5
Caminhões	1.293	6,1
Ônibus	342	1,6
Total	21.357	100,0

Fonte: ANFAVEA (2005)

Em geral, dados relacionados à frota nacional, bem como à idade média dos veículos, têm sido bastante imprecisos. Para obter informações mais detalhadas e confiáveis a respeito do transporte rodoviário de cargas, foi instituído o Registro Nacional do Transporte Rodoviário de Cargas - RNTRC, obrigatório e gratuito para todos os agentes que operam no segmento. Desta forma, até o dia 08 de junho de 2006, haviam sido registrados 1,5 milhões de caminhões, entre transportadoras, autônomos e cooperativas. A Tabela 5 ilustra o tipo de veículo registrado por estes agentes.

Tabela 5 – Frota registrada por tipo de veículo pelos transportadores de carga

Tipo do Transportador	Caminhão Simples	Caminhão Trator	Semi-Reboque	Reboque	Caminhonete e Furgão	Apoio Operacional	Total
Autônomo	588.624	92.701	70.687	14.611	54.509	30.083	851.215
Empresa	271.242	130.447	173.227	24.558	19.010	24.774	643.258
Cooperativa	3.022	2.025	2.288	212	99	120	7.766
Totais	862.888	225.173	246.202	39.381	73.618	54.977	1.502.239

Fonte: ANTT (2006)

O número de registros dá uma idéia da participação dos agentes no setor de transporte rodoviário de cargas. Até aquela data, 120.849 empresas, 583 cooperativas de transporte e 663.551 autônomos haviam feito registro (ANTT, 2006).

Com relação à distribuição espacial, o estado de São Paulo se destaca, respondendo por 26% dos registros realizados e por quase 27% da frota nacional informada (ANTT, 2006).

A idade média dos caminhões das empresas é de 9,8 anos, enquanto a dos autônomos é de 19,9 anos. A idade média da frota registrada é, portanto, de 15,6 anos, considerando também os veículos das cooperativas (ANTT, 2006).

Quanto ao tipo de carroceria, quase 51% dos veículos registrados são carga seca, 18% são baú simples e 8% são granéis sólidos. O restante é composto por tanques, baús frigorificados, sider, porta contêiner, entre outros.

3 AS EMISSÕES DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂) NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO BRASILEIRO DE CARGAS

Os transportes possuem elevada participação no consumo energético e nas emissões em diversos países (especialmente nos desenvolvidos, como EUA e países europeus), não sendo, portanto, uma característica exclusiva do Brasil. Nesses países, entretanto, observa-se uma diversidade de estudos e ações envolvendo estabelecimentos de limites de emissões para o setor (no caso de poluentes), de tarifas ótimas cobradas dos usuários como forma de reprimir a demanda e alternativas para reduzir as emissões de CO₂ propriamente ditas.

McKibben⁵ (1995 apud SPIRO e STIGLIANI, 2003), destaca a diferença existente entre duas moléculas: monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono (CO₂). Estas duas moléculas compõem os dois lados da moeda ambiental, os efeitos locais e os efeitos globais da atividade humana. Enquanto o CO é produto suplementar da combustão e está sujeito a controles de emissão, o CO₂ é o produto final, e um inevitável composto dos combustíveis fósseis.

De acordo com os mesmos autores, para cada galão⁶ de gasolina queimado, os automóveis norte-americanos liberam 0,227 kg⁷ de carbono em forma de CO, relação esta que vem caindo com o contínuo desenvolvimento tecnológico. Como resultado, o ar está agora mais limpo em muitas cidades. Entretanto, o mesmo galão de gasolina libera 1,135 kg de carbono na forma de CO₂, e tal taxa não pode ser reduzida.

Deste modo, o aumento da utilização de combustíveis fósseis, por um lado, e as limitações dos avanços tecnológicos, por outro, têm gerado um aumento da concentração atmosférica de CO₂, o que, de acordo com a avaliação da comunidade científica internacional, vem provocando o aquecimento da temperatura global.

3.1 As mudanças climáticas e o Protocolo de Quioto

O efeito estufa é um fenômeno causado pelo acúmulo de vários gases na troposfera, a camada da atmosfera mais próxima da crosta terrestre. Tal acúmulo de gases bloqueia parte da radiação infravermelha, fazendo com que a temperatura média do planeta seja cerca de 15°C. Sem o efeito estufa, a temperatura da Terra seria negativa (cerca de -18°C).

⁵ MCKIBBEN, B. Not so fast. *New York Times Magazine*, July 23, 1995. p. 24-25.

⁶ Um galão equivale a 3,785 litros de gasolina.

⁷ 1 pound equivale a 0,454 kg. Um galão de gasolina libera 1/2 "pound" de CO e 5/2 "pound" de CO₂.

Os Gases de Efeito Estufa - GEE⁸, portanto, “atuam como uma cobertura natural, mantendo a temperatura da Terra propícia ao desenvolvimento das diferentes formas de vida” (RIBEIRO et al., 2000, p. 32).

Entretanto, o desenvolvimento das atividades econômicas e industriais aceleram as emissões antropogênicas de GEE, aumentando sua concentração e dificultando a saída das radiações, aquecendo, conseqüentemente, a superfície do planeta acima do conveniente. Assim, segundo Ribeiro et al. (2000), o problema não é a existência dos gases de efeito estufa, mas o aumento das suas concentrações na atmosfera.

O CO₂, um dos principais GEE, é originado da queima de combustíveis fósseis, além do desmatamento e erosão do solo. O gás carbônico adicional contribui mais para o aumento na concentração dos gases estufa na atmosfera (55%) do que todos os outros gases juntos, e pode permanecer na atmosfera por um período superior a cem anos.

Spiro e Stigliani (2003) afirmam que a concentração de CO₂ na atmosfera entre 1950 e 1998 aumentou 30%, passando de 285 para 370 ppm, o que representa um excesso de carbono acumulado de 176 Gt.

Num esforço de obter o consenso baseado em informação científica, foi criado, em 1998, o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC). O primeiro relatório produzido pelo IPCC, chamado *Climate Change* (1990), foi atualizado duas vezes, sendo a versão mais recente publicada em 2001 (IPCC, 2001b). Suas projeções estimam que a concentração atmosférica de CO₂ atingirá um patamar entre 540 e 940 ppm no ano 2100. Conseqüentemente, a temperatura média global está projetada para aumentar entre 1,4°C e 5,8°C nos próximos cem anos (IPCC, 2001a apud ROCHA, 2003).

A Figura 6 apresenta a evolução das concentrações de CO₂ na atmosfera, que vêm aumentando rapidamente nos últimos cem anos e os possíveis cenários considerados plausíveis até o ano 2100.

⁸ São considerados GEE: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), heptafluoreto de enxofre (SF₆) e as famílias dos perfluorcarbonos (PCFs, compostos completamente fluorados) e hidrofluorcarbonos (HFCs) (Miguez, 2000 apud Rocha, 2000).



Figura 6 – Evolução das concentrações mundiais de CO₂

Fonte: IPCC (2001a)

A Figura 7 ilustra a evolução da temperatura da Terra a partir do ano 1000 e as estimativas de acréscimos até 2100.

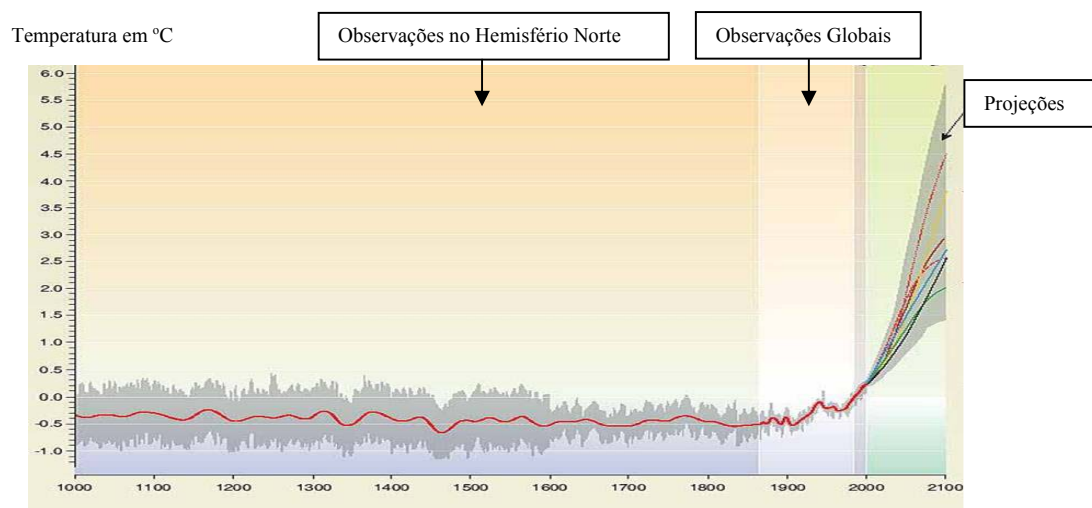


Figura 7 – Variações da temperatura da Terra

Fonte: IPCC (2001a)

O relatório do IPCC (2001c) cita estudos que alertam para o fato de que a temperatura global nunca foi tão quente quanto a verificada no presente durante pelo menos nos últimos 2 milhões de anos. De acordo com o mesmo relatório, para presenciar uma temperatura média 2°C

superior à temperatura média atual, seria necessário retornar ao período Mioceno, entre 5 e 25 milhões de anos atrás.

A escala de tempo é um aspecto essencial referente às mudanças climáticas: enquanto variações de 1°C na temperatura levaram milhares de anos para ocorrer (tempo suficiente para que os ecossistemas se adaptassem às mudanças), alerta-se para que variações maiores na temperatura do planeta devam ser sentidas em períodos de tempo relativamente curtos (100 anos). O desafio da comunidade científica é identificar e quantificar os impactos das mudanças climáticas nas diferentes regiões do planeta, a fim de orientar medidas preventivas e de adaptação aos impactos.

As mudanças na composição atmosférica devem alterar a temperatura, o padrão de precipitação, o nível do mar, entre outros aspectos. Embora algumas regiões devam presenciar efeitos benéficos decorrentes da mudança climática (países em latitudes elevadas devem verificar um aumento na produtividade agrícola, por exemplo), a maior parte do mundo sentirá conseqüências negativas severas, tais como: variações na produção agrícola; extinção de animais e plantas; mudanças nos padrões das secas e enchentes, redução da oferta de água potável; aumento do nível do mar e inundação de áreas costeiras; crescimento da incidência de diversas doenças infecciosas.

Os principais responsáveis pelo aumento da concentração dos GEE são os países desenvolvidos. O Brasil é considerado um pequeno emissor (quando não são computadas as emissões decorrentes da mudança do uso do solo, queimadas e desmatamentos), respondendo por apenas 1,4% das emissões globais em 2002. Além disso, as emissões *per capita* no Brasil ainda são baixas (1,9 milhões tCO₂ per capita), quando comparadas às dos países desenvolvidos: cada residente nos Estados Unidos, Canadá e Austrália emitiu, em 2002, cerca de 19,9 milhões, 19,0 milhões e 18,7 milhões tCO₂, respectivamente (ENERGY INFORMATION AGENCY - EIA, 2005).

A partir da publicação do primeiro relatório do IPCC, em 1990, “confirmando que a mudança climática era de fato uma ameaça e pedindo um tratado global que se dirigisse ao problema” (MATTOS, 2001) foi estabelecida, durante a Conferência da ONU sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio 92), a Convenção do Clima ou Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (United Nations Framework Convention on Climate Change - UNFCCC). Adotada em 1992, a UNFCCC entrou em vigor em março de 1994, com o

objetivo de propor ações que estabilizem “as concentrações atmosféricas dos GEE, num nível que impeça uma interferência antrópica perigosa no sistema climático” (BRASIL, 1999). Este nível deve ser atingido num período de tempo suficiente que permita aos ecossistemas se adaptarem naturalmente às mudanças do clima, garanta que a produção de alimentos não seja ameaçada e possibilite o desenvolvimento econômico de modo sustentável (IPCC, 2001b).

Até 24 de maio de 2006, 189 países (ou “partes”) integravam a convenção, os quais, anualmente, se reúnem para a chamada “Conferência das Partes” - COP para dar continuidade às discussões referentes à mudança climática (BRASIL, 2006a).

Na Conferência das Partes realizada no Japão em 1997, 165 países reconheceram a necessidade de limitar as ações do homem para reduzir as emissões de GEE. Esta COP destaca-se por ter formalizado um acordo (Protocolo de Quioto - PQ) onde se encontram definidos critérios e diretrizes dos mecanismos de mercado a fim de atingir as metas globais de redução de emissão.

Pelo Protocolo de Quioto, os países desenvolvidos (Anexo I) se comprometeram em reduzir emissões em média 5% abaixo dos níveis de 1990, entre os anos de 2008 e 2012 (primeiro período de compromisso), especificando metas para cada país. Isto se reflete num enorme custo para tais economias. Os maiores emissores (EUA, Japão e Europa) ficaram com maiores taxas de redução (entre 6 e 8%), e os países em desenvolvimento foram isentos das metas.

Por isso, o Protocolo também estabelece três mecanismos de mercado (Implementação Conjunta, Mecanismo de Desenvolvimento Limpo e Comércio de Emissões), que permitem que parte das reduções sejam alcançadas em outros países, com menores custos marginais de redução, tornando o custo global de redução de emissão menor.

Para o PQ começar a vigorar era necessário sua ratificação por pelo menos 55 países, responsáveis por 55% das emissões de GEE. O PQ entrou em vigor dia 16 de fevereiro de 2005, após a adesão da Rússia (responsável por 17,4% das emissões). Até 19 de abril de 2006, 163 países integravam o PQ, o que correspondia a 61,6% das emissões. Destes, 89 já tinham ratificado o PQ (BRASIL, 2006b).

No Brasil o Protocolo foi ratificado no dia 19 de junho de 2002 e sancionado pelo presidente da República no dia 23 de julho do mesmo ano. Os Estados Unidos afirmaram, em março de 2001, que não iriam ratificar o PQ.

É importante destacar que, para o primeiro período de compromisso, já estão sendo tomadas ações pelos diferentes agentes no sentido de atingir as metas estabelecidas pelo PQ.

Entretanto, mesmo com os mecanismos de flexibilização propostos pelo PQ, ainda deve-se verificar um grande esforço por parte dos países do Anexo I para alcançarem suas metas.

Outra grande questão diz respeito às definições relacionadas ao segundo período de compromisso (a partir de 2012), principalmente no que tange às eventuais novas regras, quotas de redução por país etc., ainda não definidas.

Atenção especial deve ser dada, neste momento, aos países não-membros do Anexo I, uma vez que tais países (em desenvolvimento) vêm aumentando o consumo de energia rapidamente. Segundo previsões da Energy Information Agency (EIA, 2005), em 2025 a demanda de energia pelas economias em desenvolvimento deverá ser 9% superior à demanda dos países desenvolvidos. China e Índia deverão ser responsáveis por grande parte deste crescimento, uma vez que estima-se que a demanda destes países deverá dobrar até 2025. O consumo de energia primária nas economias emergentes está projetada para crescer a uma taxa 3,2% a.a. entre 2002 e 2025. Em contraste, nos países desenvolvidos, onde os padrões de consumo já estão bem estabelecidos, prevê-se uma taxa de crescimento bem menor, equivalente a 1,1% a.a. para o mesmo período.

Conseqüentemente, as emissões de CO₂ decorrentes do consumo energético deverão acompanhar esta tendência, sendo as taxas anuais de crescimento maiores nos países em desenvolvimento (EIA, 2005).

A Tabela 6, baseada em dados da Energy Information Agency (EIA, 2005), ilustra as tendências de consumo de energia e das emissões de CO₂ em alguns países, destacando as taxas de crescimento em países emergentes.

Tabela 6 – Consumo de energia primária e emissão de CO₂

País	Consumo de energia (10 ¹² Btu)			Emissão de CO ₂ (milhões tCO ₂)		
	2002 ^a	2025 ^b	Taxa Média de Crescimento Anual % (2002-2025)	2002 ^a	2025 ^b	Taxa Média de Crescimento Anual % (2002-2025)
Estados Unidos	98	132,4	1,3	5.751	7.981	1,4
Canadá	13,1	18,8	1,6	588	807	1,4
Japão	22,0	24,7	0,5	1.179	1.242	0,2
Austrália/Nova Zelândia	6,5	8,8	1,4	448	610	1,4
Federação Russa	27,5	37,9	1,4	1.522	2.063	1,3
China*	43,2	109,2	4,1	3.322	8.133	4,0
Índia*	14,0	29,3	3,3	1.025	1.994	2,9
Brasil*	8,6	15,1	2,5	342	679	3,0

Fonte: EIA (2005)

* Países não pertencentes ao Anexo I.

^a Valores estimados.

^b Previsão.

3.2 O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo - MDL está definido no Artigo 12 do PQ, que estabelece os procedimentos e condições básicas a serem seguidos para qualificar atividades de projetos que gerem reduções certificadas de emissão (UNFCCC, 2001):

“Artigo 12.2 – O objetivo do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo deve ser assistir às Partes não incluídas no Anexo I para que atinjam o desenvolvimento sustentável e contribuam para o objetivo final da Convenção, e assistir às Partes incluídas no Anexo I para que cumpram seus compromissos quantificados de limitação e redução de emissões, assumidos no Artigo 3.”

Além do objetivo de reduzir as emissões de GEE, o MDL também visa apoiar iniciativas que promovam o desenvolvimento sustentável em países em desenvolvimento.

Assim, a partir do MDL, cada tonelada de gás carbônico deixada de ser emitida, ou retirada da atmosfera por um país em desenvolvimento poderá ser negociada no mercado mundial, criando um novo atrativo para redução das emissões globais. Os países do Anexo I

estabeleceram cotas para redução de CO₂ junto aos principais emissores. As empresas que não conseguirem (ou não desejarem) reduzir suas emissões poderão comprar Reduções Certificadas de Emissão - RCE em países em desenvolvimento e usá-los para cumprir suas obrigações. Por sua vez, os países em desenvolvimento deverão utilizar o MDL para promover o desenvolvimento sustentável em seu território (ROCHA, 2003).

A princípio, as diretrizes para elaboração dos projetos de MDL seriam centradas nas seguintes modalidades:

- fontes renováveis e alternativas de energia;
- eficiência / conservação de energia;
- reflorestamento e estabelecimento de novas florestas;
- outros: projetos de aterros sanitários e projetos agropecuários.

Para ser elegível dentro do MDL, é necessário comprovar que a atividade de projeto resultará na redução das emissões de GEE ou no aumento da remoção de CO₂ (“seqüestro de carbono”) adicional ao que ocorreria na ausência da atividade de projeto MDL. Além disso, a atividade de projeto deve contribuir para o desenvolvimento sustentável do país hospedeiro e, finalmente, demonstrar benefícios reais, mensuráveis e de longo-prazo relacionados com a mitigação da mudança do clima.

Os níveis de redução das emissões de GEE ou remoções de CO₂ atribuídos às atividades de projeto resultam em Reduções Certificadas de Emissões (RCE), medidas em tonelada métrica de dióxido de carbono equivalente. As RCE representam créditos que podem ser utilizados pelos países do Anexo I para auxiliar, parcialmente, no cumprimento de suas metas de redução de emissão de GEE. RCE obtidas entre 2000 e o início do primeiro período de compromisso podem ser utilizadas para auxiliar no cumprimento das metas de redução (UNFCCC, 2001). No entanto, para resultarem em RCE, as atividades de projeto do MDL devem passar pelas etapas do Ciclo de Projeto, ilustradas no Apêndice.

No Brasil, até 28 de abril de 2006, haviam sido submetidos 134 projetos de MDL pelos diferentes setores da economia, os quais representam um potencial de redução de aproximadamente 137,5 milhões de toneladas de CO₂e. Dentre estes, as usinas de cana-de-açúcar representam maior parte dos projetos, com 51 projetos submetidos. Por outro lado, são os setores relacionados a projetos de aterros sanitários e processos industriais que apresentam o maior

potencial de redução das emissões (os projetos submetidos desta natureza são responsáveis por mais de 66% da redução das emissões totais, dividindo igualmente este percentual).

Ainda não há projetos aprovados, em termos mundiais, relacionados ao setor de transporte. No Brasil, a Aracruz Celulose e Papel elaborou um projeto com o objetivo de deslocar o transporte de produtos e matérias-primas do modal rodoviário para o hidroviário. Entretanto, as metodologias de cálculo das emissões e de monitoramento propostas no projeto ainda encontram-se em análise. O principal desafio do transporte está justamente na identificação de um método de monitoramento confiável, a ponto de estimar e verificar a redução das emissões com qualidade, uma vez que é difícil controlar as variáveis e os agentes envolvidos (quilometragem percorrida, combustível consumido, modal utilizado, entre outros), comprovando a redução das emissões (adicionalidade da atividade).

3.3 O consumo de energia e as emissões de CO₂ no Brasil

A energia primária total consumida pela humanidade no ano de 2000 equivaleu a apenas 0,0017% da energia solar absorvida pela superfície terrestre. Entretanto, apesar de pequena, esta percentagem mais do que triplicou entre 1960 e 2000, e ainda continua crescendo rapidamente. Neste contexto, destaca-se o setor de transportes, devido à sua elevada taxa de consumo de energia (SPIRO; STIGLIANI, 2003).

A Figura 8 ilustra dados da Energy Information Agency - EIA, citados no Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2005), apontando o setor de transporte como o maior responsável pelo consumo mundial de petróleo e destacando a tendência de crescimento de sua participação. Em 1973, o setor consumiu 2,1 bilhões de toneladas equivalentes de petróleo, atingindo um volume de 3,0 bilhões de tep em 2002.

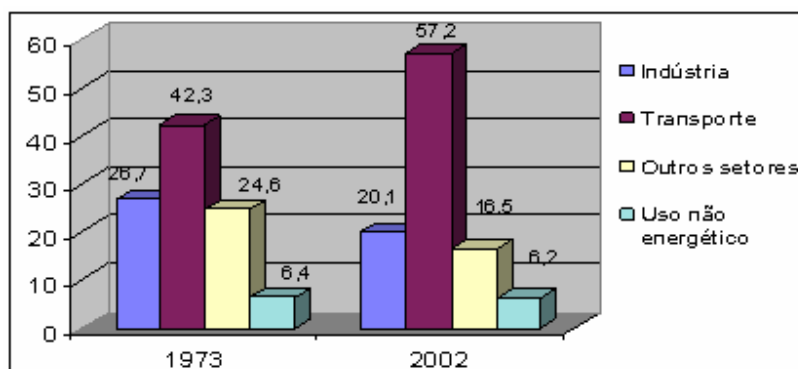


Figura 8 – Participação dos setores econômicos no consumo mundial de derivados de petróleo

Fonte: EIA, 2002 apud Brasil (2005)

No Brasil, assim como verificado em termos mundiais, o transporte também é responsável por grande parte do consumo de derivados de petróleo e vem apresentando tendência de crescimento frente aos demais setores produtivos. Para analisar o perfil de consumo de energia do país, utilizou-se principalmente dados do Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2005), elaborado pelo Ministério de Minas e Energia - MME. O perfil das emissões de CO₂ foi obtido através das informações da Comunicação Nacional (BRASIL, 2004), que apresenta o inventário das emissões brasileiras de GEE entre 1990 e 1994.

Em 2004, o consumo final de energia no Brasil foi de 191,1 milhões de tep, um aumento de quase 34% em relação ao ano de 1994. Destaca-se a participação dos derivados de petróleo, que responderam por quase 50% do consumo total de energia no Brasil em 2004. Somente o óleo diesel representou 17% de todo o consumo energético final, conforme ilustrado na Figura 9 (BRASIL, 2005).

Com exceção do álcool e do óleo combustível, que apresentaram redução na quantidade consumida entre 1994 e 2004 (-3,1% e -38,9%, respectivamente), as demais fontes energéticas verificaram crescimento. Destaque-se o gás natural, cuja quantidade consumida cresceu 224% no período, aumentando sua participação no consumo final energético brasileiro de 2,6% em 1994 para 6,4% em 2004. O consumo de óleo diesel também aumentou significativamente (37% em 10 anos), atingindo 32,6 milhões de tep (BRASIL, 2005).

As “Outras” fontes de energia, correspondentes ao carvão vegetal e mineral, nafta, gás canalizado, gás liquefeito de petróleo etc., também apresentaram crescimento na quantidade consumida de quase 44%.

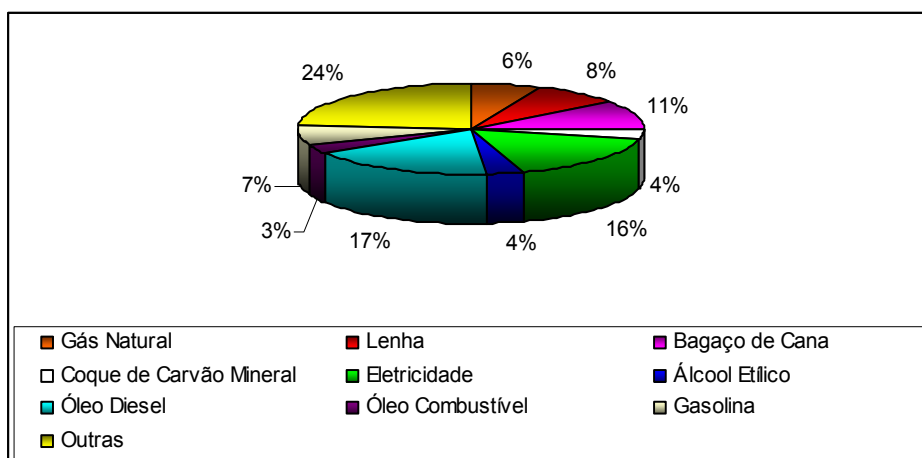


Figura 9 - Consumo final de energia por fonte (2004)

Fonte: Baseado em dados de Brasil (2005)

O setor industrial foi o maior consumidor de energia em 2004, seguido pelo setor de transporte, responsáveis, respectivamente, por 40% e 29% do consumo final energético (Figura 10). A participação dos setores no consumo final energético pouco se alterou entre 1994 e 2004.

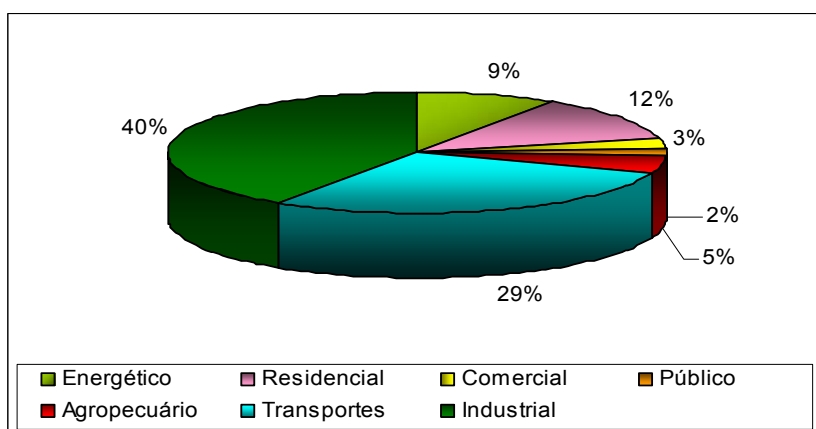


Figura 10 - Consumo final energético por setor da economia brasileira, em 2004

Fonte: Baseado em dados de Brasil (2005)

Dentro do setor de transporte, destaca-se a importância do modal rodoviário, o qual respondeu por 27% do consumo final de energia do Brasil em 2004 e por 92% do consumo final de energia pelo setor transporte, conforme ilustrado na Figura 11. Entre 1994 e 2004, o

crescimento do consumo de energia pelo modal rodoviário foi de 39,2%, atingindo um consumo de 47,3 bilhões de tep.

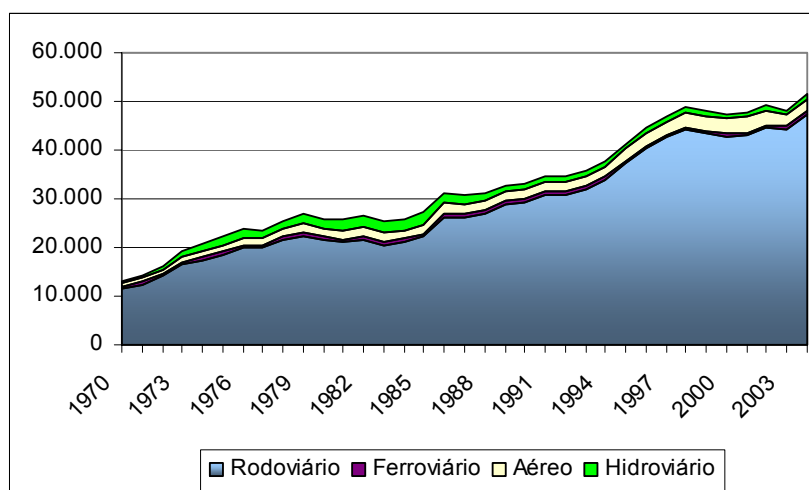


Figura 11 – Evolução do consumo final energético pelos modais de transporte entre 1970 e 2004 (em milhões de tep)

Fonte: Baseado em dados de Brasil (2005)

Além da elevada participação do transporte no consumo final energético, deve-se destacar a dependência do setor em relação aos derivados de petróleo. Em 2004, os transportes responderam por mais de 60% do consumo total de derivados de petróleo, como pode ser visualizado na Figura 12.

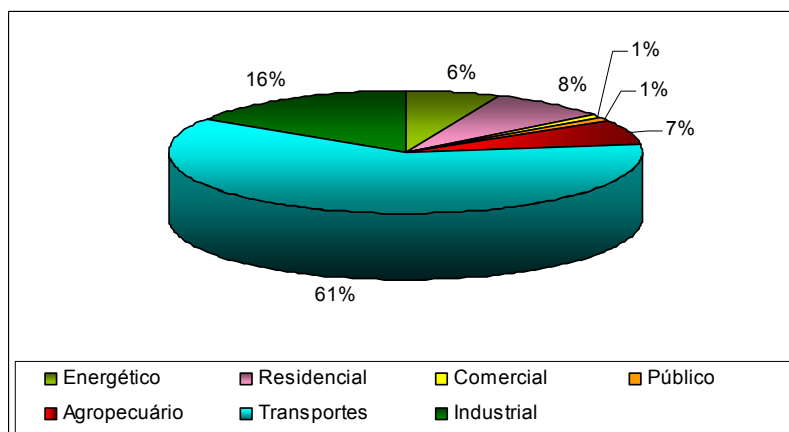


Figura 12 – Consumo final energético de derivados de petróleo, por setor da economia brasileira em 2004

Fonte: Baseado em dados de Brasil (2005)

Dados do BEN (BRASIL, 2005) confirmam o crescimento do consumo de energia do transporte rodoviário na última década, passando de $34.025 \times 10^3 \text{tep}$ em 1994 para $47.370 \times 10^3 \text{tep}$ em 2004, ou seja, um crescimento de 39,2% no período. A fonte de energia mais consumida foi o óleo diesel, responsável por aproximadamente 52% do consumo total. A taxa de crescimento do consumo de diesel no período foi de 42,4%.

Historicamente, o óleo diesel é o combustível mais consumido pelo transporte, respondendo por mais da metade do consumo total em 2004. A gasolina automotiva representou 26,4% e o álcool etílico 12,5% do consumo energético do setor. A evolução da participação das fontes de energia consumidas no transporte rodoviário pode ser visualizada na Figura 13.

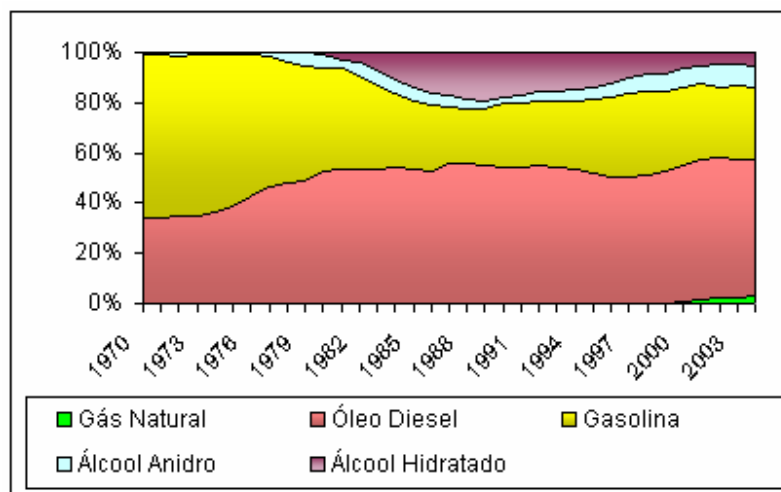


Figura 13 – Consumo de energia do setor de transporte brasileiro (%)

Fonte: Brasil (2005)

Finalmente, o setor de transporte vem aumentando o consumo de óleo diesel ao longo dos anos. A Figura 14 ilustra a tendência de crescimento do consumo de diesel pelo transporte, resultado basicamente do consumo pelo modal rodoviário, o qual representa, em média, 92% do consumo de óleo diesel do setor. Este dado ressalta a importância do modal rodoviário no consumo energético total dos transportes no Brasil.

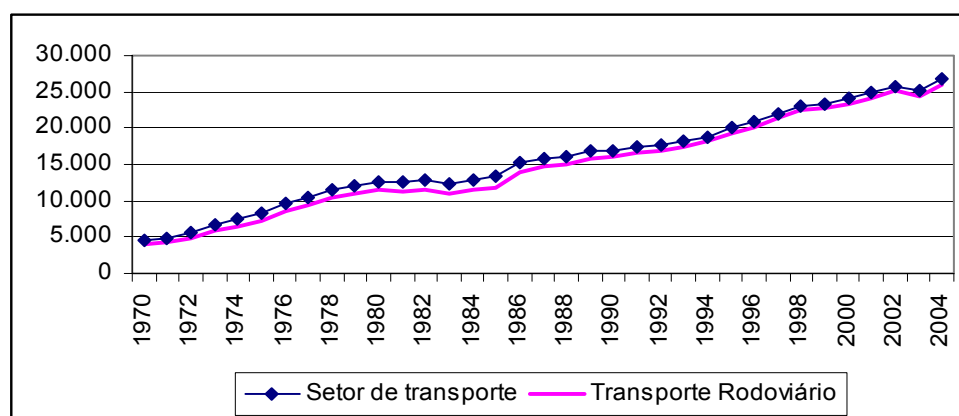


Figura 14 – Evolução do consumo de óleo diesel pelo transporte e pelo modal rodoviário, entre 1970 e 2004 (em milhões de tep)

Fonte: Baseado em dados de Brasil (2005)

A Figura 15 apresenta a intensidade energética dos setores produtivos brasileiros, isto é, a relação entre o consumo de combustível (medido em tep) e o PIB do setor (em US\$). Chama a atenção a elevada intensidade energética do transporte, e, principalmente, sua tendência de crescimento, ilustrando uma redução da eficiência energética. Em 2004, para cada unidade de PIB deste setor, foram consumidas 3,56 unidades de energia. Nos demais setores produtivos, esta relação foi de 0,39 para o industrial, de 0,35 para o energético, de 0,14 para o agropecuário e de 0,03 para o comercial (BRASIL, 2005).

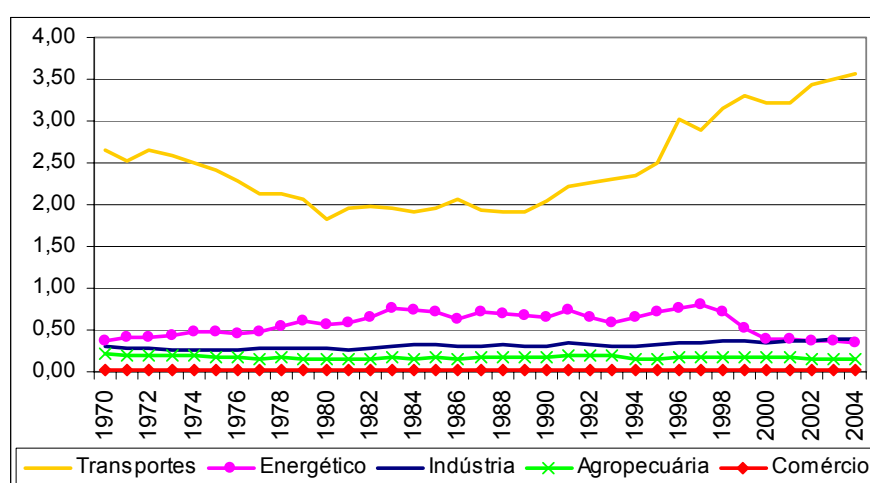


Figura 15 – Evolução da intensidade energética por setor, entre 1970 e 2004

Fonte: Baseado em dados de Brasil (2005)

Com relação às emissões de CO₂, a Comunicação Nacional divulgou que, em 1994, foram emitidas 1 bilhão de toneladas de CO₂, destacando-se o Setor Mudança no Uso da Terra e Florestas, com 75% das emissões.

Entretanto, desconsiderando este setor, e focando a análise apenas no setor “energia”, tem-se que somente o subsetor “transportes” foi responsável por cerca de 40% das emissões de CO₂ do setor energia e por 9% do total das emissões de CO₂ do Brasil em 1994 (vide Figura 16).

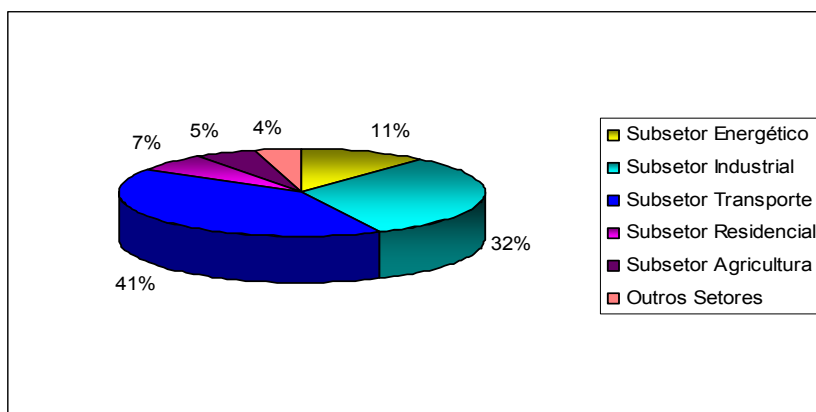


Figura 16 – Emissões de CO₂ pelos subsetores abrangidos pelo setor “energia” (1994)

Fonte: Brasil (2004)

Portanto, apesar de o setor de transporte ser o segundo maior consumidor de energia, é o maior emissor de CO₂ em função da elevada participação dos combustíveis fósseis como fonte energética. Uma vez que as taxas de desmatamento e das queimadas tendem a ser decrescentes com o passar do tempo, deve-se verificar um aumento da participação relativa dos transportes nas emissões brasileiras.

Além disso, as emissões de GEE indiretos também foram, na maior parte, devidas ao subsetor de transporte rodoviário. Entretanto, grande parte dessas emissões (CO e NMVOC⁹) apresentou significativa redução no período devido às transformações tecnológicas na frota de veículos (BRASIL, 2004).

Dentro do subsetor transporte, o modal rodoviário possui a liderança isolada das emissões, sendo responsável por quase 90%, conforme pode ser observado na Figura 17.

⁹ NMVOC: compostos orgânicos voláteis não metânicos.

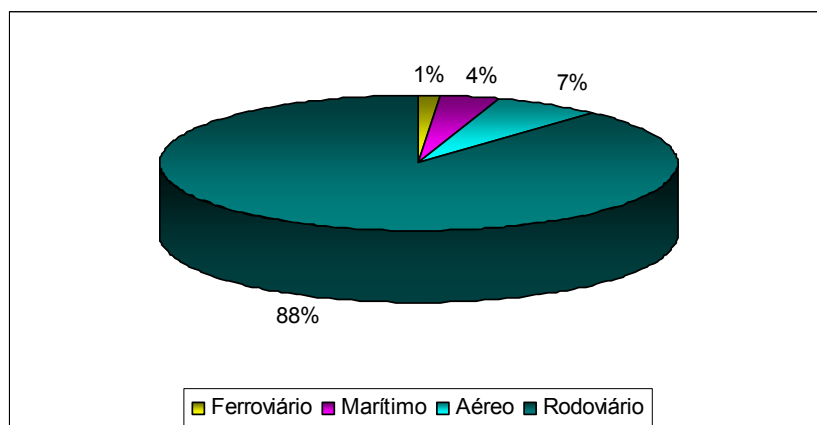


Figura 17 – Emissões de CO₂ por modal de transporte (1994)

Fonte: Brasil (2004)

Além disso, foi o modal que apresentou maior crescimento entre os anos 1990 e 1994, superando o crescimento médio das emissões do setor de transporte (cerca de 15%). Nesse período, as emissões provenientes do modal rodoviário aumentaram 17%; por outro lado, o volume emitido pelo modal ferroviário caiu 21% (vide Figura 18).

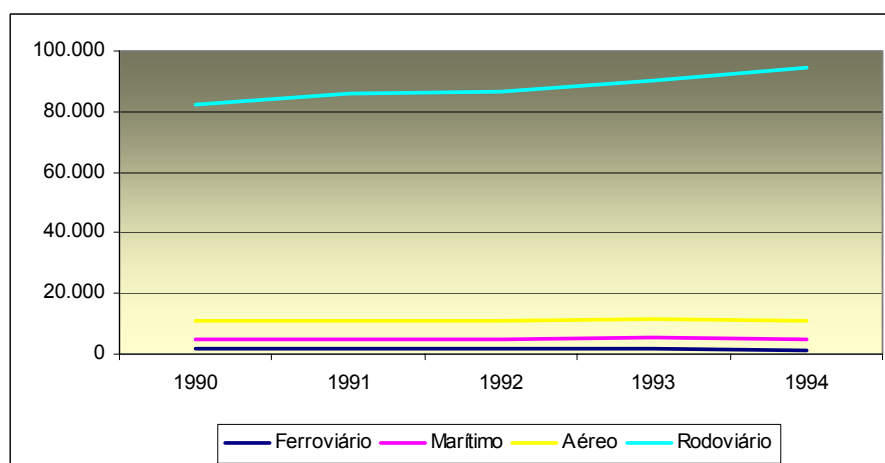


Figura 18 – Evolução das emissões de CO₂ pelos modais de transporte (1990-1994)

Fonte: Brasil (2004)

Alguns outros estudos também se dedicaram a realizar estimativas semelhantes às divulgadas pela Comunicação Nacional, mas para anos mais recentes. Neste sentido, pesquisa realizada pelo Instituto Nacional de Eficiência Energética - INEE (2001) referente ao ano de

1998, estima em 45,5% a participação dos transportes no consumo de combustíveis. A Tabela 7 mostra a importância do setor de transportes no consumo de combustíveis fósseis no ano de 1998, principalmente de derivados de petróleo.

Tabela 7 - Consumo final de energia no Brasil (em milhões de toneladas equivalentes de petróleo - tep¹⁰) - 1998

Setor	Combustíveis					Eletricidade	Total
	Petróleo	Gás Natural	Carvão	Biomassa	Total		
Agropecuário	4,4	0,0	0,0	0,0 ^a	4,5	0,9	5,4
Industrial	12,2	2,7	9,6	20,3	44,9	10,9	55,7
Comercial	0,5	0,1	0,0	0,1	0,8	3,3	4,1
Público	0,6	0,0	0,0	0	0,6	2,2	2,8
<i>Transportes</i>	<i>41,2</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>6,6^b</i>	<i>47,8</i>	<i>0,1</i>	<i>47,9</i>
Residencial	6,0	0,1	0,0	0,4 ^a	6,6	6,3	12,9
Consumo Final	65,0	3,0	9,6	27,4	105,2	23,7	128,8
Não Energético	11,2	0,8	0,2	0,5	12,7	0	12,7
Total	76,2	3,8	9,8	28	117,9	23,7	141,5

Fonte: INEE (2001)

^a Exclui o consumo residencial e agropecuário da lenha.

^b Álcool para veículos.

A Tabela 8 resume as estimativas das emissões diretas de CO₂ no consumo final energético em 1998 pelos principais setores da economia. Note-se a importância do setor de transportes nas emissões de CO₂ na economia brasileira, que aparece como maior consumidor de combustíveis fósseis. É também o setor que mais alavancou o crescimento das emissões em anos recentes.

¹⁰ Tep = tonelada equivalente de petróleo. Unidade comum na qual se convertem as unidades de medida das diferentes formas de energia utilizadas no BEN.

Tabela 8 - Emissões de CO₂ dos combustíveis fósseis por setor da economia brasileira - 1998

Setor	Emissões (10 ⁶ t CO ₂)	Participação (%)
Agropecuário	3,83	4,9
Industrial	22,85	29,2
Comercial	0,53	0,7
Público	0,52	0,7
<i>Transportes</i>	<i>35,45</i>	<i>45,2</i>
Residencial	5,28	6,7
Consumo Final Energético	68,46	87,4
Geração elétrica	3,16	4,0
Outras transformações e perdas	6,74	8,6
Consumo Energético Bruto	78,35	100

Fonte: INEE (2001)

Considerando os veículos movidos a diesel, nota-se também um crescimento das emissões entre 1990 e 1994 (BRASIL, 2002b), tal como mostra a Tabela 9.

Tabela 9 – Consumo de diesel e emissões de CO₂ por categoria de veículos (em 1.000 t)

Ano	Consumo de Diesel (10 ⁹ litros)	Emissões de CO ₂ (mil t) por categoria de veículo			Emissões de CO ₂ (mil t) Total
		Caminhões	Ônibus	Comerciais Leves e Automóveis	
1990	18,3	5.735	38.610	6.782	51.127
1991	19,0	6.127	39.718	7.476	53.322
1992	19,4	6.653	39.459	8.163	54.276
1993	19,9	6.812	40.286	8.596	55.695
1994	20,8	7.160	41.626	9.420	58.207

Fonte: Brasil (2002b)

Pesquisa realizada pelo Centro Clima e pela Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia – COPPE/UFRJ (2005) para o município de São Paulo também constatou participação importante do setor de transporte no consumo de combustível e nas emissões de CO₂ em 2003. O inventário das emissões por fonte energética indicou que a gasolina

automotiva respondeu por 35,7% e o óleo diesel por 32,6% das emissões em 2003. Com relação às emissões por setor econômico, o transporte respondeu por 78,54% das emissões de CO₂ em 2003, enquanto o segundo setor mais emissor foi o residencial, responsável por 9,68%.

De acordo com pesquisa realizada pela CNT¹¹, o aproveitamento energético do setor de transporte brasileiro é cerca de 29% inferior ao norte-americano. “Este consumo ineficiente de energia não-renovável traz uma série de malefícios para o País: maior emissão de poluentes, maior custo final para os produtos, maior dependência externa de combustíveis, pior desempenho na balança comercial etc” (CNT, 2005, p. 24).

3.4 Cálculo das emissões de CO₂ pelo transporte

Para identificar as principais referências bibliográficas que viessem a embasar a metodologia de cálculo de emissões de CO₂ proposta nesta tese, ampla revisão bibliográfica foi realizada, verificando-se que poucos estudos relacionavam-se aos objetivos desta tese. A maior parte dos artigos internacionais encontrados buscava mensurar emissões de poluentes locais; já os estudos relacionados às emissões de GEE utilizavam *softwares* específicos, com valores *default* baseados nos padrões de veículos e combustíveis norte-americanos e europeus, tal como detalhado na seção 4.4, referente ao método de cálculo proposto (“cálculo das variáveis ambientais”). Além disso, nenhum dos artigos considerou o impacto do estado de conservação das rodovias nas emissões de CO₂.

Neste sentido, deve-se destacar as metodologias de cálculo das emissões antrópicas líquidas nacionais de gases de efeito estufa propostas pelo Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima - IPCC, em conjunto com a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômicos - OCDE e a IEA. Tais metodologias foram adotadas pela Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima - UNFCCC como um guia para que os países signatários elaborem seus inventários nacionais de emissões antrópicas de GEE.

Os métodos para estimar as emissões do setor energia são divididos em “*Tiers*”, de acordo com o nível de detalhe da informação disponível da atividade e tecnologia:

- Método Simplificado (*Tier 1* ou *Top-down*): em geral, requer menor detalhamento dos dados. As emissões por todas as fontes de queima são estimadas com base na quantidade de combustível

¹¹ CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE – CNT. **Transporte de cargas no Brasil: ameaças e oportunidades para o desenvolvimento do País.** Disponível em: < <http://www.cnt.org.br/cnt/downloads/cnt-coppead-cargas.pdf>>. Acesso em: 22 jul. 2005.

consumida e nos fatores médios de emissão. Este método produz estimativas de emissões por tipo de combustível consumido, e não por fonte; e

- Métodos Detalhados (*Tiers 2 e 3*¹² ou *Bottom-up*): as estimativas de emissões são baseadas em informações detalhadas do combustível utilizado e da tecnologia disponível. Produzem estimativas tanto para fontes estacionárias quanto para fontes móveis.

Tais metodologias são apresentadas detalhadamente no Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (IPCC, 1997) e foram utilizadas nos estudos realizados por Brasil (2002a e 2002b) e Álvares e Linke (2003), citados em seguida.

Do mesmo modo que os *softwares*, a metodologia desenvolvida pelo IPCC também tem como referência pesquisas realizadas e metodologias elaboradas por especialistas dos países da OCDE e Estados Unidos, que não necessariamente refletem a realidade brasileira. Desta maneira, os fatores de emissão *default*¹³ ou até mesmo a própria metodologia devem ser analisados com cautela antes de serem utilizados para o Brasil. Por exemplo, somente na ausência de fatores de emissão locais devem ser utilizados como referência aqueles adotados para fontes móveis (*road vehicles*) recomendados no Volume 3 do guia (The Reference Manual - Energy).

Outro manual para cálculo das emissões por fontes móveis é o GHG Protocol – Mobile Guide (2005), que também apresenta duas formas alternativas para estimação: uma delas é baseada em dados referentes ao consumo de combustível e a outra é baseada em dados de distância percorrida. O guia destaca que a primeira metodologia é mais confiável, pois as incertezas envolvidas são menores. Além disso, apresenta os seguintes valores, as quais podem ser adotados como *default*¹⁴:

- Fator de emissão do diesel: 2,7458 kg CO₂/litro de diesel;
- Consumo médio de combustível: 33,6 l/100 km; e
- Emissão: entre 0,87 kg CO₂/km e 0,92 kg CO₂/km.

Baseado em outra fonte de dados, o guia também sugere os seguintes valores:

- Fator de emissão do diesel: 2,68 kg CO₂/litro de diesel; e
- Consumo médio de combustível: 0,35 a 0,40 l/km.

¹² O Método *Tier 3* é baseado na metodologia CORINAIR 94, descrita no *EEA TF Emission Inventory Guidebook*, e é disponível em CD-Rom, que pode ser obtido contatando a *European Environment Agency*, na Dinamarca.

¹³ A composição dos combustíveis automotivos utilizados no Brasil é diferente da dos países da OCDE e Estados Unidos. Conseqüentemente, os fatores de emissão também são diferentes.

¹⁴ Estes dados referem-se a um valor médio para os Estados Unidos. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA. **EPA 2001 guide**. Disponível em: <<http://www.epa.gov/autoemissions>>. Acesso em: 20 set. 2005.

Uma das pesquisas relevantes para o presente estudo diz respeito ao Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões de Gases de Efeito Estufa, publicado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT em 2002. As emissões de CO₂ do Brasil por fontes móveis, originadas da queima de combustíveis fósseis, foram calculadas segundo a metodologia *Bottom-up* ou *Tier 2* do IPCC (1997) adaptada ao sistema energético brasileiro (BRASIL, 2002b). Este método permite que os cálculos possam ser feitos a partir de dados mais detalhados, a partir de fatores de emissão (FE CO₂) e da quilometragem média percorrida (ou da quantidade de combustível consumido, em l/km) de cada sub-grupo de veículos da frota com características similares.

As estimativas dos gases de efeito estufa no transporte pesado do modo rodoviário se restringiram às emissões da combustão de óleo diesel, uma vez que o transporte de cargas e coletivo de passageiros é predominante movido a diesel (BRASIL, 2002b).

As emissões de CO₂ por veículos pesados no transporte rodoviário, entre os anos de 1990 e 1994 foram calculadas segundo a eq. (1):

$$E_t = \sum_{cat} FatRateio_{cat} \times ConDiesel_t \times FE \quad (1)$$

onde:

E_t = emissões para o ano t;

$FatRateio_{cat}$ = fator de rateio do consumo de diesel para cada categoria (caminhão, ônibus e comercial leve);

$ConDiesel_t$ = consumo de diesel no transporte rodoviário no ano t;

FE = fator de emissão para o CO₂.

O cálculo das emissões de CO₂ para a frota foi realizado a partir do conteúdo de carbono do diesel, que pode ser deduzido a partir do Número de Cetano - NC. Entretanto, como o NC varia de uma refinaria para outra, Brasil (2002b) considerou que o combustível médio consumido contém 42% de hexa-decano e 89,6% de sua massa correspondendo ao carbono. A partir desta suposição, o MCT estimou o fator de emissão do CO₂ a partir do diesel como sendo de 2.799 g/l de combustível e pôde calcular as emissões da frota a diesel a partir da ponderação do consumo total de diesel pelo fator de emissão de CO₂.

O relatório do MCT (BRASIL, 2002b) conclui que há pouca pesquisa no país que permita avaliar os valores apresentados ou a própria metodologia proposta e, nos poucos estudos existentes foram encontrados, em alguns casos, valores significativamente discrepantes.

Outra pesquisa identificada, realizada por Álvares e Linke (2003), buscou quantificar as emissões de GEE de veículos automotores rodoviários, considerando todos os combustíveis comerciais e todas as categorias de veículos em circulação no Brasil. Os autores apresentaram os métodos de cálculos de inventários propostos pelo IPCC (1997) e propuseram métodos alternativos para a realização de tais cálculos a partir dos dados locais disponíveis de fatores de emissão e composição dos combustíveis comerciais.

Os autores apresentam os cálculos para ambas as metodologias (*bottom-up* e *top-down*), sendo que, para a finalidade desta tese, apenas a primeira é relevante, por considerar dados mais detalhados sobre consumo de combustível, quilometragem percorrida, fatores de emissão locais, estado de manutenção da frota etc.

Para realizar a estimativa das emissões no transporte, Álvares e Linke (2003) seguiram as recomendações do IPCC (1997), considerando apenas os dados relativos ao CO₂, apesar de também ocorrerem emissões de óxido nitroso (N₂O) e metano (CH₄). Esta simplificação deve-se à predominância e à importância do CO₂ para as emissões de GEE, assim como à simplicidade e à relativa confiabilidade do método. Ademais, em muitos casos, não existem fatores de emissão precisos para N₂O e CH₄.

O CO₂ responde por mais de 97% das emissões mundiais de GEE por fontes móveis. A incerteza dos cálculos para esse gás é da ordem de 5%, oriunda principalmente da operação, mais do que das imprecisões nos fatores de emissão. Já o óxido nitroso (N₂O) e o metano (CH₄) contribuem com cerca de até 3% e 1% das emissões totais de GEE de fontes móveis e as incertezas de cálculo são aproximadamente 50% e 40%, respectivamente, devidas principalmente aos fatores de emissão (IPCC, 1997 apud ÁLVARES; LINKE, 2003).

Com relação ao processo de combustão, apenas uma pequena parte do carbono escapa à oxidação, na forma de monóxido de carbono - CO e hidrocarboneto - HC, que posteriormente é quase totalmente oxidada na atmosfera. Somente uma pequena parcela, inferior a 1%, do carbono remanescente que não se oxida, é armazenada permanentemente na forma de material particulado e cinzas (IPCC, 1997 apud ÁLVARES; LINKE, 2003).

Segundo os autores, os cálculos das emissões de CO₂ devem ser feitos da seguinte forma:

$$\text{Emiss CO}_2 = \text{FE CO}_{2abc} \times \text{Atividade}_{abc} \quad (2)$$

onde:

Emiss CO₂ = emissões de CO₂;

FE CO_{2abc} = fator de emissão de CO₂ para o tipo de combustível (a), tipo de veículo (b) e tecnologias de controle de emissões (c); e

Atividade_{abc} = quantidade de energia consumida ou distância percorrida para o tipo de combustível (a), tipo de veículo (b) e tecnologias de controle de emissões (c).

Para o cálculo a partir da quilometragem anual, a eq. (3) deve ser utilizada.

$$\text{Emiss CO}_2 = F \times \text{FE CO}_2 \times \text{km média}_a \quad (3)$$

onde:

F = número de veículos da frota;

km média_a = distância média percorrida no ano.

Especificamente para os veículos a diesel, a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB somente acompanha os ensaios de emissão realizados pelos próprios fabricantes segundo o método dos 13 pontos¹⁵, que não é correlacionável com as condições reais de utilização dos veículos. Daí a dificuldade que se apresenta nos cálculos de inventários de emissão de poluentes por veículos a diesel a partir de fatores de emissão expressos em unidade de massa/distância percorrida (normalmente, em g/km). Para isso, seria necessário realizar ensaios específicos para o levantamento de fatores de emissão

¹⁵ Segundo Sarkozy et al. (2001), este método de cálculo das emissões veiculares para ônibus e caminhões consiste em uma avaliação do motor em 13 regimes constantes de funcionamento que são ponderados com fatores tomados como representativos do uso médio dos veículos pesados. Este procedimento fornece resultados em g/kWh, correlacionando a emissão de poluentes com a produção de energia do motor, e não com o movimento do veículo. Os ensaios produzem, como resultados, valores de consumo específico de combustível, torque, potência e emissão específica de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x), hidrocarbonetos (HC) e material particulado (MP).

de veículos a diesel pesados sobre dinamômetro de chassis (rolos). Entretanto, atualmente não há no Brasil laboratórios com essa capacitação (ÁLVARES; LINKE, 2003, p. 1). Dado que não existem fatores de emissão levantados localmente, os autores optaram por adotar os fatores de emissão para veículos pesados europeus, já que a tecnologia de motorização brasileira é mais semelhante à dos veículos que circulam na Europa do que a dos veículos norte-americanos.

Conforme dados do IPCC (1997 apud ÁLVARES; LINKE, 2003), para veículos pesados a diesel (como ônibus, microônibus e caminhões), deve ser adotado um consumo de 3,3 km/l ou 29,9 l/100km. Para categorias de veículos a diesel de menor porte, tais como as peruas e camionetas, o consumo assumido é de 9,2 km/l ou 10,9 l/100km.

Os fatores de emissão de CO₂ para cada categoria são descritos no Quadro 1.

Categoria do veículo	F _{Emiss}
Pesados	770 g/km;
	3.140 g/kg de combustível;
	74 g/MJ.
Leves	280 g/km;
	3.140 g/kg de combustível;
	74 g/MJ.

Quadro 1 - Fator de emissão de CO₂ para veículos a diesel

Fonte: IPCC (1997 apud ÁLVARES; LINKE, 2003)

“Para fins de conversão dos fatores de emissão acima em base de volume de combustível consumido, a densidade do diesel comercial no Brasil está na faixa de 0,82 a 0,88 kg/l. A menos que exista informação precisa sobre a densidade média do lotes de diesel consumidos, sugere-se a adoção do valor central da faixa, a saber, 0,85 kg/l” (ÁLVARES; LINKE, 2003, p. 10).

Um outro estudo que se aproxima dos objetivos da tese foi desenvolvido por Bartholomeu (2001). A autora desenvolveu uma metodologia para quantificar as emissões de CO₂ por caminhões percorrendo trajetos rodoviários com diferentes estados de conservação e números de pedágios. O contexto considerado foi o programa de concessões de rodovias a empresas privadas na década de 90, que resultou na instalação de diversas praças de pedágio ao

longo dos trechos da malha concedidos, e, conseqüentemente, estimulou os motoristas a utilizarem rotas alternativas.

Considerando sugestão de Pagliuso (informação pessoal)¹⁶, a autora adotou um valor aproximado para a densidade do óleo diesel de 845 g/l. Como resultado, o fator de emissão de CO₂ por litro de óleo queimado encontrado foi de 2.695 g/l. O cálculo do fator de emissão pressupõe que todo o carbono é oxidado para CO₂, pois a quantidade de diesel que não se transforma diretamente em CO₂ é desprezível.

A pesquisa considerou dois trajetos alternativos para uma rota ligando Campinas (SP) a Bauru (SP). Um dos trajetos (denominado T1) era concedido à iniciativa privada, com grande número de praças de pedágio e com ótimas condições de conservação. O trajeto alternativo (T2), utilizado como rota de fuga dos pedágios, apresentava piores condições de conservação. Inicialmente, foi calculado o consumo de combustível em cada trajeto (T1 e T2), a partir do conceito de “Consumo Específico”, o qual anula o possível efeito da variabilidade do peso da carga transportada e indica a quantidade de litros consumida por tonelada transportada a cada 100 quilômetros, conforme a eq. (4).

$$CE = \frac{CC}{P \times D \times 100} \quad (4)$$

onde:

CE = Consumo específico de combustível (l/t.100 km);

CC = Consumo de combustível (l);

P = Peso Bruto Total Combinado (t); e

D = Distância percorrida (km).

Em seguida, para cada trajeto percorrido (T1 e T2), o consumo específico de combustível verificado foi multiplicado pela quilometragem total percorrida em cada trajeto, obtendo-se o consumo de combustível por tonelada transportada. Finalmente, as emissões de CO₂

¹⁶ PAGLIUSO, J. Mensagem recebida em 16 out. 2001. Segundo o autor, tal seqüência de cálculo é baseada nas seguintes referências bibliográficas:

INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO - IBP. **Curso de informação sobre combustíveis e combustão**. Rio de Janeiro, 1975.

SHER, E. **Handbook of air pollution from internal combustion engines**: pollutant formation and control. Boston: Academic Press, 1998. 652 p.

foram obtidas multiplicando-se o consumo de combustível (em l/t transportada) pelo fator de emissão (2,965 kg de CO₂).

O estudo verificou que, para o caso estudado, o trajeto com melhores condições de conservação acabou resultando em menores emissões de CO₂, e o consumo de combustível, também inferior, acabou compensando o gasto adicional com as tarifas de pedágio.

A pesquisa realizada por Bartholomeu (2001) também estimou o valor anual para a diferença nas emissões, utilizando dados fornecidos pelo DER do Estado de São Paulo, referentes à Contagem de Fluxo de Veículos ou Volume Diário Médio - VDM realizada em diferentes trechos do trajeto alternativo (T2).

Em outro estudo correlato, Tourinho et al. (2003) optam por aplicar um Modelo de Equilíbrio Geral Computável - CGE para analisar os principais impactos econômicos (tanto em nível macroeconômico quanto setorial) de uma política ambiental que visa à redução de emissões de CO₂ na economia brasileira (dados de 1998). O modelo foi rodado pelo sistema computacional General Algebraic Modeling System - GAMS.

Observou-se um volume total de emissão de CO₂ de 385.984 t¹⁷ para o ano de 1998, a partir do qual destaca-se que o transporte é o setor mais emissor de CO₂ do modelo, responsável por quase 37% do volume total emitido, seguido pelo setor de siderurgia (15,26%).

Foi elaborada uma metodologia de cálculo nos moldes da metodologia empregada pelo IPCC, ou seja:

$$\omega = 10^{-3} \times (\xi \times \phi \times \gamma) \times \lambda \times 44/12 \quad (5)$$

onde:

ω = emissão anual real de CO₂ (em milhões de toneladas de CO₂);

ξ = consumo final energético das atividades (em 10³ tep¹⁸);

ϕ = fator de conversão da unidade original para (TJ/unidades originais);

¹⁷ Para o mesmo ano, o Balanço Energético Nacional - BEN apresenta um valor de 418.203 t. A diferença de 8,35% entre os dois resultados é explicada por duas razões: pela diferença entre os conceitos de PIB empregados (o PIB adotado no BEN corresponde à multiplicação do valor agregado de 1980 pelos índices de produto real de cada setor, classe e ramo da classificação do IBGE, enquanto no modelo o PIB é o divulgado pelo IBGE) e pela diferença de moeda (no BEN o PIB está em dólares de 1998, enquanto no modelo está em reais de 1998).

¹⁸ Os fatores de conversão são calculados com base no poder calorífico superior de cada energético em relação ao do petróleo, de 10800 kcal/kg.

γ = fator de emissão de carbono por unidade de energia contida no combustível (TC/TJ);

λ = fração do carbono realmente oxidada na combustão; e

44/12 = fator de conversão de dióxido de carbono para carbono (TC/TCO₂).

Pesquisa realizada por Senna et al. (1998) teve como objetivo verificar se a melhoria nas condições das rodovias concedidas no Rio Grande do Sul foi capaz de compensar a tarifa de pedágio cobrada pelas concessionárias de rodovias. Para tanto, foram feitas simulações com diferentes condições de conservação das rodovias e seus impactos sobre os custos operacionais dos veículos. Os autores adotaram o software Highway Design and Maintenance - HDM. Este artigo não estima emissões, mas considera as diferenças do estado de conservação da rodovia como importantes na composição do custo de transporte.

Num contexto internacional, selecionou-se estudo realizado por Murphy (2000) para a economia do Canadá. Examinando a possibilidade de redução das emissões de GEE do setor de transporte canadense, o autor conclui que as emissões de GEE do setor de transporte podem ser reduzidas através dos seguintes métodos: diminuição na atividade de transporte de cargas, mudança para modais menos intensivos em GEE, aumento nos fatores de carga associados aos diferentes modais, redução na intensidade energética (aumento de eficiência) nos modais e alteração no “mix” de combustível, para torná-lo menos intensivo em combustíveis fósseis.

Murphy (2000) alerta para o fato de que ações mitigadoras geralmente não ocorrem por si só: é necessária alguma forma de intervenção, tais como ações diretas do governo, informação, regulação e incentivos/desincentivos financeiros.

Segundo o autor, a tendência atual na modelagem da demanda de energia é a combinação de estratégias (hibridização), a qual combina o realismo comportamental do modelo *Top-down* com o desenvolvimento tecnológico do modelo *Bottom-up*. Entretanto, existem ainda poucos modelos híbridos de transporte documentados pela literatura especializada: um é o modelo NEMS TRAN, mantido pelo Departamento de Energia dos EUA e outro é o modelo de transporte CIMS, construído nesse estudo.

Ramanathan e Parikh (1999) estimaram o consumo energético do setor de transporte e as emissões de CO₂ decorrentes da utilização de combustível na Índia, aplicando modelos econométricos de co-integração para projetar níveis futuros de tonelada-quilômetro (t.km) transportada. Os dados utilizados foram compilados de várias fontes governamentais e não-

governamentais; os fatores de emissão foram coletados de estudos anteriores (RAMANATHAN; PARIKH, 1999).

O modelo projeta que o tráfego de cargas crescerá mais de 5% ao ano durante o período de 1990-2021; conseqüentemente, o consumo de energia e as emissões de CO₂ acompanharão este crescimento a taxas equivalentes.

O enorme crescimento do transporte rodoviário de cargas na Índia está correlacionado ao aumento do número de caminhões, que mais que dobrou na década de 80 em relação à década de 70. Entretanto, não vêm se verificando investimentos equivalentes na infra-estrutura de transporte para comportar o aumento da utilização das rodovias, o que implica inferir que a Índia está próxima a atingir o ponto de saturação no que diz respeito à capacidade de utilização existente (RAMANATHAN; PARIKH, 1999).

Os autores estimaram o consumo direto de energia e as emissões de CO₂ para diferentes modos de transporte de cargas. Os resultados do estudo indicam que o consumo de energia e as emissões de CO₂ por caminhões são cinco vezes superiores aos valores correspondentes para o transporte ferroviário. O transporte aéreo foi o modal menos eficiente em termos energéticos.

A partir da utilização do programa COPERT III¹⁹, Burón et al. (2004) quantificaram as emissões de poluentes pelo transporte rodoviário na Espanha entre 1988-1999, a partir de dados sobre o número de veículos, consumo de combustível, temperatura média do país, distribuição da rota/condição de dirigibilidade (rural, urbana e rodovias) e velocidade média.

Para estimar as emissões, o programa COPERT III requer uma classificação detalhada dos veículos na região de estudo, em termos do tipo de combustível e da capacidade máxima do motor e do peso; tais dados, muitas vezes, não estavam disponíveis. Para tanto, foram desenvolvidos modelos e algoritmos adequados, assim como adotadas diferentes hipóteses baseadas em critérios estatísticos e estudos correlatos (BURÓN et al., 2004).

Após as estimações necessárias terem sido concluídas, o software foi executado para cada ano do período de estudo, possibilitando o cálculo das emissões locais, globais e relacionadas ao combustível.

Com relação às emissões de CO₂, os autores verificaram um crescimento sustentado ao longo do período estudado. A principal causa é o aumento do consumo de combustível, que

¹⁹ O programa é amplamente utilizado na Europa.

segue o significativo aumento na mobilidade observado no período, e o baixo nível de renovação dos veículos na Espanha. O artigo conclui que o crescimento da taxa de emissão de CO₂ teria sido maior, acompanhando o aumento na mobilidade, caso não tivessem sido observadas melhorias tecnológicas nos veículos. De fato, emissões específicas de CO₂ (emissões/passageiro ou emissões/t e emissões/km viajado) do transporte de passageiro e de carga seguiram uma tendência claramente decrescente.

O Quadro 2 apresenta as principais características das metodologias citadas. Para a elaboração da seqüência de cálculos da Tese, apresentada no Capítulo 4 (Material e Métodos), os estudos de Brasil (2002a) e Bartholomeu (2001) foram os mais utilizados.

(continua)

Autores	Principais objetivos	Metodologia	Resultados/Estimativas
Brasil (2002a)	* Realizar o inventário de emissões de GEE por fontes móveis.	* Baseado na Metodologia do IPCC (<i>top-down</i> e <i>bottom-up</i>) para fontes móveis * Fator de emissão: aproximadamente 2,8 kg/l de combustível * Conteúdo de C: 89,6%.	* Emissões de CO ₂ e outros GEE por veículos pesados no transporte rodoviário (1990 a 1994), via combustão do diesel.
Álvares e Linke (2003)	* Calcular as emissões de GEE de veículos rodoviários brasileiros.	* Apoiaram na metodologia do IPCC, e também propuseram métodos alternativos, considerando dados locais disponíveis	* Emissões de GEE de veículos rodoviários, para todos os tipos de combustíveis e de categoria de veículos.
Bartholomeu (2001)	* Quantificar as emissões decorrentes do percurso de trajetos alternativos, em diferentes condições de conservação.	* Própria * Fator de emissão: aproximadamente 2,7 kg/l combustível	* Numa rota de cerca de 500 km, o trajeto concedido gastou cerca de 8 litros a menos de combustível, ou seja, cerca de 23 kg de CO ₂
Tourinho et al. (2003)	* Analisar os principais impactos econômicos de uma política que vise à redução das emissões (taxas)-1998.	* Aplicam um modelo de Equilíbrio Geral Computável (EGC), rodado no GAMS - <i>General Algebraic Modeling System</i> . * Também consideraram a metodologia do IPCC.	* O setor de transporte respondeu por 37% do volume de CO ₂ emitido no Brasil em 1998.

Quadro 2 - Comparativo entre as metodologias citadas

(conclusão)

Autores	Principais objetivos	Metodologia	Resultados/Estimativas
Senna et al. (1998)	* Verificar se as melhorias nas rodovias concedidas do RS compensam a tarifa de pedágio cobrada.	* HDM – <i>Highway Design and Maintenance</i>	* Simulou as condições de conservação das rodovias e seus impactos sobre os custos operacionais dos veículos
Murphy (2000)	* Quantificar os efeitos de aumento de eficiência, de flexibilidade de combustível e de modais e de incrementos no fator de carga sobre o transporte de cargas.	* Modelo híbrido: CIMS – <i>Canadian Integrated Modelling System</i>	* Tais políticas poderiam auxiliar na redução de metade das metas do país frente ao PQ.
Ramanathan e Parikh (1999)	* Estimar o consumo energético do setor de transporte e as emissões de CO ₂ decorrentes da utilização de combustível na Índia.	* Modelos econométricos de co-integração para projetar níveis futuros de tonelada-quilômetro transportada.	* O tráfego de cargas e, conseqüentemente, o consumo de energia e as emissões de CO ₂ , crescerão mais de 5% ao ano entre 1990 e 2021. * O consumo de energia e as emissões de CO ₂ por caminhões são cinco vezes superiores aos do transporte ferroviário.
Burón et al. (2004)	* Quantificar as emissões de poluentes, inclusive CO ₂ , pelo transporte rodoviário na Espanha entre 1988 e 1999.	* Software COPERT III	* Observou-se um crescimento sustentado das emissões de CO ₂ , decorrente do aumento do consumo de combustível e do índice de mobilidade, bem como do baixo nível de renovação dos veículos. * O crescimento da taxa de emissão de CO ₂ não foi maior devido às melhorias tecnológicas nos veículos.

Quadro 2 - Comparativo entre as metodologias citadas

Portanto, ficou clara a necessidade e a relevância de estudos envolvendo o setor de transportes. Nesse sentido, foi demonstrada a importância do transporte rodoviário na movimentação de bens no país e, conseqüentemente, sua elevada participação no consumo de combustíveis fósseis e nas emissões de CO₂. A insuficiência de infra-estrutura rodoviária, tanto em termos de quantidade (km) como de qualidade das vias, aliada a uma frota de veículos com elevada idade média, tornam o modal ineficiente em termos energéticos (as estatísticas

demonstram um aumento da participação do modal rodoviário no consumo total de energia - combustíveis fósseis - e, conseqüentemente, nas emissões de CO₂ ao longo do tempo).

Por outro lado, a questão da eficiência energética torna-se cada vez mais estratégica, tanto em termos econômicos (redução da dependência em relação ao diesel, por exemplo), quanto em termos ambientais (percorrer maiores distâncias com uma quantidade relativamente menor de combustível). Neste caso, o Protocolo de Quioto, estabelecendo metas de redução de emissão para países desenvolvidos e criando mecanismos de mercado para auxiliar no alcance das obrigações, é fundamental como mudança de paradigma. A partir da ratificação do PQ, em 2005, fica clara a tendência crescente da preocupação ambiental e energética, mesmo que o direcionamento a ser adotado após 2012 (término do primeiro período de compromisso do PQ), no que tange ao estabelecimento de novas regras do jogo, novas metas de redução e novos participantes, não esteja definido.

Assim, estudos com diferentes abordagens e procedimentos metodológicos vêm sendo realizados para estimar a participação do setor de transportes nas emissões de CO₂, e/ou quantificar o potencial de redução de emissões decorrentes de ações adotadas na região abordada, como pôde ser visto em alguns dos artigos descritos nesta seção e resumidos na Tabela 13. A presente Tese, portanto, vai colaborar para identificar como o estado de conservação das rodovias pode influenciar as emissões de CO₂ do transporte rodoviário de cargas e, além disso, analisar os impactos econômicos de uma melhoria da infra-estrutura rodoviária no que diz respeito ao consumo de combustível, ao tempo de viagem e à despesa com manutenção do veículo.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Segundo a Teoria Econômica do Bem-estar, o ponto de máximo bem-estar social é denominado Pareto-eficiente, definido como uma situação na qual todos os indivíduos estão tão bem que é impossível melhorar a situação de alguém sem piorar a situação de outro. É um estado, portanto, tão eficiente que não existem mais possibilidades para trocas voluntárias, as quais realocariam recursos e redistribuiriam *commodities*. Uma vez que um ponto Pareto-eficiente tenha sido atingido, todo ganho para um indivíduo representará uma perda para outro (RANDALL, 1987).

Porém, para que seja possível atingir uma situação Pareto-eficiente, o mercado deve apresentar características de concorrência perfeita (quaisquer outros mercados resultam em violações nas condições necessárias para Pareto-eficiente). Na prática, quando existem muitas fontes de ineficiência de mercado que não podem ser eliminadas simultaneamente, as condições necessárias para Pareto-Eficiência não possuem fundamentação adequada para guiar políticas (RANDALL, 1987).

As “Externalidades” são consideradas uma das fontes de ineficiência de mercado, e ocorrem quando as relações de produção têm efeitos, positivos ou negativos, sobre o bem-estar de terceiros. Além disso, os causadores dos efeitos não pagam ou recebem nada pelas externalidades resultantes de sua atividade.

Segundo Contador (1997), o tratamento sistemático da externalidade deve-se a Pigou²⁰ (1932). Entretanto, foi somente a partir da década de 70 que a literatura passou a considerar os impactos ambientais e a qualidade de vida nas avaliações.

Uma característica da externalidade decorre do fato dela possuir um caráter incidental, involuntário. Ademais, a externalidade assume a característica de inevitável, ou evitável apenas quando se incorre em um certo custo social. Desta forma, mesmo o responsável pela geração da externalidade não consegue eliminá-la sem incorrer em despesas adicionais.

É importante destacar que, mais cedo ou mais tarde, a população sentirá os efeitos das externalidades resultantes de decisões errôneas do passado ou mesmo em outras regiões. A destruição da camada de ozônio e o problema das mudanças climáticas são bons exemplos de efeitos exportados. Enquanto os países desenvolvidos são os maiores responsáveis por ambos os problemas, os efeitos são sentidos, principalmente, nos outros países, que precisam se adaptar às mudanças.

²⁰ PIGOU, A.C. **The economics of welfare**. Londres: Macmillan, 1932. 852 p.

Quando isso acontece, existe uma propensão a ignorar os efeitos dos projetos (para atividades cujos poluentes afetam apenas a vizinhança do projeto, é mais fácil identificar os custos e imputá-los ao projeto).

Para que os efeitos ambientais sejam incluídos na avaliação de projetos, é necessário que o meio ambiente seja considerado como um fator econômico, sujeito à escassez e com custo alternativo não-nulo. Apesar da crescente pressão por parte da sociedade frente às questões ambientais, ainda faltam instrumentos metodológicos para aplicação, o que é agravado por uma série de fatores, tais como carência de informações, compreensão imperfeita dos níveis toleráveis de poluição e seu controle.

Sob o ponto de vista alocativo, a situação ideal seria internalizar completamente as externalidades, isto é, atribuir preço de mercado a um subproduto incidental. Entretanto, o número de externalidades passíveis de internalização é muito limitado. Poluição ou efeitos adversos no meio ambiente, de acordo com Contador (1997), são impossíveis de serem eliminados por tal procedimento.

Não existe uma metodologia perfeitamente estabelecida e aceita para quantificar as externalidades. Dados os enfoques conhecidos, deve-se buscar a solução mais adequada para o caso. Neste sentido, Contador (1997) adotou como metodologia a das “variações compensatórias”, ou seja, um esquema de pagamentos entre grupos, como forma de garantir que o bem-estar coletivo não seja reduzido. Por este enfoque, as pessoas ou empresas que ficassem em melhor situação com a presença da externalidade estariam dispostas a pagar uma quantia positiva (V_i) para evitar ficar sem o efeito externo. Já as pessoas/firmas prejudicadas pela externalidade, por outro lado, exigiriam uma quantia mínima, negativa (V_i), como forma de tolerância aos efeitos externos e também para voltar ao seu nível de bem-estar inicial.

Se os efeitos externos afetam indivíduos e empresas de tal forma que a soma aritmética das variações compensatórias individuais seja positiva ($\sum V_i > 0$), então os beneficiados conseguem mais do que compensar os prejudicados pelas perdas e a externalidade é considerada positiva (deve ser computada como benefício do projeto).

Segundo Pearce e Turner (1994), os economistas consideram a poluição como um custo externo que ocorre somente quando um ou mais indivíduos sofrem uma perda de bem-estar. Conseqüentemente, não é recomendada a eliminação total da externalidade, uma vez que existe um nível ótimo de externalidade, cujo valor não é zero.

Pressupondo competição perfeita, a Figura 19 traz o nível de atividade que gera poluição no eixo horizontal (Q) e os custos e benefícios monetários no eixo vertical. $BMLP$ é o benefício marginal líquido privado. O poluidor incorrerá em custos ao realizar a atividade que provocará aumento na poluição, e receberá benefícios na forma de receita. A diferença entre as receitas e os custos é o benefício privado líquido. $BMLP$ é, assim, o benefício líquido marginal (extra) da mudança do nível de atividade em uma unidade. CEM é o custo externo marginal, ou seja, o valor do dano extra causado pelo aumento da poluição decorrente da atividade, e é crescente com o nível de produto (Q).

O nível ótimo de externalidade encontra-se no ponto E^* , no cruzamento de $BMLP$ com CEM . Já que ambas as curvas são marginais, as áreas abaixo delas correspondem às magnitudes totais, isto é, a área sob $BMLP$ é o benefício líquido privado total do poluidor e a área sob CEM corresponde ao custo externo total. Para se obter os resultados para a sociedade, deve-se maximizar a diferença entre os benefícios e custos envolvidos.

O triângulo OXE^* é a maior área dos benefícios líquidos obtidos e, conseqüentemente, Q^* é o nível ótimo de atividade. A quantidade ótima do dano econômico correspondente ao nível ótimo de poluição (Q^*) é dada pela área OE^*Q^* , correspondendo também ao nível ótimo de externalidade.

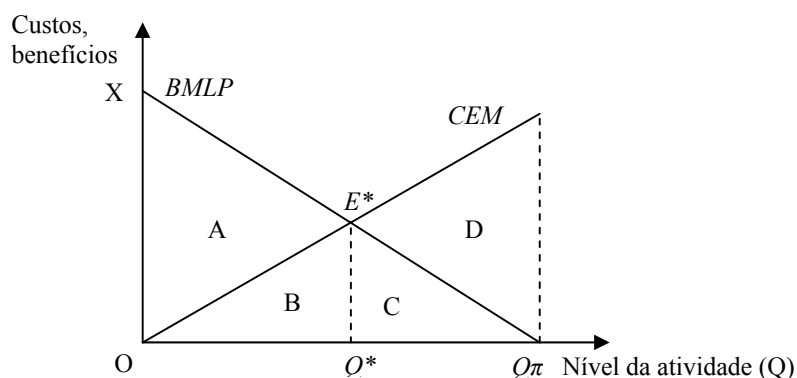


Figura 19 – Definição econômica da poluição ótima

Fonte: Baseado em Pearce e Turner (1994)

Esquemáticamente, tem-se:

Área A = nível ótimo dos benefícios sociais

Área B = nível ótimo de externalidade

Área A + B = nível ótimo dos benefícios líquidos privados do poluidor

Área C + D = nível não-ótimo de externalidade que precisa ser removido

Área C = nível dos benefícios líquidos privados socialmente não justificáveis

Q^* = nível ótimo da atividade econômica

$Q\pi$ = nível da atividade econômica que gera o máximo benefício privado.

A Figura 19 mostra que, na presença de externalidade, há uma divergência entre custo social e privado. Em $Q\pi$, o benefício privado é maximizado em $A + B + C$, mas o custo externo é $B + C + D$. Então, o benefício social é $A + B + C - B - C - D = A - D$, que é menor do que A , o benefício líquido social correspondente à Q^* .

O nível $C + D$ de externalidade é *Pareto relevante*, pois sua remoção leva a um ganho líquido nos benefícios sociais (*Pareto superior*), enquanto o nível de externalidade B é *Pareto irrelevante*, pois não é necessário removê-lo.

Graficamente, um programa de recuperação das rodovias equivale a aumentar a oferta, ou a disponibilidade do bem, decorrente do aumento do nível de serviço da rodovia. Conforme ilustrado na

Figura 20, um projeto que aumenta a disponibilidade de um bem não precificável de Q_0 para Q_1 , desloca a oferta perfeitamente inelástica de S_0 (sem projeto) para S_1 (com projeto). O benefício decorrente do aumento no consumo do bem (de Q_0 para Q_1) corresponde a um incremento no excedente do consumidor (benefício) equivalente a Q_0ABQ_1 , a área abaixo da curva de demanda e limitada pelas quantidades com e sem o projeto.

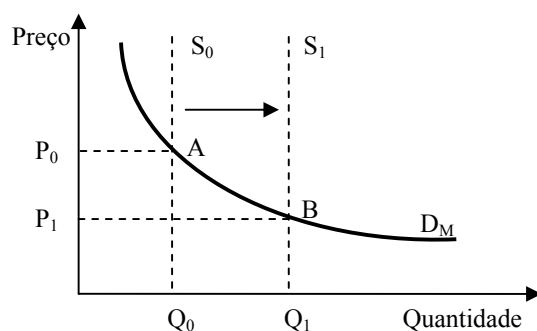


Figura 20 – Um aumento não marginal na oferta: a mudança no excedente do consumidor²¹

²¹ Análise baseada em Randall (1987).

Para que o valor do benefício correspondente a esta área possa ser obtido com o auxílio do cálculo integral, a curva de demanda deveria ser conhecida ou estimada através de técnicas econométricas (estimação empírica).

Esta seção busca detalhar as etapas da metodologia, partindo da coleta de dados, passando pelas estimativas das variáveis econômicas e ambientais consideradas e finalizando com a mensuração dos respectivos benefícios decorrentes da utilização de rodovias em melhores condições de infra-estrutura. O fluxograma apresentado na Figura 21 resume as principais etapas.

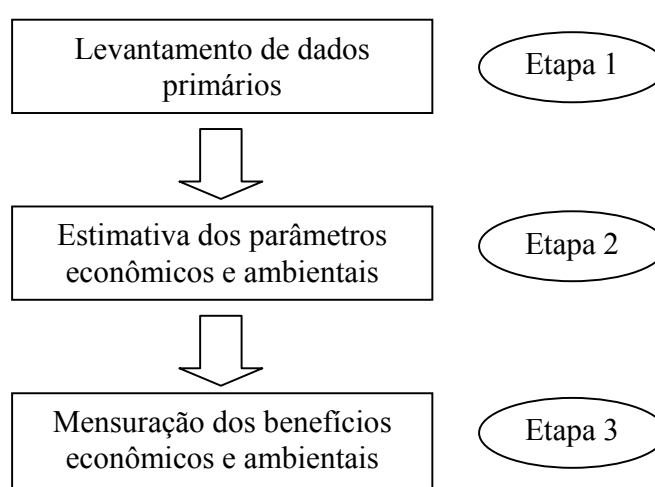


Figura 21 – Etapas da metodologia adotada

Uma descrição detalhada de cada uma das etapas é apresentada nas próximas seções.

4.1 Levantamento de dados primários

Exceto pelo estudo de Bartholomeu (2001), não foram identificadas outras pesquisas cujo objetivo fosse identificar o impacto do estado de conservação das rodovias nas emissões de CO₂. Desta forma, optou-se por adotar um procedimento de coleta dos dados necessários para a realização da pesquisa de forma semelhante àquela realizado por Bartholomeu (2001), no qual foram feitos ensaios de mensuração, através do acompanhamento de viagens por caminhões dotados de computadores de bordo.

Neste sentido, também foram realizadas algumas viagens para a coleta de dados, descritas com detalhes em seguida. A Netz Engenharia²² se responsabilizou pela instalação do computador de bordo nos caminhões, bem como pela coleta dos dados, pelo processo de decodificação dos resultados e pelo envio dos dados obtidos nas viagens realizadas. A Figura 22 ilustra o computador de bordo utilizado para a coleta de dados durante as viagens (*Blue Bird*), já instalado em um dos caminhões utilizados na pesquisa de campo.



Figura 22 – Vista frontal do computador de bordo utilizado para a coleta de dados, já instalado no caminhão

O *Blue Bird* fornece informações sobre o desempenho da viagem (tais como velocidade média, velocidade máxima, percentual de tempo que o motorista permaneceu acima de determinada velocidade especificada, entre outros), importantes para referenciar os dados obtidos diretamente de cada viagem (tais como tempo de viagem, combustível consumido, peso da carga, entre outros).

Cada sensor do *Blue Bird* foi conectado a um ponto específico do caminhão. Por exemplo, para coletar os dados relativos ao perfil de velocidade apresentado pelos caminhões durante as viagens, conectou-se um sensor do *Blue Bird* à saída do sensor eletrônico de velocidade.

Uma vez que uma das principais propostas deste estudo é a quantificação das emissões decorrentes do estado de conservação da rodovia, foi utilizado como *proxy* para tal estimativa a quantidade de combustível (diesel) consumido em diferentes rotas.

²² NETZ ENGENHARIA. Disponível em: <<http://www.netz.com.br>>. Acesso em: 11 set. 2006.

Após a instalação do computador de bordo nos caminhões pela Netz Engenharia, partiu-se para a coleta de dados através da pesquisa de campo. Destaca-se que foram preservadas as mesmas condições de controle em todas as viagens, isto é, manteve-se o mesmo carregamento, o mesmo horário de viagem e as mesmas condições climáticas. Nas viagens realizadas por um mesmo veículo, o motorista foi mantido o mesmo. Ou seja, para cada veículo, fixou-se um motorista. Em todos os casos, o caminhão viajou com a carga na sua capacidade máxima, respeitando-se cada tipo de veículo/implemento.

As rotas estudadas, listadas abaixo, foram classificadas de acordo com as condições de conservação do pavimento, tomando como base os resultados da Pesquisa Rodoviária CNT (2005). Este procedimento é detalhado na seção 4.2.1.

- a) Cubatão (SP) a Campinas (SP) – aproximadamente 198 km;
- b) Ribeirão Preto (SP) a Bauru (SP) - aproximadamente 205 km;
- c) São Paulo (SP) a Goiânia (GO) – aproximadamente 951 km;
- d) São Paulo (SP) a Feira de Santana (BA) – aproximadamente 1.790 km;
- e) Campo Grande (MS) a Santos (SP) – aproximadamente 1.100 km; e
- f) Rondonópolis (MT) a Campo Grande (MS) – aproximadamente 480 km.

Com estas rotas, foram realizados dois experimentos. No primeiro, buscou-se efetivamente avaliar como as condições da rodovia impactam os resultados (consumo de combustível, tempo de viagem, manutenção do veículo e emissões de CO₂). Num segundo experimento, além das condições da via, também foi verificado como veículos diferentes poderiam estar impactando os resultados.

O primeiro tipo de experimento foi adotado para as rotas (a), (b), (c) e (d), as quais foram percorridas por um mesmo tipo de caminhão.

Assim, o trajeto (a), de Cubatão (SP) a Campinas (SP), foi percorrido por três caminhões modelo Volvo FH12, fabricados em 2004, com as seguintes características:

- Implemento: Semi-reboque carga seca;
- N^o de eixos do conjunto (cavalo + semi-reboque): 5; e
- Peso Bruto Total Combinado (peso do cavalo mais o peso do semi-reboque mais o peso da carga transportada): 42,5 t.

A rota (b) - que liga Ribeirão Preto (SP) a Bauru (SP) -, a rota (c) - entre São Paulo (SP) e Goiânia (GO) -, e a rota (d) - entre São Paulo e Feira de Santana -, foram percorridas, cada

uma, por três caminhões modelo Volvo FH12, fabricados em 2004, e caracterizados por possuírem:

- Implemento: Semireboque sider;
- N° de eixos do conjunto (cavalo + semi-reboque): 5; e
- Peso Bruto Total Combinado (peso do cavalo mais o peso do semi-reboque mais o peso da carga transportada): 42,5 t.

Assim, apesar de o implemento utilizado na rota (a) ser diferente dos adotados nas rotas (b), (c) e (d), foram feitas as comparações para as três rotas conjuntamente, uma vez que o modelo/ano do veículo, assim como o Peso Bruto Total Combinado eram os mesmos. A Tabela 10 apresenta os procedimentos adotados nesses experimentos.

Tabela 10 – Características dos veículos e das viagens realizadas para a coleta de dados na rota (a), (b), (c) e (d)

Rota	Modelo do Veículo	N° de veículos	N° de viagem por veículo	N° total de viagens	Período das viagens
(a) Cubatão a Campinas (198 km)	Volvo FH12	3	4	12	Março/2005
(b) Ribeirão Preto a Bauru (205 km)	Volvo FH12	3	4	12	Janeiro/2005
(c) São Paulo a Goiânia (951 km)	Volvo FH12	3	4	12	Março/2004
(d) São Paulo a Feira de Santana (1.790 km)	Volvo FH12	3	4	12	Abril e Maio/2006

Já no segundo tipo de experimento, as rotas (d) e (e) foram estudadas e comparadas. Os trajetos de Campo Grande (MS) a Santos (SP) e de Rondonópolis (MT) a Campo Grande (MS) foram percorridos por cinco caminhões: 3 deles modelo Scania R124-420 e outros dois modelo MB 1944S, os quais possuíam as seguintes características:

- Implemento: Bitrem – graneleiro;
- N° de eixos do conjunto (cavalo + semi-reboque): 7;

- Peso Bruto Total Combinado (peso do cavalo mais o peso do semi-reboque mais o peso da carga transportada): 57 t; e
- Ano de fabricação: 2004.

A Tabela 11 ilustra as principais características dos procedimentos adotados.

Tabela 11 – Características dos veículos e das viagens realizadas para a coleta de dados nas rotas (d) e (e)

Rota	Modelo do Veículo	Nº de veículos	Nº de viagem por veículo	Nº total de viagens	Período das viagens
d) Campo Grande - Santos (1.100 km)	Scania R124-420	3	4	12	Abril/2005
	MB 1944S	2	4	8	Abril/2005
e) Rondonópolis - Campo Grande (480 km)	Scania R124-420	3	4	12	Julho/2005
	MB 1944S	2	4	8	Julho/2005

Em cada viagem, além dos dados fornecidos pelo *Blue Bird*, também foram coletados o consumo de combustível e o tempo gasto.

As características detalhadas de cada rota, bem como os dados coletados e resultados obtidos são apresentados no capítulo seguinte.

4.2 Estimativa dos parâmetros econômicos e ambientais

Nesta seção são descritos os procedimentos adotados na segunda etapa metodológica, que corresponde, inicialmente, à classificação das rotas de acordo com as condições de pavimentação das rodovias. Em seguida, são calculados os benefícios econômicos (referentes ao consumo de combustível, ao tempo de viagem e ao gasto com manutenção do veículo) e ambientais (referentes às emissões de CO₂) relacionados a uma viagem em rodovias em melhores condições de conservação. A metodologia adotada para a valoração destes benefícios é objeto da terceira etapa, descrita na seção 5.3. A Figura 23 ilustra a seqüência adotada para a realização dos cálculos.

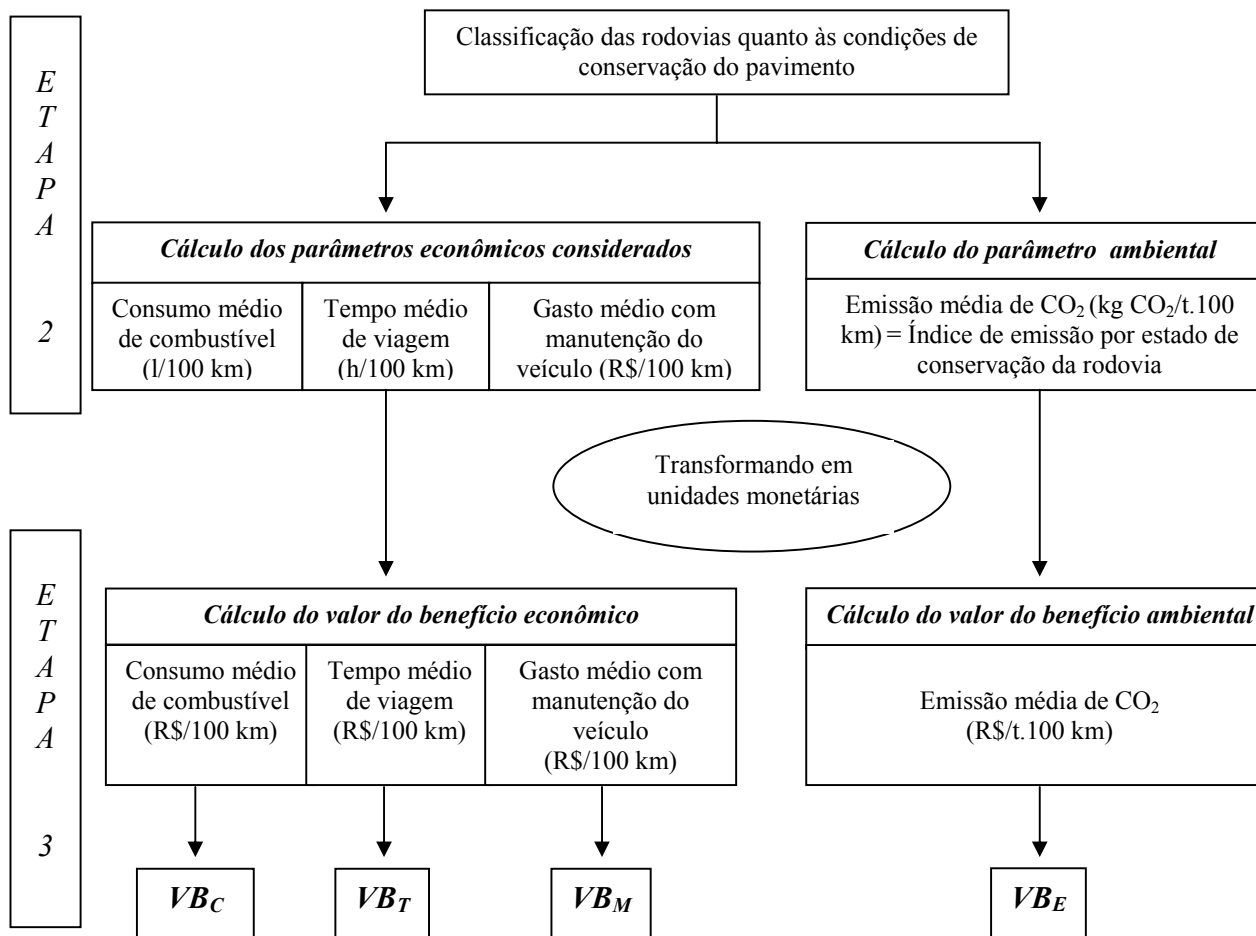


Figura 23 - Passos seguidos para a realização dos cálculos necessários estimar os Valores dos Benefícios Econômicos e Ambientais

4.2.1 Classificação das rotas

Inicialmente, as rotas estudadas foram classificadas pelo estado de conservação da pista, tomando como base os resultados divulgados pela Pesquisa Rodoviária (CNT, 2005a) para determinadas ligações cujos trechos eram comuns. Uma “ligação rodoviária” é uma extensão formada por uma ou mais rodovias pavimentadas (federais ou estaduais), que interligam unidades da Federação com grande relevância social, política e econômica. Em 2005, foram analisadas 109 ligações rodoviárias, totalizando quase 82 mil km, compreendendo toda a malha viária federal pavimentada e também extensões de rodovias estaduais e rodovias transitórias.

A metodologia da Pesquisa Rodoviária CNT consiste, basicamente, na avaliação de trechos rodoviários de até 10 km, por meio de preenchimento de formulários específicos, procurando identificar a ocorrência e a predominância de uma série de características viárias, que incluem atributos da geometria da via, da pavimentação ou da sinalização da rodovia. Através da ponderação de cada atributo é determinada uma nota para cada rodovia, sendo a sua classificação final definida conforme os intervalos apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Classificação das rodovias segundo a Pesquisa Rodoviária

Classificação segundo a Pesquisa CNT		Intervalo de pontos para fins de ponderação
Ótimo	=>	$91 \leq \text{nota} \leq 100$
Bom	=>	$81 \leq \text{nota} \leq 90$
Deficiente	=>	$56 \leq \text{nota} \leq 80$
Ruim	=>	$41 \leq \text{nota} \leq 55$
Péssimo	=>	$0 \leq \text{nota} \leq 40$

Fonte: CNT (2005a)

Especificamente com relação ao pavimento, a pesquisa busca avaliar as condições de conforto e segurança oferecidos ao usuário e realizar um levantamento das principais ocorrências observadas na superfície dos pavimentos asfálticos, através da verificação de defeitos predominantes na superfície do segmento (afundamentos, remendos, trincas, desgastes, buracos). Os atributos avaliados sob esse critério são: condições da superfície, velocidade devido ao pavimento, pavimento em obras, acostamento e pavimento do acostamento. Também são observadas as ocorrências críticas da rodovia como, por exemplo, a existência de erosões, buracos grandes, queda de barreiras, pontes caídas, entre outras (CNT, 2005a).

Para cada ligação analisada, a Pesquisa Rodoviária fornece uma figura com a classificação em trechos menores, de modo que é possível visualizar aqueles que realmente são comuns entre o estudo da CNT e as rotas pesquisadas nesta Tese.

Em vista disso, optou-se por uma classificação mais simplificada, de acordo com a sugestão dos relatórios da Pesquisa Rodoviária por ligação, de forma a considerar apenas dois grupos:

- “*Melhor*”: rotas cujas extensões apresentem mais de 80% de rodovias consideradas “Ótimas” ou “Boas”; e
- “*Pior*”: rotas cujas extensões apresentem menos de 80% de rodovias consideradas “Ótimas” ou “Boas”.

A Tabela 13 ilustra essa nova classificação.

Tabela 13 - Classificação das rodovias adotada para esta tese

Classificação segundo a Pesquisa CNT		Classificação segundo a Tese ²³		% de trechos considerados
Ótimo	=>	<i>Melhor</i>	=>	>90
Bom	=>	<i>Melhor</i>	=>	80 - 90
Deficiente	=>	<i>Pior</i>	=>	60 - 80
Ruim	=>	<i>Pior</i>	=>	40 - 60
Péssimo	=>	<i>Pior</i>	=>	0 - 40

Fonte: CNT (2005a)

Com este procedimento, foi possível agrupar rotas em grupos com características mais próximas quanto ao estado de conservação da rodovia, a fim de verificar as diferenças de emissões observadas nas rodovias com diferentes condições de pavimentação. Especificamente, procurou-se comparar os resultados obtidos por caminhões percorrendo rotas consideradas “*Melhores*” com os resultados obtidos pelos caminhões percorrendo as rota “*Piores*”.

²³ No caso em que se identificou mais de uma rota considerada “*Melhor*”, estas foram numeradas da seguinte maneira: *Melhor(1)* e *Melhor(2)*. O mesmo procedimento foi adotado para rotas classificadas como “*Pior*”.

4.2.2 Cálculo dos parâmetros econômicos

Os parâmetros econômicos considerados dizem respeito ao consumo de combustível (l/100 km), ao tempo de viagem (h/100 km) e ao gasto com manutenção do veículo (R\$/100 km) nas rotas percorridas.

Com relação aos dois primeiros parâmetros, foi realizada uma análise estatística dos dados coletados a partir dos experimentos conduzidos. O teste de hipótese considerou a diferença entre duas médias admitindo que as variâncias são desconhecidas, mas supostamente diferentes (HOFFMANN, 1991), o que altera o número de graus de liberdade, tornando a análise mais apurada. No caso, buscou-se testar (rejeitar) a hipótese nula de que o consumo médio de combustível e o tempo médio de viagem são iguais para rotas com diferentes estados de conservação, com base em amostras aleatórias e independentes, com cada experimento de coleta de dados possuindo um número de observações que não necessariamente são iguais. A hipótese nula a ser rejeitada é: $H_0: \mu_1 = \mu_2$, ou seja, $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$, onde: μ_1 = valores médios (consumo de combustível ou tempo de viagem) observados nas rotas em piores estados de conservação; e μ_2 = valores médios (consumo de combustível ou tempo de viagem) observados nas rotas em melhores estados de conservação.

A hipótese alternativa inicialmente testada foi de que os valores médios observados nas rotas em piores estados de conservação são maiores do que a média obtida em rotas melhores: $H_0: \mu_1 > \mu_2$, ou seja, $H_0: \mu_1 - \mu_2 > 0$.

Entretanto, em situações nas quais verificou-se comportamento oposto ao imaginado inicialmente, a hipótese alternativa testada foi: $H_0: \mu_1 < \mu_2$, ou seja, $H_0: \mu_1 - \mu_2 < 0$.

Segundo Hoffmann (2001), se as variâncias são desconhecidas e supostas diferentes, para testar H_0 , com base em amostras aleatórias independentes com n_1 observações de X_1 e n_2 observações de X_2 , utiliza-se a variável t' , obtida pela eq. (6).

$$t' = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - \theta}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \quad (6)$$

onde:

\bar{X}_1 e \bar{X}_2 = médias dos valores das duas amostras;

s_1^2 e s_2^2 = variâncias das duas amostras; e

n_1 e n_2 = tamanhos das duas amostras.

Segundo o autor (p. 180), “a variável t' não tem, a rigor, distribuição de t . Entretanto, sua distribuição é semelhante a uma distribuição de t e um valor crítico aproximado pode ser obtido da tabela de t ” utilizando o número de graus de liberdade dado pela eq. (7).

$$g = \frac{(\omega_1 + \omega_2)^2}{\frac{\omega_1^2}{n_1 - 1} + \frac{\omega_2^2}{n_2 - 1}} \quad (7)$$

onde:

$$\omega_1 = \frac{s_1^2}{n_1} \text{ e } \omega_2 = \frac{s_2^2}{n_2} \quad (8)$$

a) Consumo médio de combustível

Supõe-se que o consumo de combustível é função do estado de conservação da rodovia. Assim, o consumo do caminhão trafegando por rotas em diferentes estados de conservação deve ser estimado a partir dos dados primários levantados. Com os dados de quilometragem total percorrida e consumo total de combustível, pode-se obter o consumo médio em litros por km.

Para cada viagem, verificou-se a autonomia dos veículos utilizados, simplesmente dividindo o consumo total de combustível (em litros) pela distância percorrida (em quilômetros) – eq. (8).

$$Autonomia_{i,j} = \frac{ConsumoTotal(l)}{Distância(km)} \times 100 \quad (8)$$

onde:

$Autonomia_{i,j}$ = quantidade consumida de combustível para percorrer 100 km (i = número da viagem: 1, 2, ..., n ; j = condição da rodovia: “Melhor”, “Pior”).

Em cada grupo de pavimento (“Melhor”, “Pior”), tomou-se a média destes valores, encontrando o consumo médio (em l/100 km) para as rotas com diferentes condições de conservação (eq. 9).

$$ConsMed_j = \frac{\sum_{i=1}^n Autonomia_{i,j}}{n} \quad (9)$$

onde:

$ConsMed_j$ = consumo médio de combustível (em l/100 km) decorrente da utilização de rotas com determinado estado de conservação (j = condição da rodovia: “Melhor”, “Pior”).

b) Tempo médio de viagem

Estradas em melhores condições de infra-estrutura devem permitir uma maior velocidade média de viagem, resultando numa redução no tempo de viagem. Assim, da mesma forma, o tempo de viagem é função dos diferentes estados de conservação, e deve ser estimado a partir dos dados primários levantados. Com os dados de quilometragem total percorrida e do tempo total da viagem, pode-se obter o tempo médio (h/100 km).

Desta forma, verificou-se, para cada viagem, o tempo necessário para percorrer 100 km, simplesmente dividindo o tempo total de viagem (em horas) pela distância percorrida (em quilômetros) – eq. (10).

$$Tempo_{i,j} = \frac{TempoTotal(h)}{Distância(km)} \times 100 \quad (10)$$

onde:

$Tempo_{i,j}$ = tempo total necessário para percorrer 100 km (i = número da viagem: 1, 2, ..., n ; j = condição da rodovia: “Melhor”, “Pior”).

Em cada grupo de pavimento (“Melhor”, “Pior”), tomou-se a média destes valores, encontrando o tempo médio (em h/100 km) para as rotas com diferentes condições de conservação (eq. 11).

$$TempoMed_j = \frac{\sum_{i=1}^n Tempo_{i,j}}{n} \quad (11)$$

onde:

$TempoMed_j$ = tempo médio necessário para percorrer 100 km decorrente da utilização de rotas com determinado estado de conservação, em h/100 km (j = condição da rodovia: “Melhor”, “Pior”).

De acordo com Reis (2006), estradas em mau estado reduzem a velocidade dos veículos; conseqüentemente, o motorista consegue realizar um número inferior de viagens em relação ao potencial, aumentando o custo fixo por viagem (depreciação, remuneração do capital, seguros e licenciamento, entre outros).

Portanto, quando se considera o tempo na análise, há também um impacto indireto nos custos fixos de uma viagem, que são expressos em R\$/h. Quanto mais tempo o caminhão estiver em movimento, mais os custos fixos se diluem nas viagens. Assim, o interessante é aumentar número de viagens ou a distância percorrida num mesmo espaço de tempo.

Neste sentido, a partir do tempo médio ($TempoMed_j$) obtido nas rotas com diferentes estados de conservação, o “custo indireto de tempo” será estimado a partir de custos fixos estimados pelo Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial - ESALQ-LOG, tomando como base metodologia desenvolvida por Figueiredo et al. (2003).

c) Gasto com manutenção do veículo

Também supõe-se que o custo de manutenção do veículo seja função direta do estado de conservação das rodovias. Segundo Reis (2006, p. 1), “o custo operacional de veículos, especialmente dos caminhões, é fortemente afetado pelo estado de conservação do pavimento das rodovias”. No caso dos custos variáveis (tais como combustível, pneus, peças, lubrificação e lavagem), os custos aumentam consideravelmente à medida em que o estado de conservação da rodovia piora. No caso dos custos fixos, estes foram considerados quando analisados o tempo de viagem, na seção anterior.

Assim sendo, os custos de manutenção do veículo foram calculados a partir de dados secundários, obtidos a partir de estudos já publicados.

Dentre esses estudos, o principal é de autoria de Reis (2006), que realizou uma pesquisa com o objetivo de verificar o impacto das condições da rodovia nos custos de manutenção de uma Scania 4x2 tracionando uma carreta de 3 eixos, uma vez que este veículo apresentou, segundo estudo tomado como referência pelo autor (BODELI, 1997), uma menor

sensibilidade, evitando uma superestimação dos resultados, os quais estão reproduzidos na Tabela 14.

Tabela 14 - Custo (R\$/km) de um caminhão Scania 4x2 tracionando carreta de 3 eixos de acordo com a condição da rodovia – janeiro/2006

Condição da Rodovia	Custo (R\$/km)	Custo adicional em relação ao estado “Bom” (%)	Classificação na Tese	Variação no Custo (%)
Ótimo	1,89	---	Ótimo/Bom (<i>Melhor</i>)	0,0
Bom	2,25	---		
Deficiente	2,67	18,67	Defic/ruim/péssimo (<i>Pior</i>)	18,7
Ruim	3,13	39,11		
Péssimo	3,62	60,89		

Fonte: Reis (2006)

Na valoração do benefício, foi suposto que a diferença entre as condições de conservação da pista e, portanto, a variação no custo de manutenção fossem as menores possíveis, tomando-se como referência a variação percentual entre uma rota “boa” e outra em estado “deficiente” (18,7%).

Estimativas mensais de custos variáveis de transporte, sem levar o estado de conservação da pista em consideração, também são realizadas pelo ESALQ-LOG, tomando como base a mesma metodologia proposta por Figueiredo et al. (2003).

Assim, para cada tipo de caminhão utilizado nas viagens para coleta de dados (bitrem ou carreta) utilizou-se o valor do CV correspondente, sendo que ao mesmo foi aplicada a variação percentual encontrada por Reis (2006) e reproduzida na Tabela 14.

4.2.3 Cálculo dos parâmetros ambientais

No que diz respeito às variáveis ambientais, optou-se por considerar a estimação das emissões de CO₂ decorrentes do percurso de rodovias em diferentes estados de conservação. Os valores de emissão obtidos (em kg CO₂/t.100 km) para cada grupo de rodovia (“*Melhor*” ou “*Pior*”) representam um “índice de emissão”, a partir do qual uma transportadora, por exemplo, conseguirá estimar as emissões decorrentes de uma determinada viagem realizada, apenas considerando o peso da carga e a distância percorrida.

Constatou-se um número significativo de artigos internacionais²⁴ que buscavam quantificar as emissões de poluentes globais e, principalmente locais. As finalidades dos trabalhos eram diversas, mas predominavam quantificações com vistas a direcionar políticas públicas em relação ao transporte, tanto de cargas quanto de passageiros. Nenhum dos artigos considerou, especificamente, as condições das rodovias como determinantes das emissões pelo transporte.

Em geral, as metodologias adotadas pelos estudos analisados foram basicamente a aplicação de *softwares* específicos para os cálculos das emissões, de acordo com os objetivos a que se propunham alcançar. Uma desvantagem decorrente da utilização destes programas está relacionada aos valores *default* sugeridos por eles, normalmente baseados em estimativas para as frotas norte-americanas e européias e, portanto, não refletindo adequadamente a realidade brasileira.

Dentre os programas identificados, o Highway Development and Management System - HDM-4, além de considerar avaliações de projetos, também prevê o consumo de energia das opções de investimento e as emissões dos veículos. Seria, assim, um *software* elegível para a utilização no estudo. Entretanto, segundo um dos especialistas na utilização do HDM no Brasil (informação verbal)²⁵, o pacote que analisa os impactos ambientais ainda precisará de diversos ajustes para aumentar a confiabilidade dos cálculos, inclusive de adaptações nos valores *default* para o caso brasileiro.

Diante disso, optou-se por adotar uma metodologia elaborada a partir das propostas e valores obtidos das seguintes fontes: IPCC (1997), Bartholomeu (2001) e Brasil (2002a). A principal finalidade desta metodologia é fornecer uma seqüência de procedimentos de cálculo para as estimativas das emissões por veículos rodoviários de carga, considerando os efeitos das condições das rodovias sobre o consumo de combustível.

²⁴ Niemeier, Lin e Utts (1999); Burón et al. (2004); Sturm et al. (1996); Bishop et al. (1996); Perry e Gee (1995); Hatashi, Kato e Teodoro (2001); Harrington (1996); Gramotnev et al. (2002); Samaras e Zierock (1994); Midenet, Boillot e Pierrelée (2004); Lakshmanan e Han (1997); Johanson (1999); Begg e Gray (2004); Ramanathan e Parikh (1999), entre outros.

²⁵ FERNANDES JUNIOR, J.L. Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos - EESC/USP. São Carlos, jan. 2006.

a) Emissões de CO₂

Uma vez que os resultados perseguidos relacionados às emissões de CO₂ dependem de dados específicos e detalhados sobre consumo de combustível, quilometragem percorrida, fatores de emissão locais, estado de manutenção da frota, entre outros, o método mais adequado seria o *Bottom-up* ou *Tier 2* sugerido pelo IPCC (1997).

Assim como foi assumido em Brasil (2002b), as estimativas dos GEE emitidos pelo transporte rodoviário pesado também se restringiram às emissões da combustão de óleo diesel, uma vez que o transporte de cargas é predominantemente movido a diesel.

Já que diversos trabalhos²⁶ consideram que apenas uma parte inexpressiva do carbono escapa à oxidação (transformando-se em cinza ou fuligem), foi adotada a premissa de que a combustão é completa, isto é, todo o carbono do combustível é convertido em CO₂ (foram desconsiderados CO e NMVOC, que são posteriormente transformados em CO₂ na atmosfera). As emissões estimadas também não consideram a pequena e incerta parcela referente às emissões de N₂O e CH₄, tal como adotado por Álvares e Linke (2003) e sugerido pelo *GHG Protocol* (2005). Estas duas suposições acabam influenciando os resultados em menos de 0,5%, portanto, não representativamente.

De acordo com Branco et al. (2003), os fatores de emissão dos veículos dependem das características do tráfego local, tais como o volume, a velocidade média, a inclinação da pista, do número de faixas de rolamento, tipos de veículos e classes de peso e indicativos do nível de serviço da pista. Além disso, os fatores de emissão de veículos também dependem da idade e tecnologia do veículo, assim como das condições de manutenção e operação (carga, velocidade e modo de conduzir).

Assim, a contagem do tráfego classificado por classe de veículo é um dos fatores determinantes da variação do potencial poluidor da via em função dos fatores de emissão reais da frota para suas condições de tráfego (BRANCO et al., 2003).

Nesta tese, foi adotado o fator de emissão de CO₂ a partir do diesel de 2,75 kg/l, valor médio entre os sugerido por Brasil (2002b) e Bartholomeu (2001). Entretanto, este valor não considera as especificações levantadas por Branco et al. (2003), mas corresponde a uma estimativa geral que considera as características médias do diesel comercializado no Brasil.

²⁶ Pagliuso, 2001 apud Bartholomeu (2001); Álvares e Linke (2003); Brasil (2002b); IPCC (1997), entre outros.

Portanto, para o cálculo das emissões de CO₂ pelos caminhões trafegando em estradas com diferentes condições de conservação, a eq. (12) deverá ser utilizada.

$$E_j = \frac{CEMed_j \times FE}{100} \quad (12)$$

onde:

E_j = emissão média de CO₂ pelos caminhões trafegando em estradas com diferentes condições de conservação (j = condição da rodovia: “Melhor”, “Pior”), em kg CO₂/t.100 km;

$CEMed_j$ = Consumo específico médio dos caminhões para cada grupo de pavimento (j = condição da rodovia: “Melhor”, “Pior”), em l/t.100km;

FE = fator de emissão de CO₂ pelo diesel, cujo valor adotado é 2,75 kg/l.

Como já mencionado, o consumo específico anula o possível efeito da variabilidade do peso da carga transportada, e indica a quantidade de litros consumida por tonelada transportada a cada 100 quilômetros.

O consumo específico médio corresponde à média simples dos consumos específicos encontrados em cada viagem, separados por grupos de condições de conservação da pista. Deste modo, a diferença das emissões pelos caminhões será observada através do consumo de combustível, multiplicado pelo fator de emissão.

De maneira simplificada, o valor encontrado para E_j corresponde a um “índice de emissão” por veículos rodoviários pesados de acordo com a condição da rodovia; assim sendo, reflete a quantidade de CO₂ emitida (em kg) para transportar 1 tonelada a cada 100 quilômetros, para os diferentes estados de conservação considerados na pesquisa. Conhecendo a carga total transportada e a distância percorrida, é possível estimar a emissão resultante de uma determinada viagem. No agregado, é possível calcular as emissões de uma transportadora, ou até mesmo de um setor econômico.

4.3 Valoração dos benefícios econômicos

Dado que uma melhor condição de pavimentação deve implicar menores valores de consumo médio de combustível, de tempo médio de viagem e de gasto com manutenção do

veículo, há um benefício econômico implícito resultante de viagens em rodovias em boas condições de conservação em relação às viagens realizadas em rodovias com condições precárias.

Neste sentido, esta seção detalha os procedimentos relacionados à valoração dos benefícios envolvidos em cada item analisado, e é finalizada com a quantificação do benefício total. Deve-se destacar que os benefícios econômicos foram determinados padronizando-se os valores expressos em R\$/100 km, que podem ser aproximados para cada viagem, isto é, quanto, em termos monetários, o motorista estará poupando ao transitar em rodovias melhores do ponto de vista do consumo de combustível, do tempo de viagem e do gasto com manutenção do veículo, ao realizar uma viagem específica.

A análise é feita considerando a economia obtida a cada 100 quilômetros percorridos, independentemente se o motorista é autônomo ou contratado por uma empresa transportadora, uma vez que os valores resultantes devem ser os mesmos. Entretanto, ao assumir o ponto de vista de um motorista autônomo, por exemplo, sabe-se que os benefícios econômicos resultantes serão repassados diretamente a ele, como forma de redução de custo de viagem. Este, por sua vez, poderá internalizar esta economia e agir de duas formas: pode optar por realizar maior número de viagens (dada a possibilidade de percorrer maior distância num mesmo tempo) ou aumentar suas horas de lazer. De outra forma, uma vez que os resultados de uma melhoria em infra-estrutura beneficiarão a todos os motoristas que trafegam pelo trecho em questão, todos observarão as mesmas economias. Assim, dado que a oferta de transporte se insere num mercado em condições de concorrência perfeita, num segundo momento o frete tende a diminuir, gerando um efeito multiplicador positivo na economia como um todo.

Em concorrência perfeita, a oferta de mercado de um bem ou serviço é representada pela curva de Custo Marginal a partir de seu Custo Médio Mínimo, ponto no qual todos os fatores são remunerados. Entretanto, teoricamente, presencia-se lucro econômico nulo. Se os custos de transporte são reduzidos, há um deslocamento para baixo na curva de Custo Médio do mercado e, por conseguinte, o preço de equilíbrio (frete) é reduzido. Com a redução do valor geral do frete, os preços dos produtos transportados por rodovia também devem diminuir, provocando, por um lado, uma elevação na capacidade de consumo do mercado interno e, por outro, um aumento da competitividade dos produtos brasileiros no comércio internacional.

Do ponto de vista da transportadora, caso o motorista seja contratado, os beneficiários não são diretamente observáveis, uma vez que vai depender da relação entre contratante e

contratado. A transportadora pode repassar todo o benefício ao motorista, pode passar parte do benefício ou simplesmente pode internalizar toda a economia na empresa. Neste último caso, o benefício total para a transportadora dependerá do número de viagens e de caminhões que possuir. Da mesma forma, num segundo momento, os custos de todas as transportadoras devem diminuir e, conseqüentemente, o frete tende a cair, gerando um efeito multiplicador positivo para a sociedade em geral.

Ademais, apesar de os benefícios de uma determinada viagem serem os mesmos independentemente do agente, pode-se inferir que, no agregado, do ponto de vista do motorista, os resultados serão subestimados em relação à ótica de uma firma (transportadora) ou, principalmente, para o setor de transporte de cargas como um todo. Isto ocorre porque, para o motorista, não se observam os efeitos multiplicadores que ocorreriam no caso de uma firma (por exemplo, se há um “ganho” de 1h a cada 500 km percorridos, ao longo do mês a transportadora consegue realizar maior número de viagens e, portanto, movimentar maior volume de carga). Talvez o motorista individualmente não consiga usufruir da totalidade destes benefícios, transformando diretamente este “ganho” em “produção”.

Desta maneira, esta análise foca na identificação e valoração dos benefícios econômicos por determinada viagem, não identificando o beneficiário direto (autônomo ou transportadora). Assume-se, portanto, que em ambos os casos seriam observados os mesmos benefícios. A análise também é feita para o curto-prazo, no qual os benefícios ainda não foram percebidos pela sociedade.

Dado que, segundo dados da CNT (2002), a maior parte das viagens realizadas pelas transportadoras de cargas refere-se à rotas com extensão superior a 1.000 km (mais de 32% delas), também são apresentados os resultados para uma rota hipotética, mas representativa do transporte rodoviário de cargas, com com 1.100 km de extensão.

a) Benefício com consumo de combustível

Uma vez que o consumo de combustível deve ser função do estado de conservação da rodovia, deve haver um benefício líquido resultante de um menor consumo médio de combustível por quilômetro percorrido.

O benefício (B_c) que o motorista observa é obtido a partir da subtração do consumo médio em rodovias em bom estado do consumo médio em rodovias em mau estado.

Portanto, o valor do benefício para o motorista (VBc) é calculado como:

$$VBc = Bc \times P \quad (13)$$

onde:

VBc = valor do benefício (economia) com consumo de combustível resultante do percurso em rodovias com melhor infra-estrutura (R\$/100 km);

Bc = benefício resultante de uma redução/economia no consumo médio de combustível (l/100 km); e

P = preço médio do diesel em maio de 2006, cujo valor médio nacional foi de R\$ 1,915²⁷.

Para encontrar o Valor do Benefício com consumo de combustível para uma determinada viagem, basta multiplicar VBc pela extensão da rota percorrida, conforme eq. (14).

$$VBc' = VBc \times D/100 \quad (14)$$

onde:

VBc' = valor do benefício (economia) com consumo de combustível resultante de uma viagem em rodovias com melhor infra-estrutura (R\$);

VBc = valor do benefício (economia) com consumo de combustível resultante do percurso em rodovias com melhor infra-estrutura (R\$/100 km); e

D = extensão da rota percorrida (km).

O seguinte exemplo hipotético ilustra a seqüência de cálculo do benefício anual para um motorista, decorrente de uma redução no consumo de combustível. Supondo uma rota com extensão de 300 km que apresenta toda a sua extensão recuperada (passa da classificação “Pior” para “Melhor”), verifica-se uma redução em 100 ml de combustível necessário para percorrer 1 km. O valor do benefício (VBc) que o motorista obterá, para esta viagem, será: $VBc = (0,1 \times 300 \times 1,915) = R\$ 57,45/viagem$.

²⁷ AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO - ANP. **Relatórios Mensais de Preços**. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/doc/petroleo/relatorios_precos/2006/Diesel_2006.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2006.

b) Benefício com tempo de viagem

Uma melhoria nas estradas deve possibilitar um aumento na velocidade média, resultando em queda no tempo de viagem. Assim, há um benefício (economia) decorrente de um menor tempo necessário para percorrer uma mesma distância.

Como já mencionado, o resultado prático, neste caso, também vai depender do ponto de vista adotado (se do autônomo ou da transportadora), podendo favorecer um aumento no número de viagens realizadas ou na distância percorrida por dia.

Assim, o benefício privado (Bt) resultante de uma redução no tempo de viagem dada uma melhoria na condição de pavimentação da rodovia é dado pela subtração dos valores obtidos (tempo médio em rodovias em mau estado – tempo médio em rodovias em bom estado).

Para valorar o benefício privado (VBt), foram considerados os benefícios diretos, resultantes de uma maior remuneração relativa para o motorista e os benefícios indiretos, resultantes de uma diluição dos custos fixos de transporte.

O valor do benefício direto (VBt_d) foi calculado a partir da eq. (15).

$$VBt_d = Bt \times M \quad (15)$$

onde:

VBt_d = valor do benefício direto (economia) com tempo de viagem resultante do percurso em rodovias com melhor infra-estrutura (R\$/100 km); e

Bt = benefício resultante de uma redução/economia no tempo médio de viagem (h/100 km); e

M = valor da hora paga ao motorista.

O valor da hora paga ao motorista considerado nos cálculos é de R\$ 7,52. Este valor foi obtido considerando o piso salarial para carreteiros da região metropolitana do estado do Rio Grande do Sul, de R\$ 883,00, mais 22 diárias de R\$ 20,00 relativas à alimentação, totalizando R\$ 1.323,00/mês (SETSERGS, 2006). Foi suposto, para o cálculo, que o motorista trabalha 8 horas por dia, durante 22 dias.

O valor do benefício indireto (VBt_i) foi calculado a partir da eq. (16).

$$VBt_i = Bt \times CF \quad (16)$$

onde:

VBt_i = valor do benefício indireto (economia) com tempo de viagem resultante do percurso em rodovias com melhor infra-estrutura (R\$/100 km); e

Bt = benefício resultante de uma redução/economia no tempo médio de viagem (h/100 km); e

CF = custos fixos estimados pelo ESALQ-LOG em julho de 2006 (R\$/h) para carreta (R\$ 26,20/h) e bitrem (R\$ 32,64/h).

Portanto, o VBt pode ser expresso pela eq. (17).

$$VBt = VBt_d + VBt_i \quad (17)$$

onde:

VBt = valor do benefício (economia) com tempo de viagem resultante do percurso em rodovias com melhor infra-estrutura (R\$/100 km);

VBt_d = valor do benefício direto (economia) com tempo de viagem resultante do percurso em rodovias com melhor infra-estrutura (R\$/100 km); e

VBt_i = valor do benefício indireto (economia) com tempo de viagem resultante do percurso em rodovias com melhor infra-estrutura (R\$/100 km).

ou pela eq. (18).

$$VBt = Bt (M + CF) \quad (18)$$

onde:

VBt = valor do benefício (economia) com tempo de viagem resultante do percurso em rodovias com melhor infra-estrutura (R\$/100 km);

Bt = benefício resultante de uma redução/economia no tempo médio de viagem (h/100 km);

M = valor da hora paga ao motorista; e

CF = custos fixos de transporte.

Para encontrar o Valor do Benefício com tempo de viagem para uma determinada viagem, basta multiplicar VBt pela extensão da rota percorrida, conforme eq. (19).

$$VBt' = VBt \times D/100 \quad (19)$$

onde:

VBt' = valor do benefício (economia) com tempo resultante de uma viagem em rodovias com melhor infra-estrutura (R\$);

VBt = valor do benefício (economia) com tempo de viagem resultante do percurso em rodovias com melhor infra-estrutura (R\$/100 km); e

D = extensão da rota percorrida (km).

Considerando as mesmas condições do exemplo anterior, suponha-se que a velocidade média de uma carreta trafegando na mesma rodovia antes da recuperação do pavimento era de 50 km/h quando o pavimento estava ruim; com isso, seriam necessárias 6h para realizar uma viagem. Com a recuperação da rodovia, a velocidade média aumenta para 75 km/h, resultando num tempo total necessário para realização da viagem de 4h. Portanto, há um ganho total de 2 horas. Tomando-se como referência que a hora paga para o motorista seja de R\$ 7,52, o valor do seu benefício será: $VBt = 2 \times (7,52 + 26,20) = \text{R\$ } 67,44$.

c) Benefício com gasto de manutenção do veículo

Dado que o gasto anual com a manutenção do caminhão é equivalente à distância total percorrida numa viagem multiplicada pelo custo médio de manutenção do veículo, o valor do benefício (VBm) será obtido diretamente através da diferença entre o gasto médio de manutenção em rodovias em mau estado e o gasto médio de manutenção em rodovias em bom estado.

$$VBm = Bm \times CVMe \quad (20)$$

onde:

VBm = valor do benefício (economia) com manutenção do veículo resultante do percurso em rodovias com melhor infra-estrutura (R\$/100 km);

Bm = benefício resultante de uma redução/economia no custo médio de manutenção do caminhão (%); e

$CVMe$ = custos variáveis estimados pelo ESALQ-LOG em julho de 2006 (R\$/km) para carreta (R\$ 1,43/km) e bitrem (R\$ 1,75/km).

O benefício (Bm) refere-se aos valores encontrados por Reis (2006), em termos percentuais.

Para encontrar o Valor do Benefício com manutenção do veículo para uma determinada viagem, basta multiplicar VBm pela extensão da rota percorrida, conforme eq. (21).

$$VBm' = VBm \times D/100 \quad (21)$$

onde:

VBc' = valor do benefício (economia) com manutenção do veículo resultante de uma viagem em rodovias com melhor infra-estrutura (R\$);

VBc = valor do benefício (economia) com manutenção do veículo resultante do percurso em rodovias com melhor infra-estrutura (R\$/100 km); e

D = extensão da rota percorrida (km).

Considerando ainda o mesmo motorista do exemplo anterior, supondo que o trecho em que ele transita recebe um investimento em manutenção da malha, passando da classificação “Pior” para “Melhor”, seu custo variável médio deve ser reduzido em 18,67%; então, seu benefício por viagem será: $VBm = 0,28 \times 300 \times 1,43 = \text{R\$ } 120,12/\text{viagem}$.

d) Benefício econômico total

O valor do Benefício Econômico Total - $VBET$ para o motorista é dado pela soma dos benefícios econômicos calculados anteriormente (eq. 22).

$$VBET = VBc + VBt + VBm \quad (22)$$

onde:

VBc = valor do benefício (economia) com consumo de combustível resultante de uma viagem em rodovias com melhor infra-estrutura (R\$/viagem);

VBt = valor do benefício (economia) com tempo de viagem resultante de uma viagem em rodovias com melhor infra-estrutura (R\$/viagem);

VBm = valor do benefício (economia) com manutenção do veículo resultante de uma viagem em rodovias com melhor infra-estrutura (R\$/viagem);

Pelo exemplo hipotético, seriam economizados R\$ 245,01 a cada viagem de 300 km que venha a ser realizada.

4.4 Valoração dos benefícios ambientais

Uma vez que o estudo de Bartholomeu (2001) indicou que rotas alternativas aos pedágios (com piores condições de conservação) resultam em maior consumo de combustível e, portanto, em maiores emissões de CO₂, esta seção busca verificar se este resultado se mantém para outros casos semelhantes. Mais do que isso, busca valorar qual o benefício ambiental decorrente de uma redução nas emissões caso se observasse uma melhoria nas condições das rodovias. Este benefício ambiental é considerado uma redução na externalidade negativa (nível das emissões) decorrente de um investimento em recuperação das rodovias.

a) Redução das externalidades negativas da redução das emissões

O benefício ambiental refere-se às possíveis reduções das emissões de CO₂ resultantes de um programa de recuperação da malha rodoviária nacional. Assim, o benefício (*Be*) decorrente da redução das emissões de CO₂ deve ser estimado através da subtração dos valores obtidos (emissão média de CO₂ em rodovias em mau estado – emissão média de CO₂ em rodovias em bom estado). Este valor também corresponde à uma redução na externalidade negativa resultante do programa de recuperação das rodovias.

Para a valoração deste benefício (*VBe*), é necessário conhecer o preço da tonelada de carbono, o qual, dependendo do enfoque a ser dado, pode assumir um intervalo grande de valores. Nesta Tese, optou-se por considerar o preço médio da tonelada de carbono que vem sendo praticado pelos agentes no escopo do Protocolo de Quioto²⁸. Neste mercado, entretanto, verifica-se certa variação nos preços da tonelada de carbono negociados, em função de alguns fatores. Um deles corresponde ao tipo de negociação bilateral entre as partes envolvidas e, conseqüentemente, do valor acordado entre elas. Além disso, o preço do carbono também depende do *status* do projeto. Projetos de MDL em fases mais adiantadas no ciclo de aprovação e, principalmente, com RCE obtidas, certamente obterão maiores preços para a tonelada de CO₂ equivalente, uma vez que os riscos envolvidos se reduzem.

²⁸ Há outros mercados e bolsas que negociam carbono, tais como o mercado europeu (European Union's Emissions Trading Scheme - EU ETS - e a bolsa de Chicago - Chicago Climate Exchange - CCX) onde estão sendo praticados preços próximos de US\$ 18,00/t e US\$ 3,50/t, respectivamente (MÜLLER, 2006).

Desta forma, apesar de ocorrerem negócios na faixa entre € 6,00/t CO₂e e € 10,00/t CO₂e, adotou-se um valor de US\$ 10,00/t CO₂e, mais conservador e considerado como referência atual na negociação de projetos de MDL.

Também foi adotado na análise de sensibilidade apresentada da seção 5.4, os valores de € 40,00/t e €100,00/t, referente à multa que os países europeus deverão pagar caso não atinjam as metas de redução estabelecidas no European Union's Emissions Trading Scheme - EU ETS²⁹. Teoricamente, estes valores deveriam indicar o preço máximo que a tonelada de carbono deve atingir no mercado (caso o preço supere este valor, automaticamente torna-se mais compensador ao país o pagamento da multa do que a compra de créditos de projetos).

Portanto, o valor do benefício resultante de uma redução das emissões (*VBe*) é calculado a partir da eq. (23).

$$VBe = Be \times RCE \times TC \quad (23)$$

onde:

VBe = valor do benefício (externalidade) com emissão de CO₂ resultante de uma viagem em rodovias com melhor infra-estrutura (R\$/t.100 km);

Be = benefício resultante de uma redução nas emissões médias de CO₂ (kg CO₂/t.100 km);

RCE = preço da tonelada de CO₂e (US\$/t); e

TC = taxa de câmbio (R\$ 2,30/US\$ 1,00).

Da mesma forma que na valoração dos benefícios econômicos, optou-se por considerar a análise pela ótica dos benefícios ambientais sem discriminar o agente (autônomo ou transportadora). Para obter o Valor do Benefício ambiental de uma viagem, basta multiplicar *VBe* pela extensão da rota percorrida e pelo peso bruto total combinado, conforme eq. (24).

²⁹ O valor da multa foi estabelecido para dois períodos: entre 2005 e 2007, equivale a €40,00/t e entre 2008 e 2012, será de €100,00/t. Disponível em: <[http://www.ifhc.org.br/ppt/Apresenta%C3%A7%C3%A3o_PwC_IFHC_2.ppt#373,9,EU ETS \(European Union - Emissions Trading Scheme\)... ..o que é?](http://www.ifhc.org.br/ppt/Apresenta%C3%A7%C3%A3o_PwC_IFHC_2.ppt#373,9,EU%20ETS%20(European%20Union%20-%20Emissions%20Trading%20Scheme)...%20...o%20que%20%C3%A9?)>. Acesso em: 16 ago. 2006.

$$VBe' = VBe \times D/100 \times PBTC \quad (24)$$

onde:

VBe' = valor do benefício (externalidade) com emissão de CO₂ resultante de uma viagem em rodovias com melhor infra-estrutura (R\$);

VBe = valor do benefício (externalidade) com emissão de CO₂ resultante de uma viagem em rodovias com melhor infra-estrutura (R\$/t.100 km);

D = extensão da rota percorrida (km); e

PBTC = Peso Bruto Total Combinado (t).

Rigorosamente, entretanto, o VBe não deve refletir fielmente as reduções nas externalidades negativas, uma vez que, ao adotar o preço da tonelada de carbono no escopo do PQ, os outros benefícios indiretos para a humanidade não estão sendo considerados. Assim, na valoração das externalidades deveriam também ser adicionados os benefícios indiretos para o meio ambiente local e global, para a comunidade diretamente envolvida (próxima às rodovias) e para a sociedade como um todo, devido à contribuição para a mitigação das emissões de GEE e, conseqüentemente, aos seus impactos negativos sobre o aquecimento global.

Porém, ainda há um desconhecimento, por parte da comunidade científica, a respeito da dimensão dos impactos e, conseqüentemente, de seus valores monetários, dificultando a obtenção de um valor mais próximo da externalidade. Conforme afirmam Turner et al. (1993), diferentemente dos problemas ambientais mais comuns³⁰, os custos de prevenção do aquecimento global devem ser incorridos no presente, enquanto os resultados desta ação devem ser sentidos apenas em momentos futuros. Além disso, a única certeza que se tem é que o problema afetará os países/regiões de forma diferente (alguns sofrerão mais fortemente os impactos negativos provocados pelas mudanças climáticas, enquanto outros serão inclusive beneficiados em alguns aspectos). Desta forma, por um lado, os estudos sobre os benefícios e custos do aquecimento global ainda estão longe de serem concluídos e, por outro, muitos países não têm incentivos para “entrar no jogo”, já que incorreriam em custos para reduzir suas emissões que são incomensuráveis com os benefícios ainda incertos.

³⁰ Segundo os mesmos autores, para a grande maioria dos problemas causados pela poluição comum não há um longo período de tempo para que seus efeitos sejam sentidos. Além disso, tais problemas têm estimulado ações para mitigá-los, tais como regulamentações e estabelecimento de limites de emissões. É o caso, por exemplo, dos impactos negativos causados pela poluição local decorrente dos transportes (problemas respiratórios, entre outros), que já são conhecidos e, muitos deles mensurados.

Assim, a valoração da redução nas externalidades negativas relacionadas às reduções de emissão no transporte deve ser considerada como bastante conservadora nesta tese.

5 RESULTADOS

Os resultados são descritos em seqüência semelhante à sugerida nos procedimentos metodológicos. Para cada experimento realizado, são apresentadas as rotas estudadas, suas principais características e classificação de acordo com a condição de conservação do pavimento. São ainda ilustrados os dados coletados junto à Netz Engenharia, os cálculos dos benefícios econômicos e ambientais, bem como as respectivas valorações.

5.1 Experimento 1

Com o objetivo de quantificar as diferenças resultantes do percurso de trajetos com diferentes condições de conservação do pavimento quanto aos aspectos econômicos e ambientais considerados, o primeiro experimento analisou quatro rotas distintas, as quais foram percorridas por um mesmo tipo de caminhão (Volvo FH12/2004).

A seção 5.1.1 descreve as principais características das quatro rotas estudadas:

- a) de Cubatão (SP) a Campinas (SP);
- b) de Ribeirão Preto (SP) a Bauru (SP);
- c) de São Paulo (SP) a Goiânia (GO); e
- d) de Feira de Santana (BA) a São Paulo (SP).

5.1.1 Características e classificação das rotas estudadas

Tomando como base os resultados das avaliações realizadas pela Pesquisa Rodoviária (CNT, 2005a), foi possível obter uma classificação para cada rota estudada.

- a) Rota: Cubatão (SP) a Campinas (SP)

O trajeto percorrido entre Cubatão e Campinas é ilustrado pela Figura 24 e detalhado no Quadro 3.

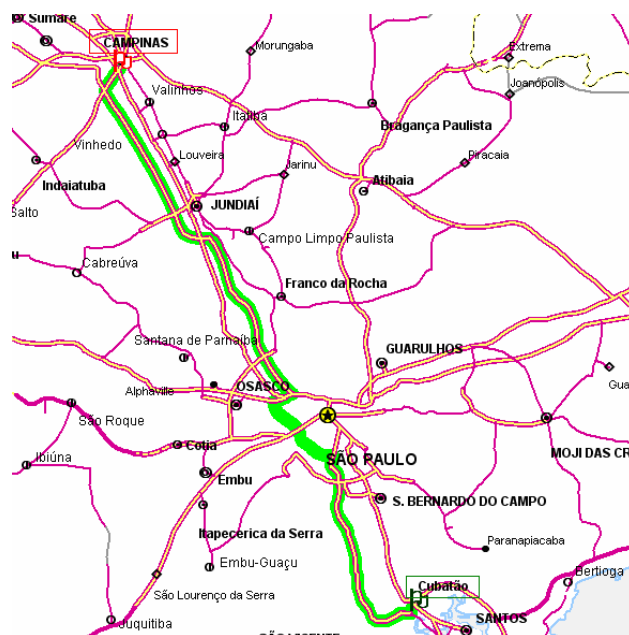


Figura 24 – Trajeto percorrido entre Cubatão e Campinas

Fonte: Guia 4 Rodas (2004)

Principais Rodovias	Distância aproximada (km)	Principais Cidades	Concessão
<i>Cubatão – SP</i>			
SP-055 (Côn. Domênico Rangoni – “Piaçaguera-Guarujá”)	10		Ecovias
SP-160 (Rodovia dos Imigrantes)	51	Diadema – SP São Paulo - SP	Ecovias
Perímetro urbano	25	São Paulo - SP	
SP-348 (Rodovia dos Bandeirantes)	78		Autoban
SP-065 (Rodovia D. Pedro I)	36		---
	<i>200</i>	<i>Campinas - SP</i>	

Quadro 3 - Descrição da rota Cubatão - Campinas

Fonte: Guia 4 Rodas (2004) e Netz Engenharia (2006)

Tomando como referência a Pesquisa Rodoviária (CNT, 2005a), duas ligações estudadas apresentavam trechos comuns aos percorridos pelos caminhões durante a coleta de dados: a ligação número 104 (São Paulo a São Vicente) e a ligação número 91 (São Paulo a Limeira). Ambas as ligações foram classificadas como possuindo “ótimo” estado geral de

conservação, tendo sido consideradas a 15ª e a 3ª melhores rodovias dentre as analisadas pela CNT (2005a), respectivamente.

Tais ligações, entretanto, são mais extensas do que os trechos da rota estudada (Cubatão a Campinas), sendo que os relatórios disponibilizados no site da CNT trazem o diagnóstico para toda a extensão das respectivas ligações. Neste sentido, foi necessário identificar o trecho correspondente ao estudo, dentro da ligação analisada pela CNT, através das respectivas quilometragens/coordenadas (tal procedimento encontra-se exemplificado no Anexo A).

Segundo a classificação da Pesquisa Rodoviária para a ligação 104, pode-se verificar que o trecho entre Cubatão e São Paulo, objeto do estudo da Tese, está inteiramente classificado como em ótimas condições de conservação do pavimento. Os melhores trechos estão localizados entre os quilômetros 12 e 22 e entre os quilômetros 42 e 52, da SP-160.

A ligação 91 apresenta o trecho comum entre as cidades de São Paulo e Campinas, através da SP-348 (Rodovia dos Bandeirantes). A totalidade deste trecho foi classificada como “ótimo” (Figura 25).



Figura 25 – Trechos da rodovia SP-348, ilustrando condição de pavimentação

Fonte: CNT (2005a)

O pavimento de ambas as ligações encontrava-se em excelentes condições, não provocando reduções de velocidade. O acostamento estava pavimentado e em boas condições.

Destaca-se o trecho de aproximadamente 25 km percorrido em perímetro urbano na cidade de São Paulo.

A Tabela 15 ilustra a análise comparativa entre a rota efetivamente estudada e as ligações rodoviárias utilizadas para verificar a classificação recebida pelo estudo da CNT (2005a).

Tabela 15 – Classificação do pavimento/geral da rota: Cubatão a Campinas

Rodovia estudada	Descrição do trecho	Extensão aproximada	Ligação equivalente na Pesquisa Rodoviária CNT	Extensão aproximada	% da Ligação classificado como “ótimo” ou “bom”
SP-055 e SP-160	Cubatão a São Paulo	61 km	104 (São Paulo-São Vicente)	124 km	100% (geral e pavimento)
SP-348	São Paulo a Campinas	78 km	91 (São Paulo a Limeira)	166 km	100% (geral e pavimento)
SP-065	São Paulo a Campinas	36 km	---	---	---

Fonte: Guia 4 Rodas (2004), CNT (2005a) e dados da pesquisa.

Não foi encontrada ligação que considerasse alguma rota comum ao trecho de São Paulo a Campinas, na rodovia SP-065. Entretanto, como este trecho responde por apenas 18% da rota, suas condições não interferirão na classificação final da rota Cubatão – Campinas. Portanto, a rota (a) é classificada como “*Melhor(1)*”.

b) Rota: Ribeirão Preto (SP) a Bauru (SP)

O trajeto percorrido entre Ribeirão Preto e Bauru é ilustrado pela Figura 26 e detalhado no Quadro 4.

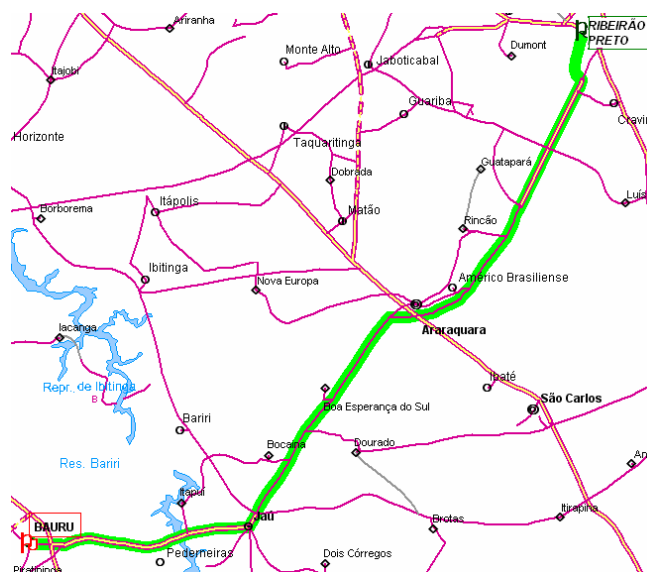


Figura 26 – Trajeto percorrido entre Ribeirão Preto e Bauru

Fonte: Guia 4 Rodas (2004)

Principais Rodovias	Distância aproximada (km)	Principais Cidades	Concessão
<i>Ribeirão Preto – SP</i>			
SP-255	113	Bonfim Paulista - SP	Autovias
		Américo Brasiliense - SP	
		Araraquara – SP	---
		Boa Esperança do Sul - SP	
SP-225	92	Jaú – SP	Centrovias
		Guaianás – SP	
<i>205</i>		<i>Bauru - SP</i>	

Quadro 4 - Descrição da rota Ribeirão Preto - Bauru

Fonte: Guia 4 Rodas (2004) e Netz Engenharia (2006)

Foram identificadas duas ligações analisadas pelo CNT (2005a), cujos trechos eram comuns aos da rota (b): a ligação 95 (Araraquara – São Carlos - Franca – Itirapuã) e a ligação 101 (Bauru – Jaú), ambas com estado geral de conservação classificado como “ótimo”. Dentre todas as ligações avaliadas pela Pesquisa Rodoviária 2005, a ligação 95 ficou em 7º lugar, enquanto a ligação 101 recebeu a 14ª colocação geral dentre as 109 ligações consideradas pela CNT em 2005.

Com relação ao pavimento, ambas as ligações tiveram 100% de seus trechos classificados como em “ótimo” estado de conservação, como pode ser observado na Tabela 16.

Tabela 16 – Classificação do pavimento/geral da rota: Ribeirão Preto a Bauru

Rodovia estudada	Descrição do trecho	Extensão aproximada	Ligação equivalente na Pesquisa Rodoviária CNT	Extensão aproximada	% da Ligação classificado como “ótimo” ou “bom”
SP-255	Ribeirão Preto a Araraquara	77 km	95 (Araraquara – São Carlos - Franca – Itirapuã)	236 km	100% (geral e pavimento)
SP-255	Araraquara a Jaú	73 km	---	---	---
SP-225	Jaú a Bauru	55 km	101 (Bauru – Jaú)	146 km	100% (geral e pavimento)

Fonte: Guia 4 Rodas (2004), CNT (2005a) e dados da pesquisa.

Não foi encontrada ligação estudada pela CNT que incluísse o trecho entre Araraquara e Jaú, pela rodovia SP-255. Considerando que, numa hipótese conservadora, este trecho tivesse sido considerado integralmente “bom”, então, mesmo assim, a rota (b) receberia classificação “*Melhor(2)*”.

c) Rota: São Paulo (SP) a Goiânia (GO).

A Figura 27 e o Quadro 5 ilustram detalhadamente o trajeto percorrido.

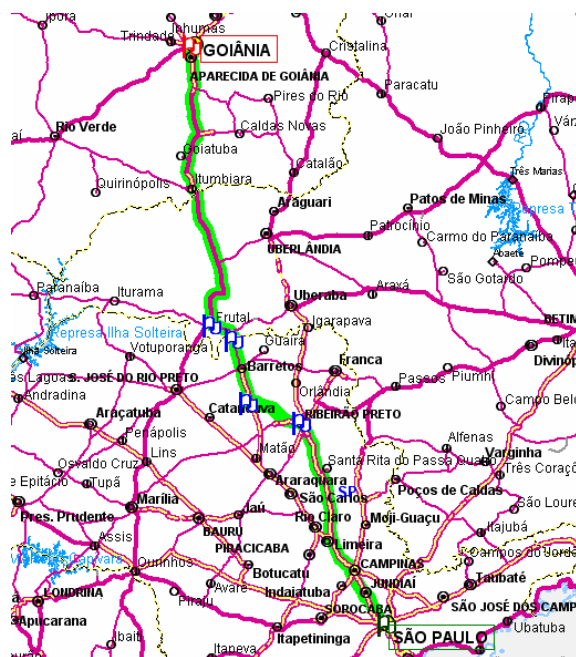


Figura 27 – Trajeto percorrido entre São Paulo e Goiânia

Fonte: Guia 4 Rodas (2004)

Principais Rodovias	Distância aproximada (km)	Principais Cidades	Concessão
<i>São Paulo – SP</i>			
SP-330 (Rodovia Anhanguera)	298	Campinas – SP Nova Aparecida – SP Nova Veneza – SP Americana – SP	Autoban
		Limeira – SP Araras – SP Leme – SP Pirassununga – SP Porto Ferreira – SP	Intervias
		Ribeirão Preto – SP	Autovias
SP-322	87	Setãozinho – SP Bebedouro – SP	Vianorte
SP-326 (Rodovia Brigadeiro Faria Lima)	94	Colina – SP	Tebe
		Barretos – SP Colômbia – SP	---
SP-364 (Rodovia Juscelino Kubitschek de Oliveira)	41	Planura – MG Frutal – MG	---
BR-153 (Rodovia Transbrasiliana)	431	Itumbiara – GO Rancho Alegre – GO Aparecida de Goiânia – GO	---
<i>951</i>		<i>Goiânia – GO</i>	

Quadro 5 - Descrição da rota São Paulo - Goiânia

Fonte: Guia 4 Rodas (2004) e Netz Engenharia (2006)

Por ser mais extensa, há um maior número de ligações da CNT (2005a) que possui trechos em comum com a rota (c): a ligação número 58 (São Paulo a Uberaba) é importante por escoar a produção de café, leite, frutas, grãos e animais vivos. Possui 440 km de extensão e recebeu a 5ª colocação no *ranking* das ligações analisadas. Obteve “ótima” classificação geral e de pavimentação.

O trecho seguinte, da SP-322 entre Sertãozinho e Bebedouro, foi analisado na ligação 103 (Catanduva – Taquaritinga – Ribeirão Preto), que também recebeu classificação geral “ótimo” e 100% do pavimento também nesta categoria. A Figura 28 ilustra parte do trecho.



Figura 28 – Trecho da rodovia SP-322, ilustrando condição de pavimentação

Fonte: CNT (2005a)

Entre Bebedouro e Planura/Colômbia, não foi identificada ligação correspondente, mas de acordo com contato³¹ feito com a CNT (informação pessoal), foi informado que se encaixa na categoria “bom”. O mesmo procedimento foi tomado para o trecho de Planura a Frutal, classificada como em “ótimo” estado.

De Frutal a Prata, foi utilizada a classificação da CNT (2005a) para a ligação 36 (Ourinhos – Uberlândia), que recebeu classificação geral “deficiente” e apenas 43,8% do pavimento foram considerados “ótimo” ou “bom”, como ilustra a Tabela 24. Entretanto, quando analisado apenas o trecho entre Frutal e Prata, este é considerado como tendo 90% da extensão em “ótimo” estado de conservação do pavimento. A Figura 29 apresenta as situações de alguns dos trechos da ligação, mostrando que as condições de conservação variam ao longo dela.

³¹ REJANNES, S. Mensagem recebida por <sandra@cnt.org.br> em 13 jul. 2006.



Figura 29 – Trechos da rodovia BR-153, ilustrando condição de pavimentação

Fonte: CNT (2005a)

Finalmente, havia uma ligação exatamente entre Prata e Goiânia (número 64) e, portanto, a classificação da ligação refere-se à classificação do trecho em estudo. Com 301 km analisados, esta ligação ocupou a 78ª colocação entre as rotas analisadas em 2005, obtendo classificação geral “deficiente” e 61,5% de sua extensão classificados como “deficiente”, “ruim” ou “péssimo” (Figura 30). O pior trecho fica entre os municípios de Prata e Monte Alegre de Minas, em que o pavimento encontra-se totalmente destruído, havendo necessidade de se trafegar a baixíssima velocidade; também não há acostamento (CNT, 2005a).



Figura 30 – Trechos da rodovia BR-153, ilustrando condição de pavimentação

Fonte: CNT (2005a)

A Tabela 17 sintetiza as informações quanto às classificações da rota (c).

Tabela 17 – Classificação do pavimento/geral da rota: São Paulo a Goiânia

Rodovia estudada	Descrição do trecho	Extensão aproximada	Ligação equivalente na Pesquisa Rodoviária CNT	Extensão aproximada	% da Ligação classificado como “ótimo” ou “bom”
SP-330	São Paulo a Ribeirão Preto	298 km	58 (São Paulo a Uberaba)	440 km	100% (geral e pavimento)
SP-322	Sertãozinho a Bebedouro	87 km	103 (Catanduva – Ribeirão Preto)	184 km	100% (geral e pavimento)
SP-326 e SP-364	Bebedouro a Frutal	135 km	---	---	---
BR-153	Frutal a Prata	105 km	36 (Ourinhos – Uberlândia)	569 km	---
BR-153	Prata a Goiânia	326 km	64 (Prata – Goiânia)	301 km	21,9% (geral) e 38,5% (pavimento)

Fonte: Guia 4 Rodas (2004), CNT (2005a) e dados da pesquisa.

Portanto, dado que parte representativa da rota São Paulo – Goiânia foi classificada como “deficiente”, “ruim” e até “péssimo” (cerca de 21% da extensão), 64% foi considerada “ótimo” e o restante “bom”, ela não pode ser considerada equivalente às rotas anteriores (a) e (b), nas quais toda a extensão era considerada em “ótimo” estado de conservação do pavimento. Assim, a rota (c) foi considerada “*Pior(1)*”.

d) Rota: São Paulo (SP) a Feira de Santana (BA).

O trajeto percorrido nas viagens é ilustrado na Figura 31 e detalhado no Quadro 6.

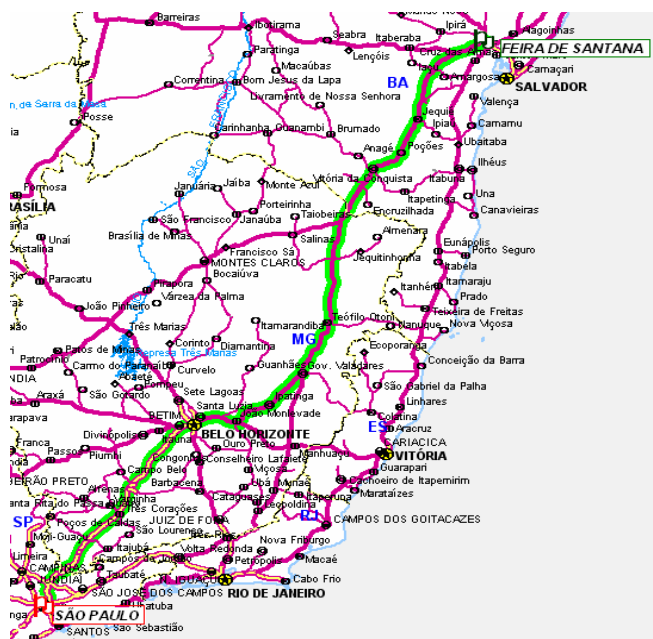


Figura 31 – Trajeto percorrido entre Feira de Santana e São Paulo

Fonte: Guia 4 Rodas (2004)

Principais Rodovias	Distância aproximada (km)	Principais Cidades	Concessão
BR-116	885	<i>Feira de Santana – BA</i> Antonio Cardoso – BA Itatim – BA Milagres – BA Manoel Vitorino – BA Poções – BA Planalto – BA Veredinho – BA Candido Sales – BA Divisa Alegre – MG Medina – MG Itaobim – MG Ponto dos Volantes – MG Catuji – MG Teófilo Otoni – MG Itambacuri – MG Campanário – MG Frei Inocência – MG Mathias Lobato - MG Governador Valadares – MG	---
BR-381 (Rodovia Fernão Dias)	905	Baguari – MG Periquito – MG Naque – MG Ipatinga – MG Bela Vista de Minas – MG São Gonçalo – MG Belo Horizonte – MG Betim – MG São Joaquim de Bicas – MG Igarapé – MG Itaguara – MG Carmópolis de Minas – MG Santo Antônio do Amparo – MG Perdões – MG Careaçú – MG São Sebastião da Bela Vista – MG Estiva – MG Cambuí – MG Camanducaia – MG Itapeva – MG Extrema – MG Vargem – SP Atibaia – SP Mairiporã – SP Guarulhos – SP <i>São Paulo – SP</i>	---
	<i>1.790</i>		

Quadro 6 - Descrição da rota Feira de Santana - São Paulo

Fonte: Guia 4 Rodas (2004) e Netz Engenharia (2006)

Ao todo, três ligações pesquisadas pela CNT (2005a) possuem trechos em comum com a rota (d). A primeira ligação - número 48, entre Volta Redonda (RJ) e Feira de Santana (BA) - possui 1.440 km de extensão e foi classificada como “deficiente” no geral, recebendo a 64ª colocação. Segundo o estudo, 85,3% e 43,3% da ligação foram considerados “deficiente”, “ruim” ou “péssimo” em termos de condição geral e de pavimento, respectivamente. Nos piores trechos, entretanto, as condições da pista não foram suficientes para reduzir a velocidade dos veículos.

Esta ligação é comum à rota estudada ao longo do trecho que liga as cidades de Feira de Santana (BA) e Governador Valadares (MG), na BR-116. Especificamente neste trecho, a Tabela 18 apresenta a classificação recebida, destacando o predomínio de trechos com condições de pavimentação deficientes.

Tabela 18 – Classificação do trecho entre Feira de Santana (BA) e Governador Valadares (MG) quanto ao pavimento

Classificação	%
Ótimo	1,1
Bom	15,0
Deficiente	59,7
Ruim	15,8
Péssimo	8,4

Fonte: Baseado nos resultados da Pesquisa CNT (2005a)

O trecho seguinte, entre Governador Valadares (MG) e Nova Era (MG), na BR-381, foi integralmente analisado na ligação 25 (Governador Valadares - Nova Era). Com cerca de 171 km, esta ligação ficou em 61º lugar, recebendo classificação geral “deficiente”. Com relação ao pavimento, 24% foram classificados como “deficiente”, “ruim” ou “péssimo” (CNT, 2005a).

Predomina nesta ligação o transporte de carga industrial no geral, produtos siderúrgicos e cimento.

O pior trecho da ligação (entre os municípios de Antonio Dias e Ipatinga, do quilômetro 245 ao 235 da BR-381) apresenta trincas na malha e remendos, os quais, segundo o estudo, não chegam a reduzir a velocidade dos veículos. A Figura 32 ilustra parte do trecho.



Figura 32 – Trechos da rodovia SP-381, ilustrando condição de pavimentação

Fonte: CNT (2005a)

Entre as cidades de Nova Era (MG) e Belo Horizonte (MG), não foi identificada uma ligação correspondente que tenha sido analisada pela CNT. Entretanto, uma vez que este trecho possui cerca de 135 km, representando apenas 7,5% da extensão total da rota (d), suas condições não interferiram na classificação geral da rota.

De Belo Horizonte a São Paulo, a ligação 7, referente a este mesmo trecho, foi classificada em “bom” estado geral, recebendo a 23ª posição. Em termos das condições de pavimentação, 98,1% foram classificadas em “ótimo” ou “bom” estados de conservação, conforme ilustrado na Figura 33 (CNT, 2005a).



Figura 33 – Trecho da rodovia BR-381, ilustrando condição de pavimentação

Fonte: CNT (2005a)

Por este trecho da BR-381, de acordo com a Pesquisa Rodoviária (CNT, 2005a), passam cerca de 60% da produção nacional de ferro-gusa e 3 milhões de toneladas da produção

agrícola mineira. Essa movimentação representa uma circulação média de mais de 15 mil veículos/dia, entre ônibus, caminhões e automóveis.

A Tabela 19 sintetiza as informações quanto às classificações da rota (d).

Tabela 19 – Classificação do pavimento/geral da rota: São Paulo a Feira de Santana

Rodovia estudada	Descrição do trecho	Extensão aproximada	Ligação equivalente na Pesquisa Rodoviária CNT	Extensão aproximada	% da Ligação classificado como “ótimo” ou “bom”
BR-116	Feira de Santana a Governador Valadares	870 km	48 (Volta Redonda – Feira de Santana)	1.440 km	14,7% (geral) e 56,7% (pavimento)
BR-381	Governador Valadares a Nova Era	186 km	25 (Governador Valadares - Nova Era)	171 km	17,5% (geral) e 76% (pavimento)
BR-381	Nova Era a Belo Horizonte	136 km	---	---	---
BR-381	Belo Horizonte a São Paulo	598 km	7 (Belo Horizonte - São Paulo)	537 km	88,8% (geral) e 98,1% (pavimento)

Fonte: CNT (2005a) e dados da pesquisa.

No geral, a rota entre São Paulo e Feira de Santana (d) foi predominantemente classificada como “deficiente” (cerca de 35,3% de sua extensão); o restante foi assim classificado: 34,9% “ótimo”, 14% “bom”, 10,9% “ruim” e 4,8% “péssimo”. Portanto, claramente esta rota possui pior estado de conservação do que as rotas (a), (b) e até a (c), uma vez que 51,1% de toda a sua extensão foram classificados como “deficiente”, “ruim” ou “péssimo”. Assim, a rota (d) foi considerada “*Pior(2)*”.

5.1.2 Dados coletados

A Tabela 27 ilustra os dados qualitativos resultantes do percurso das três rotas (a), (b), (c) e (d). Foram utilizados 3 caminhões diferentes para cada rota, totalizando 12 veículos do modelo Volvo FH12/2004 e, portanto, 12 motoristas (os veículos 01 e 02 não são os mesmos; assim, o motorista que dirigiu o caminhão 01 não foi o mesmo que dirigiu o caminhão 02). Cada veículo, além disso, realizou 4 viagens para a coleta de dados, como pode ser visualizado na primeira coluna da Tabela 20. Dentro destas 4 viagens, foram preservadas as mesmas condições de controle, isto é, manteve-se o mesmo carregamento, o mesmo horário de viagem, o mesmo motorista e as mesmas condições climáticas. Ao todo, portanto, foram feitas 48 viagens, divididas entre 4 rotas e 12 caminhões. Em todos os casos, o caminhão viajou com a carga na capacidade máxima do veículo/implemento.

As colunas seguintes apresentam as velocidades médias de cada viagem e a autonomia dos veículos (quantos quilômetros foram percorridos com 1 litro de combustível), respectivamente.

Tabela 20 - Resultados das medições realizadas para as quatro rotas estudadas, com um caminhão Volvo FH12/2004

Cubatão - Campinas (198 km) (a) <i>Melhor(1)</i>			Rib. Preto – Bauru (205 km) (b) <i>Melhor(2)</i>			S. Paulo - Goiânia (951 km) (c) <i>Pior(1)</i>			S. Paulo - Feira Santana (1790 km) (d) <i>Pior(2)</i>		
<i>Veíc</i>	<i>Vmed</i> ¹	<i>km/l</i> ²	<i>Veíc</i>	<i>Vmed</i> ¹	<i>km/l</i> ²	<i>Veíc</i>	<i>Vmed</i> ¹	<i>km/l</i> ²	<i>Veíc</i>	<i>Vmed</i> ¹	<i>km/l</i> ²
1	62	2,24	4	55	2,27	7	60	2,20	10	59	2,12
1	63	2,31	4	57	2,31	7	59	2,17	10	57	2,14
1	60	2,37	4	53	2,24	7	56	2,22	10	56	2,20
1	58	2,29	4	54	2,23	7	61	2,21	10	57	2,18
2	57	2,20	5	55	2,28	8	57	2,16	11	57	2,11
2	59	2,27	5	55	2,23	8	55	2,19	11	58	2,09
2	61	2,18	5	54	2,30	8	58	2,22	11	55	2,13
2	58	2,15	5	56	2,27	8	55	2,26	11	56	2,12
3	57	2,24	6	52	2,25	9	58	2,22	12	55	2,07
3	58	2,22	6	56	2,26	9	54	2,29	12	57	2,09
3	58	2,12	6	55	2,21	9	59	2,30	12	56	2,10
3	60	2,14	6	53	2,22	9	55	2,21	12	56	2,11

Fonte: Resultados da pesquisa, baseados em dados fornecidos pela Netz Engenharia.

Notas: ¹*Vmed*: velocidade média de viagem no percurso (km/h).

²*km/l*: média do consumo de combustível (km/l).

5.1.3 Cálculo dos benefícios econômicos e respectivas valorações

Com os dados apresentados e as rotas ordenadas em classificações diferentes (MELHOR1, MELHOR2 e PIOR1 e PIOR2), são realizados os cálculos necessários para quantificar e valorar os benefícios econômicos e ambientais.

a) Benefício com consumo de combustível

Antes da apresentação dos cálculos referentes ao benefício com o consumo de combustível, a Tabela 21 apresenta uma análise qualitativa dos dados coletados quando utilizado um caminhão Volvo FH12/2004. Em geral, os dados foram bastante consistentes, como pode ser visualizado através da baixa dispersão em relação à média, resultando numa pequena variância. Além disso, o valor médio se aproxima bastante da moda - que representa o valor mais freqüente da amostra.

Tabela 21 – Análise estatística dos dados de consumo de combustível coletados (l/100 km)

Rota	Média	Desvio-padrão	Moda
a) Cubatão - Campinas (<i>Melhor(1)</i>)	44,94	1,50	44,64
b) Ribeirão Preto – Bauru (<i>Melhor(2)</i>)	44,34	0,62	44,05 e 44,84
c) São Paulo - Goiânia (<i>Pior(1)</i>)	45,04	0,87	45,04
d) São Paulo – Feira de Santana (<i>Pior(2)</i>)	47,15	0,82	47,17; 47,39 e 47,85

Fonte: Resultados da pesquisa.

Na Tabela 22 podem ser visualizados os resultados referentes ao teste de hipóteses. Nas comparações entre as amostras “*Melhor(2)/Rota Pior(1)*”, “*Melhor(1)/Rota Pior(2)*” e “*Melhor(2)/Rota Pior(2)*”, a hipótese nula é rejeitada em favor da hipótese alternativa, ao nível de significância de 5%, isto é, o consumo médio das rotas em piores estados de conservação é maior do que o consumo médio observado em rotas em estados melhores. No primeiro caso, entretanto, o teste mostrou-se estatisticamente não significativo ao nível de 5%, não rejeitando-se H_0 .

Tabela 22 – Resultados do teste de hipóteses para o consumo médio de combustível

Rotas	Variável t' obtida	Graus de liberdade (g)	Valor t ₀
Rota <i>Melhor(1)</i> /Rota <i>Pior(1)</i>	0,209	18	2,101
Rota <i>Melhor(2)</i> /Rota <i>Pior(1)</i>	2,300	20	2,086
Rota <i>Melhor(1)</i> /Rota <i>Pior(2)</i>	4,481	17	2,110
Rota <i>Melhor(2)</i> /Rota <i>Pior(2)</i>	9,490	20	2,086

Fonte: Resultados da pesquisa.

A rota (b) foi a mais eficiente, resultando num consumo médio cerca de 1,3% menor do que a rota (a), 1,6% menor do que a rota (c) e 6,3% menor do que a rota (d). A Tabela 23 apresenta o comparativo do consumo de cada rota, e os benefícios resultantes da utilização da melhor opção. Conforme indicado nos procedimentos metodológicos, considerou-se o preço médio do diesel de R\$ 1,915/l³² para o cálculo do Valor do Benefício (*VBc*).

Tabela 23 – Benefícios no consumo médio de combustível, em l/100km e em R\$/100 km

	Benefício (l/100 km)	Valor do Benefício (<i>VBc</i>), em R\$/100 km
Rota <i>Melhor(1)</i> /Rota <i>Pior(1)</i>	0,10	0,20
Rota <i>Melhor(2)</i> /Rota <i>Pior(1)</i>	0,71	1,35
Rota <i>Melhor(1)</i> /Rota <i>Pior(2)</i>	2,21	4,23
Rota <i>Melhor(2)</i> /Rota <i>Pior(2)</i>	2,81	5,38

Fonte: Resultados da pesquisa.

A rota (a), entre Cubatão e Campinas, possui trecho urbano referente à passagem pela cidade de São Paulo, o que pode ter favorecido o consumo superior em relação à rota (b), que liga Ribeirão Preto a Bauru. Isto pode ter reduzido o valor do benefício atribuído a esta rota, mesmo sendo classificada como “ótima”, do ponto de vista do pavimento.

b) Benefício com tempo de viagem

Os dados relacionados ao tempo de viagem podem ser visualizados na Tabela 24.

³² Preço médio referente ao mês de maio de 2006 (ANP, 2006).

Tabela 24 – Análise estatística dos dados de tempo de viagem coletados (h/100 km)

Rota	Média	Desvio-padrão	Moda
a) Cubatão - Campinas (Melhor(1))	1,69	0,056	1,72
b) Ribeirão Preto – Bauru (Melhor(2))	1,83	0,049	1,82
c) São Paulo - Goiânia (Pior(1))	1,75	0,069	1,82
d) São Paulo – Feira de Santana (Pior(2))	1,77	0,036	1,75 e 1,78

Fonte: Resultados da pesquisa.

O teste de hipótese não mostrou consistência, uma vez que em metade dos casos analisados, mostrou-se estatisticamente significativo ou estatisticamente diferente de zero, ao nível de 5%, rejeitando-se H_0 . Entretanto, na outra metade, os resultados indicam que deve-se rejeitar H_0 , em favor da H_A (os tempos médios de viagem em rotas piores são menores do que os verificados em rotas melhores), indo em sentido inverso ao suposto inicialmente (Tabela 25).

Tabela 25 – Resultados do teste de hipóteses para o tempo médio de viagem

Rotas	Variável t' obtida	Graus de liberdade (g)	Valor t_0
Rota <i>Melhor(1)</i> /Rota <i>Pior(1)</i>	2,352	21	2,080
Rota <i>Melhor(2)</i> /Rota <i>Pior(1)</i>	-3,449	20	2,086
Rota <i>Melhor(1)</i> /Rota <i>Pior(2)</i>	4,145	19	2,093
Rota <i>Melhor(2)</i> /Rota <i>Pior(2)</i>	-3,728	20	2,086

Fonte: Resultados da pesquisa.

Neste caso, a rota que resultou em menor tempo médio de viagem foi a que liga Cubatão a Campinas (a). Este comportamento pode ser explicado por trechos de rodovias que permitem uma velocidade média estável e próxima ao limite máximo, como é o caso da Rodovia dos Bandeirantes. Apesar do trecho urbano, a empresa costuma desviar dos horários de pico e grande congestionamento, preferindo realizar as viagens em período noturno ou logo cedo, o que evita gasto de tempo maior.

Deve-se destacar que a falta de fiscalização, baixo número de policiamento rodoviário e de radares, além do menor nível de tráfego nas rodovias fora do estado de São Paulo acabam favorecendo velocidades maiores nestes trechos. Assim, as rotas (c) e (d), consideradas piores, apresentaram menor tempo de viagem quando comparadas à rota (b), entre Ribeirão Preto e Bauru, caracterizada por maior nível de fiscalização e tráfego, como pode ser visualizado na Tabela 26. Este resultado indica que outros fatores exógenos também interferem no tempo de

viagem, além das condições da rodovia, tais como fiscalização, tráfego e velocidade máxima permitida na rodovia.

Para o cálculo do Valor do Benefício (VBt), foi considerada uma remuneração do motorista de R\$ 7,52/h³³.

Tabela 26 – Benefícios no tempo médio de viagem, em h/100 km e em R\$/100 km

	Benefício (h/100 km)	Valor do Benefício Direto (VBt_d), em R\$/100 km	Valor do Benefício Indireto (VBt_i), em R\$/100 km	Valor do Benefício (VBt), em R\$/100 km
Rota <i>Melhor(1)</i> /Rota <i>Pior(1)</i>	0,06	0,45	1,57	2,02
Rota <i>Melhor(2)</i> /Rota <i>Pior(1)</i>	-0,08	-0,63	-2,20	-2,83
Rota <i>Melhor(1)</i> /Rota <i>Pior(2)</i>	0,08	0,59	2,06	2,65
Rota <i>Melhor(2)</i> /Rota <i>Pior(2)</i>	-0,07	-0,49	-1,71	-2,20

Fonte: Resultados da pesquisa.

c) Benefício com custo de manutenção do caminhão

O benefício resultante de uma redução no gasto de manutenção do veículo foi obtido diretamente do estudo de Reis (2006), conforme apresentado na Tabela 18 do Capítulo “Material e Métodos”. Supondo que a diferença entre as condições de conservação da pista e, portanto, a variação no custo de manutenção sejam as menores possíveis, tomou-se como referência a variação percentual entre uma rota “boa” e outra em estado “deficiente” (18,7%).

Considerando ainda R\$ 1,43/km como o custo variável de uma carreta³⁴, então o VBm será R\$ 26,69/100 km quando comparadas as rotas melhores - *Melhor(1)* e *Melhor(2)* - com as piores - *Pior(1)* e *Pior(2)*.

d) Benefício total

Somando os respectivos benefícios econômicos, observa-se que o $VBET$ para cada 100 km percorridos com um caminhão Volvo FH12/2004 deve corresponder a R\$ 28,91 e a R\$

³³ SETSERGS (2006)

³⁴ Dados calculados pela ESALQ-LOG utilizando metodologia de Figueiredo et al. (2003), referentes a julho de 2006.

25,21 por viagem quando comparadas a rota *Pior(1)* - São Paulo a Goiânia - e as duas rotas melhores. Comparando a rota *Pior(2)*, de São Paulo a Feira de Santana, o *VBET* aumenta para R\$ 33,57 e R\$ 29,87 a cada 100 km devido, principalmente ao consumo de combustível superior verificado nesta rota (Tabela 27).

Tabela 27 – Valores dos benefícios econômicos parciais e total (R\$/viagem)

Rota	Valor do Benefício com Combustível (<i>VBc</i>)	Valor do Benefício com Tempo (<i>VBt</i>)	Valor do Benefício com Manutenção do veículo (<i>VBm</i>)	Valor do Benefício Econômico Total (<i>VBET</i>)
Rota <i>Melhor(1)</i> /Rota <i>Pior(1)</i>	0,20	2,02	26,69	28,91
Rota <i>Melhor(2)</i> /Rota <i>Pior(1)</i>	1,35	-2,83	26,69	25,21
Rota <i>Melhor(1)</i> /Rota <i>Pior(2)</i>	4,23	2,65	26,69	33,57
Rota <i>Melhor(2)</i> /Rota <i>Pior(2)</i>	5,38	-2,20	26,69	29,87

Fonte: Resultados da pesquisa.

Portanto, nota-se que rotas com condições de conservação distintas, tais como as consideradas neste experimento, implicarão resultados econômicos bastante específicos quando percorridas por um caminhão Volvo FH12/2004 e assumidas as suposições apresentadas.

Além disso, quando tomado como base o estudo de Reis (2006), verifica-se que a condição precária da pista terá impacto significativamente maior sobre os custos de manutenção do caminhão do que as demais variáveis consideradas isoladamente.

Este resultado demonstra que, além de haver uma economia com rotas em melhores condições de infra-estrutura, tal valor vai depender do grau de deficiência da rodovia. A princípio, a rota (d) claramente resultaria em maior nível de economia por viagem caso fosse objeto de um programa de reconstrução/manutenção, pois em ambas as comparações resultou em valores mais expressivos. Entretanto, o conhecimento do volume transportado ou do fluxo de veículos pelas rotas piores são importantes para confirmar esta prioridade em relação à rota que liga Feira de Santana a São Paulo.

Em outras palavras, apesar de resultar em benefícios menos expressivos individualmente, o número de veículos que utiliza a rota que liga São Paulo a Goiânia poderia

indicar um maior nível de benefício para a economia no agregado. Para tanto, uma matriz origem-destino deve auxiliar nesta identificação.

Para se ter uma idéia do que estes benefícios econômicos significam, no caso do transporte de soja, por exemplo, o frete para uma distância de 1.100 km vem sendo negociado a um valor próximo de R\$ 95,56/t, ou seja, R\$ 2.577,42/viagem (Informe Sifreca, 2006). Portanto, os benefícios decorrentes de uma rota em melhor condição de conservação resultariam numa redução entre 10,8% e 14,3% no valor do frete da soja transportada de Campo Grande e de Itumbiara para o porto de Paranaguá.

5.1.4 Cálculo dos benefícios ambientais e respectivas valorações (externalidades)

No caso do benefício ambiental, a principal variável considerada é o consumo específico de combustível, cuja diferença entre as rotas estudadas está descrita na Tabela 28. Nesta Tabela também é ilustrado o índice de emissão (em kg CO₂/t.100 km) para rotas em diferentes estados de conservação. Este valor permite à transportadora ou ao motorista estimar suas emissões totais de uma determinada viagem conhecendo apenas as condições da via (se boas ou ruins), a distância percorrida e a carga transportada.

Como o consumo específico é obtido através do consumo de combustível, as características estatísticas dos dados levantados a campo são as mesmas às apresentadas anteriormente.

Tabela 28 – Valores médios de consumo específico de combustível e de emissão de CO₂

Rota	Consumo específico médio de combustível (l/t.100km)	Emissão de CO ₂ (kg CO ₂ /t.100 km)
a) Cubatão - Campinas (<i>Melhor(1)</i>)	1,0574	2,908
b) Ribeirão Preto – Bauru (<i>Melhor(2)</i>)	1,0432	2,869
c) São Paulo - Goiânia (<i>Pior(1)</i>)	1,0598	2,915
d) São Paulo – Feira de Santana (<i>Pior(2)</i>)	1,1093	3,051

Fonte: Resultados da pesquisa.

Uma vez que a rota (b) apresentou menor consumo de combustível, resultará em menor nível de emissão de CO₂ para transportar 1t a cada 100 quilômetros. Portanto, rotas

melhores também resultam em benefícios ambientais, pois reduzem as externalidades negativas referentes à poluição.

Na Tabela 29 são apresentados os benefícios decorrentes de uma redução nas emissões para o caso estudado, em que o peso total foi de 42,5 t e a taxa de câmbio considerada foi de R\$ 2,30/US\$ 1,00.

Tabela 29 – Benefícios nas emissões de CO₂, em kg CO₂/t.km e em R\$/100 km

	Benefício ambiental (kg CO ₂ /t.100 km)	Valor do Benefício (<i>VBe</i> ^a), em R\$/100 km
Rota <i>Melhor(1)</i> /Rota <i>Pior(1)</i>	0,007	0,01
Rota <i>Melhor(2)</i> /Rota <i>Pior(1)</i>	0,046	0,04
Rota <i>Melhor(1)</i> /Rota <i>Pior(2)</i>	0,143	0,14
Rota <i>Melhor(2)</i> /Rota <i>Pior(2)</i>	0,182	0,18

Fonte: Resultados da pesquisa.

Se as condições de pavimentação da rota (c) se tornassem equivalentes às da rota (a) ou (b), cada tonelada transportada a cada 100 quilômetros resultaria num nível de emissão de 6,7 e 45,7 gCO₂ menor, respectivamente. Esta diferença aumenta quando a rodovia se torna mais precária e, portanto, o benefício ambiental por unidade de peso e distância se torna mais evidente. No caso da rota que liga São Paulo a Feira de Santana, haveria uma redução média de 162,2 gCO₂/t.100 km caso ela estivesse em boas condições.

No caso deste experimento, obteve-se um índice de emissão médio para rotas melhores 3,2% menor do que o verificado para rotas piores (Tabela 30).

Tabela 30 – Índices de emissão por estado de conservação da rodovia

Condição	kg CO ₂ /t.100 km	kg CO ₂ /km
Boa	2,888	1,23
Ruim	2,983	1,27

Fonte: Resultados da pesquisa.

Caso o peso bruto total combinado (PBTC) seja equivalente ao deste estudo (42,5 t), pode-se adotar diretamente os valores da última coluna para quantificar as emissões de uma viagem em função da qualidade da pista.

Para se ter uma idéia do valor do benefício ambiental, é necessário verificar o potencial de redução das emissões, que está relacionado às rotas nos demais estados, excluindo-se o estado de São Paulo, o qual possui as melhores condições de conservação das rodovias brasileiras. Assim, uma rota que tem origem no estado de São Paulo só pode se destinar a algum outro estado o vice-versa, não podendo possuir origem e destino em São Paulo. Supondo que tais casos correspondem a 60% de toda a carga transportada por rodovias³⁵ e que esta parcela corresponde a 291 bilhões de TKU transportadas em 2004, o benefício ambiental seria cerca de R\$ 6,3 milhões por ano, aproximadamente ou 0,05% do volume necessário para recuperar toda a malha rodoviária nacional.

5.2 Experimento 2

Neste experimento, além da comparação entre duas rotas com diferentes estados de conservação, também foram analisados os resultados obtidos por dois modelos de caminhão, um Scania R124 421 e um Mercedes Benz 1944S, ambos fabricados em 2004 e tendo um Bitrem Graneleiro como implemento.

Inicialmente são apresentados os desempenhos decorrentes de viagens em duas rotas com diferentes estados de conservação pelos dois veículos separadamente. Em seguida, a análise fixa uma determinada rota para que os desempenhos dos caminhões sejam comparados.

A seção 5.2.1 ilustra as principais características das duas rotas pesquisadas:

- i) de Campo Grande (MS) a Santos (SP); e
- ii) de Rondonópolis (MT) a Campo Grande (MS).

5.2.1 Características e classificação das rotas estudadas

- i) Rota: Campo Grande a Santos

O trajeto percorrido entre Campo Grande e Santos é ilustrado pela Figura 34 e detalhado no Quadro 7.

³⁵ De acordo com o Índice de Desempenho Econômico do Transporte (FUNDAÇÃO INSTITUTO DE PESQUISAS ECONOMICAS – FIPE; CNT, 2005), em 2004, quase 37% das cargas transportadas por rodovias estavam concentradas no estado de São Paulo (tinham origem e destino naquele estado).



Figura 34 – Trajeto percorrido entre Campo Grande e Santos

Fonte: Guia 4 Rodas (2004)

Principais Rodovias	Distância aproximada (km)	Principais Cidades	Concessão
BR-262	346	<i>Campo Grande – MS</i> Ribas do Rio Pardo - MS Mutum – MS Água Clara – MS Arapuá – MS Três Lagoas – MS	---
SP-300 (Rodovia Marechal Rondon)	601	Andradina – SP Araçatuba – SP Birigui – SP Penápolis – SP Lins – SP Bauru – SP Lençóis Paulista – SP S. Manuel – SP Botucatu – SP Conchas – SP Laranjal Paulista – SP	---
SP-075	22	Tietê – SP Porto Feliz – SP	Colinas
SP-280 (Rodovia Presidente Castelo Branco)	60	Araçariguama – SP Barueri – SP Osasco – SP São Paulo – SP	ViaOeste
SP-150 (Rodovia Anchieta)	71	S. Bernardo do Campo – SP Cubatão – SP	Ecovias dos Imigrantes
	<i>1.100</i>	<i>Santos - SP</i>	

Quadro 7 - Descrição da rota Campo Grande - Santos

Fonte: Guia 4 Rodas (2004)

De acordo com a Pesquisa Rodoviária (CNT, 2005a), quatro ligações estudadas apresentavam trechos comuns aos percorridos pelos caminhões durante a coleta de dados: a ligação número 86 (Três Lagoas e Corumbá), a ligação número 90 (Eng. Miller e Jupia), a ligação número 89 (São Paulo a Espírito Santo do Turvo) e a ligação número 104 (São Paulo a São Vicente). Em geral, assim como verificado no experimento 1, tais ligações eram mais extensas do que os trechos da rota Campo Grande a Santos. Além disso, os relatórios

disponibilizados no site da CNT trazem o diagnóstico para toda a extensão das respectivas ligações.

Desta maneira, também procedeu-se a um detalhamento semelhante ao realizado no experimento 1, de forma a verificar as características dos trechos das ligações comuns ao trajeto percorrido pelos caminhões.

O trecho da BR-262 entre Campo Grande e Três Lagoas corresponde à ligação número 86 (Três Lagoas e Corumbá). Segundo o diagnóstico geral da Pesquisa Rodoviária 2005, esta ligação possui extensão total de 783 km e ficou em 46ª posição dentre as 109 ligações estudadas, recebendo classificação geral “deficiente”. Apesar de apenas 52% do pavimento da ligação ter sido classificado como “ótimo” ou “bom”, o trecho considerado no estudo (Campo Grande a Três Lagoas) corresponde a uma condição de infra-estrutura da rodovia melhor, sendo 80% de sua extensão avaliada como “ótimo” ou “bom”. Além disso, quanto ao pavimento, este trecho foi considerado totalmente perfeito, não provocando reduções de velocidade. O acostamento estava pavimentado e em boas condições.

O trecho da SP-300, entre Andradina e Araçariguama, corresponde à ligação número 90 (Eng. Miller e Jupia) e possui extensão total de 239 km. Classificada em 9ª posição, esta ligação foi considerada como “ótima” no geral e no quesito pavimento (Figura 35).



Figura 35 – Trechos da rodovia SP-300, ilustrando condição de pavimentação

Fonte: CNT (2005a)

O trecho da SP-280, entre Araçariguama e São Paulo, corresponde à ligação número 89 (São Paulo a Espírito Santo do Turvo) e possui extensão total de 355 km. Foi a segunda melhor avaliada, recebendo classificação geral “ótimo”. O pavimento também foi totalmente avaliado como “ótimo”, considerado totalmente perfeito, não provocando reduções de

velocidade. O acostamento estava pavimentado e em boas condições, como pode ser visualizado na Figura 36.



Figura 36 - Trechos da rodovia SP-280, ilustrando condição de pavimentação

Fonte: CNT (2005a)

Finalmente, o trecho da SP-150, entre São Paulo e Santos (124 km), correspondente à ligação número 104 (São Paulo a São Vicente) da Pesquisa Rodoviária ficou na 15ª posição, recebendo classificação geral “ótimo”. 87,9% de sua extensão foi considerada em “ótimo” ou “bom” estado de conservação. Nos piores trechos desta ligação, apesar das perfeitas condições do pavimento, não havia acostamento (entre os municípios de São Paulo e Cubatão, entre os km 40 e 55 da SP-150/BR-050). Não verificou-se necessidade de reduzir a velocidade.

Especificamente no caso do trecho do estudo, cerca de 93,5% de sua extensão foi classificada como “ótimo” ou “bom”.

Tabela 31 – Classificação do pavimento/geral da rota: Campo Grande - Santos

Rodovia estudada	Descrição do trecho	Extensão aproximada	Ligação equivalente na Pesquisa Rodoviária CNT	Extensão aproximada	% classificado como “ótimo” ou “bom”
BR-262	Campo Grande a Três Lagoas	346 km	86 (Três Lagoas a Corumbá)	783 km	37% (geral) e 52% (pavimento)
SP-300	Andradina a Araçariguama	623 km	90 (Eng. Miller a Jupia)	439 km	100% (geral e pavimento)
SP-280	Araçariguama a São Paulo	60 km	89 (São Paulo a Espírito Santo do Turvo)	355 km	100% (geral e pavimento)
SP-150	São Paulo a Santos	71 km	104 (São Paulo a São Vicente)	124 km	87,9% (geral e pavimento)

Fonte: CNT (2005a) e dados da pesquisa.

Portanto, pelo método adotado, esta rota possui cerca de 93,2% de sua extensão considerada como “ótimo” ou “bom” sendo classificada como “MELHOR”.

ii) Rota: Rondonópolis a Campo Grande

O trajeto percorrido entre Rondonópolis e Campo Grande é ilustrado pela Figura 37 e detalhado no Quadro 8.



Figura 37 – Trajeto percorrido entre Rondonópolis e Campo Grande

Fonte: Guia 4 Rodas (2004)

Principais Rodovias	Distância aproximada (km)	Principais Cidades	Concessão
BR-163	480	Rondonópolis – MT Ouro Branco do Sul – MT Sonora – MS Coxim – MS Rio Verde de Mato Grosso – MS S. Gabriel do Oeste – MS Bandeirantes – MS Jatobá – MS Jaraguari – MS Campo Grande - MS	---

Quadro 8 - Descrição da rota Rondonópolis - Campo Grande

Fonte: Guia 4 Rodas (2004) e Netz Engenharia (2006)

De acordo com a Pesquisa Rodoviária 2005, apenas a ligação número 44 (Nova Alvorada do Sul a Rondonópolis) apresentava trechos comuns aos percorridos pelos caminhões durante a coleta de dados (Rondonópolis e Campo Grande), correspondente à BR-163. Com uma extensão total de 583 km analisados pela Pesquisa Rodoviária 2005, esta ligação ficou em 41ª posição, recebendo classificação geral “deficiente” (Tabela 32).

Tabela 32 – Classificação do pavimento/geral da rota: Rondonópolis - Campo Grande

Rodovia estudada	Descrição do trecho	Extensão aproximada	Ligação equivalente na Pesquisa Rodoviária CNT	Extensão aproximada	% classificado como “ótimo” ou “bom”
BR-163	Rondonópolis a Campo Grande	480	44 (Nova Alvorada do Sul a Rondonópolis)	583	42,5% (geral) e 56,1% (pavimento)

Fonte: CNT (2005a) e dados da pesquisa.

Foram identificados trechos com pavimento considerado perfeito, não provocando reduções de velocidade. Os acostamentos, em geral, estão pavimentados e em boas condições. Entretanto, há trechos - como o que liga as cidades de Bandeirantes e Campo Grande - com afundamentos, ondulações ou buracos, e com acostamento destruído. Estas condições não implicam redução de velocidade.

Pelos procedimentos adotados para classificar a rota, observou-se que o trajeto percorrido entre Rondonópolis e Campo Grande possui apenas 46,6% de sua extensão considerada como “ótimo” ou “bom”. Conseqüentemente, foi classificada como “*Pior*”.

5.2.2 Dados coletados

A Tabela 40 ilustra os dados qualitativos resultantes do percurso das duas rotas (Campo Grande – Santos e Rondonópolis – Campo Grande).

O trajeto percorrido de Campo Grande (MS) a Santos (SP) possui uma distância de 1.100 km e suas rodovias possuem trechos com pistas simples de mão dupla e trechos de pista dupla, com boa pavimentação (trajeto denominado como “*Melhor*”). Já a rota de Rondonópolis (MT) a Campo Grande (MS) possui 480 km, com trechos de pistas simples de mão dupla e estado de pavimentação considerado deficiente/ruim (trajeto classificado como “*Pior*”).

Ao todo, cinco caminhões percorreram estas rotas: 3 deles Scania (S R124-420) e outros dois Mercedes Benz (MB 1944S). Todos os veículos foram fabricados em 2004 e possuíam um PBTC de 57 t e 7 eixos.

Durante as viagens realizadas por um mesmo veículo, buscou-se preservar as mesmas condições de controle, isto é, o mesmo carregamento, o mesmo horário de viagem, o mesmo motorista e as mesmas condições climáticas. Em todos os casos, o caminhão viajou com a carga na sua capacidade máxima, respeitando-se cada tipo de veículo/implemento (bitrem graneleiro).

Desta forma, tem-se um total de 40 viagens executadas, percorridas em 2 rotas com diferentes estados de conservação e por dois tipos diferentes de veículos.

Neste experimento, ao contrário do anterior, os mesmos motorista e caminhão percorreram as duas rotas diferentes. Assim, o caminhão 1 foi dirigido por um mesmo motorista durante as 4 viagens na rota (i) e nas 4 viagens na rota (ii). Portanto, foram utilizados 5 caminhões para percorrer as 40 rotas.

Na Tabela 33 são apresentadas as velocidades médias e a autonomia dos veículos em cada viagem.

Tabela 33 - Resultados das medições realizadas para as duas rotas estudadas

Veículo	Modelo	Campo Grande - Santos		Rondonópolis - Campo Grande	
		(1.100 km)		(480 km)	
		(i) <i>Melhor</i>		(ii) <i>Pior</i>	
		V_{med}^1	km/l^2	V_{med}^1	km/l^2
1	Scania R124 420	67	1,94	64	1,78
1	Scania R124 421	68	1,78	66	1,65
1	Scania R124 420	69	1,85	69	1,68
1	Scania R124 420	68	1,91	69	1,73
2	Scania R124 420	67	1,79	70	1,58
2	Scania R124 421	68	1,89	71	1,61
2	Scania R124 420	71	1,74	66	1,80
2	Scania R124 420	70	1,86	65	1,81
3	Scania R124 420	73	1,64	63	1,82
3	Scania R124 420	66	1,87	67	1,58
3	Scania R124 420	69	1,86	69	1,55
3	Scania R124 420	72	1,79	69	1,77
4	MB 1944 S	72	1,75	70	1,52
4	MB 1944 S	72	1,70	71	1,63
4	MB 1944 S	65	1,88	66	1,74
4	MB 1944 S	67	1,87	69	1,75
5	MB 1944 S	72	1,66	72	1,65
5	MB 1944 S	65	1,79	67	1,74
5	MB 1944 S	69	1,77	68	1,77
5	MB 1944 S	66	1,82	65	1,72

Fonte: Resultados da pesquisa, baseados em dados fornecidos pela Netz Engenharia.

Notas: ¹ V_{med} : velocidade média de viagem no percurso.

² Km/l : média do consumo de combustível (km/l).

5.2.3 Cálculo dos benefícios econômicos e respectivas valorações

Com os dados apresentados e as rotas ordenadas em classificações diferentes (*Melhor* e *Pior*), é possível realizar os cálculos necessários para quantificar e valorar os benefícios econômicos e ambientais.

a) Benefício com consumo de combustível

Foi observada uma diferença no consumo médio de combustível entre as rotas com diferentes condições de conservação do pavimento.

A Tabela 34 fornece uma análise qualitativa dos dados coletados quando utilizado um caminhão Scania R124 420 e um caminhão MB 1944 S nas rotas (i) e (ii). Neste experimento, os

dados coletados também apresentaram comportamento consistente, refletido pela baixa dispersão em relação à média, resultando numa pequena variância e desvio-padrão. Os dados com maior frequência são representados pela moda, sendo que apenas na viagem de Campo Grande para Santos com o Mercedes Benz não foi verificada repetição dos valores. Entretanto, esta viagem foi a que apresentou menor desvio-padrão.

Tabela 34 – Análise estatística dos dados de consumo de combustível coletados (l/100 km)

Rota	Veículo	Média	Desvio-padrão	Moda
i) Campo Grande - Santos (<i>Melhor</i>)	S R124 420	54,85	2,59	53,76 e 55,86
i) Campo Grande - Santos (<i>Melhor</i>)	MB 1944 S	56,27	2,46	---
ii) Rondonópolis - Campo Grande (<i>Pior</i>)	S R124 420	59,13	3,54	63,29
ii) Rondonópolis - Campo Grande (<i>Pior</i>)	MB 1944 S	59,31	3,13	57,47

Fonte: Resultados da pesquisa.

O desempenho verificado pelos veículos novamente apresentou diferença quando percorridas rotas com condições de conservação distintas. Para os dois tipos de veículos, a rota (i) foi a mais eficiente, resultando num consumo médio de 0,5485 l/km e 0,5913 l/km percorrido pelo Scania e pelo MB, respectivamente.

Assim, em termos da qualidade da rodovia, o Scania R124 420 observou uma economia de 7,8% no consumo de combustível quando passou da rota *Pior* para a *Melhor*, enquanto que, para o MB 1944 S, a economia foi de 5,4%.

Foi possível observar também uma diferença nos desempenhos dos caminhões. Analisando somente para a rota *Melhor*, o caminhão Scania foi 2,6% mais eficiente do que o Mercedes Benz. Já na rota *Pior*, a diferença entre os tipos de veículo foi reduzida para apenas 0,3%.

No caso do teste de hipótese aplicado, o desempenho obtido pelo caminhão Scania foi estatisticamente significativo ao nível de significância de 5%, indicando que deve-se rejeitar a hipótese de que o consumo médio de combustível é o mesmo para rotas em diferentes estados de conservação. No caso do MB, entretanto, a hipótese nula é estatisticamente não significativa. Note-se que o número de graus de liberdade é bem menor (13), o que pode ter favorecido este resultado (Tabela 35).

Tabela 35 – Resultados do teste de hipóteses para o consumo médio de combustível

Rota	Veículo	Variável t' obtida	Graus de liberdade (g)	Valor t ₀
<i>Melhor/Pior</i>	S R124 420	3,379	20	2,086
<i>Melhor/Pior</i>	MB 1944 S	2,157	13	2,160

Fonte: Resultados da pesquisa.

A Tabela 36 apresenta o comparativo do consumo verificado em cada rota pelos dois caminhões, e os benefícios resultantes da utilização da melhor opção. Para o cálculo do Valor do Benefício (*VBc*) também foi considerado um preço médio para óleo diesel de R\$ 1,915/l³⁶.

Tabela 36 – Benefícios no consumo médio de combustível decorrentes de rotas com diferentes condições de conservação, em l/100km e em R\$/100 km

Rota	Veículo	Benefício (l/100 km)	Valor do Benefício (<i>VBc</i>), em R\$/100 km
<i>Melhor/Pior</i>	S R124 420	4,28	8,19
<i>Melhor/Pior</i>	MB 1944 S	3,04	5,81

Fonte: Resultados da pesquisa.

Como o benefício observado foi sempre positivo, entende-se que rotas melhores consomem menos combustível do que as rotas em pior estado de conservação.

Já a Tabela 37 fixa a condição da rodovia e varia o tipo de caminhão, com o objetivo de verificar a diferença no desempenho decorrente da variação na marca e no fabricante do veículo. Também ilustra os benefícios resultantes da utilização da melhor opção. Foram feitas as mesmas suposições para o preço do óleo diesel para calcular o Valor do Benefício (*VBc*).

Tabela 37 – Benefícios no consumo médio de combustível decorrentes de veículo de diferentes fabricantes, em l/100km e em R\$/100 km

Veículo	Rota	Benefício (l/100 km)	Valor do Benefício (<i>VBc</i>), em R\$/100 km
S R124 420- MB 1944 S	<i>Melhor</i>	1,42	2,72
S R124 420- MB 1944 S	<i>Pior</i>	0,18	0,34

Fonte: Resultados da pesquisa.

³⁶ Preço médio referente ao mês de maio de 2006 (ANP, 2006).

Os resultados indicam que a Scania apresentou desempenho mais eficiente, consumindo menor quantidade de combustível por unidade de distância percorrida. A economia verificada na rota melhor, entretanto foi bem superior à observada na rota pior, quando praticamente os consumos entre o MB e a Scania se igualam.

b) Benefício com tempo de viagem

Os resultados relacionados ao tempo de viagem também apresentaram consistência, como pode ser visualizado na Tabela 38.

Tabela 38 – Análise estatística dos dados de tempo de viagem coletados (h/100 km)

Rota	Veículo	Média	Desvio-padrão	Moda
i) Campo Grande - Santos (<i>Melhor</i>)	S R124 420	1,45	0,04	1,47
i) Campo Grande - Santos (<i>Melhor</i>)	MB 1944 S	1,46	0,06	1,39
ii) Rondonópolis – Campo Grande (<i>Pior</i>)	S R124 420	1,49	0,06	1,45
ii) Rondonópolis – Campo Grande (<i>Pior</i>)	MB 1944 S	1,46	0,05	---

Fonte: Resultados da pesquisa.

Com relação ao tempo de viagem, também observa-se uma diferença nos resultados obtidos quando comparadas as duas rotas com diferentes estados de conservação. Apesar de menos expressiva do que a economia observada no caso do consumo de combustível, a rota *Melhor* poupou 2,5% do tempo quando percorrida pelo caminhão Scania. Já no caso do MB, quase não houve economia de tempo.

Ambos os casos indicaram que a hipótese nula não deve ser rejeitada, já que não é estatisticamente significativa ao nível de significância de 5%. Assim como indicado no experimento 1, o tempo de viagem pode sofrer influência de outras variáveis exógenas, mais representativas do que a própria condição da rodovia (Tabela 39).

Tabela 39 – Resultados do teste de hipóteses para o tempo médio de viagem

Rota	Veículo	Variável t' obtida	Graus de liberdade (g)	Valor t ₀
<i>Melhor/Pior</i>	S R124 420	1,7636	21	2,080
<i>Melhor/Pior</i>	MB 1944 S	-0,0397	14	2,145

Fonte: Resultados da pesquisa.

Considerando a remuneração do motorista e os custos fixos de transporte, respectivamente R\$ 7,52/h³⁷ e R\$ 32,64/h³⁸, obteve-se os resultados apresentados na Tabela 40.

Tabela 40 – Benefícios no tempo médio de viagem, em h/100 km e em R\$/100 km

Rota	Veículo	Benefício (h/100 km)	Valor do Benefício Direto (VBt_d), em R\$/100 km	Valor do Benefício Indireto (VBt_i), em R\$/100 km	Valor do Benefício (VBt), em R\$/100 km
<i>Melhor/Pior</i>	S R124 420	0,04	0,27	1,19	1,47
<i>Melhor/Pior</i>	MB 1944 S	0,00	-0,01	-0,03	-0,04

Fonte: Resultados da pesquisa.

Com relação ao desempenho dos tipos de caminhão, os resultados não se mostraram consistentes, conforme ilustra a

Tabela 41. Enquanto na rota *Melhor*, o Scania realizou a viagem em menor tempo, na rota *Pior*, foi o MB quem obteve os melhores resultados. Portanto, pode-se inferir que fatores externos também podem ter sido mais importantes para determinar o tempo de viagem que o tipo de tecnologia do veículo.

Tabela 41 – Benefícios no tempo médio de viagem decorrentes de caminhões de diferentes fabricantes, em h/100km e em R\$/100 km

Veículo	Rota	Benefício (l/100 km)	Valor do Benefício Direto (VBt_d), em R\$/100 km	Valor do Benefício Indireto (VBt_i), em R\$/100 km	Valor do Benefício (VBt), em R\$/100 km
S R124 420- MB 1944 S	<i>Melhor</i>	0,01	0,09	0,39	0,48
S R124 420- MB 1944 S	<i>Pior</i>	-0,02	-0,20	-0,84	-1,03

Fonte: Resultados da pesquisa.

³⁷ SETSERGS (2006)

³⁸ Dados calculados pelo ESALQ-LOG utilizando metodologia de Figueiredo et al. (2003), referentes a julho de 2006.

Com o tempo médio verificado na rota *Melhor*, para percorrer 1.100 km, por exemplo, são necessárias 16h; da mesma forma, são gastas 16h22min para percorrer a rota *Pior*, com a mesma extensão. Com isso, o motorista “ganharia” 1 viagem a cada 45 que fizesse apenas na rota com as condições de conservação melhor.

c) Benefício com custo de manutenção do caminhão

O cálculo do benefício resultante de uma redução no gasto de manutenção do veículo também é obtido a partir do estudo de Reis (2006), conforme procedimento adotado no experimento 1 e considerando como custo variável de um bitrem³⁹: R\$ 1,75/km.

Assim, o *VBm* será R\$ 32,67/100 km quando comparada a rota melhor com a pior.

Não é possível análise semelhante para verificar o desempenho do tipo de veículo, uma vez que as rotas são mantidas fixas e, portanto, não há diferença na condição de conservação da pista.

d) Benefício total

A Tabela 42 sumariza os benefícios econômicos resultantes da utilização de rotas com diferentes estados de manutenção e de veículos de diferentes fabricantes, respectivamente.

Tabela 42 – Valores dos benefícios econômicos parciais e total (R\$/100 km) decorrentes de rotas com diferentes condições de conservação

Rota	Veículo	Valor do Benefício com Combustível (<i>VBc</i>)	Valor do Benefício com Tempo (<i>VBt</i>)	Valor do Benefício com Manutenção do veículo (<i>VBm</i>)	Valor do Benefício Econômico Total (<i>VBET</i>)
<i>Melhor/Pior</i>	S R124 420	8,19	0,48	32,67	41,34
<i>Melhor/Pior</i>	MB 1944 S	5,81	-1,03	32,67	37,45

Fonte: Resultados da pesquisa.

³⁹ Estimativa realizada pela ESALQ-LOG, referente a julho de 2006.

Portanto, novamente os resultados indicam que rotas com condições de conservação diferentes implicam resultados econômicos bastante distintos quando percorridas pelos dois tipos de caminhão utilizados no experimento.

Além disso, quando tomado como base o estudo de Reis (2006), novamente a condição precária da pista produz impacto significativamente maior sobre os custos de manutenção do caminhão que as demais variáveis consideradas isoladamente.

Supondo o mesmo caso do transporte de soja a granel de Campo Grande e de Itumbiara para o porto de Paranaguá, já citado no experimento 1, os benefícios econômicos decorrentes de uma rota em melhor condição de conservação resultariam numa redução entre 16% e 17,6% no valor do frete da soja transportada pela Scania e pelo Mercedes Benz, respectivamente.

5.2.4 Cálculo dos benefícios ambientais e respectivas valorações (externalidades)

A Tabela 43 apresenta o consumo específico de combustível (em kg CO₂/t.100km) e o índice de emissão (em kg CO₂/t.100 km) para rotas em diferentes estados de conservação. Este valor permite à transportadora ou ao motorista estimar suas emissões totais de uma determinada viagem conhecendo apenas as condições da via (se boas ou ruins), a distância percorrida e a carga transportada.

Tabela 43 – Valores médios de consumo específico de combustível e de emissão de CO₂

Rota	Veículo	Consumo específico médio de combustível (l/t.100km)	Emissão de CO ₂ (kg CO ₂ /t.100 km)
i) Campo Grande - Santos (<i>Melhor</i>)	S R124 420	0,962	2,646
i) Campo Grande - Santos (<i>Melhor</i>)	MB 1944 S	0,987	2,715
ii) Rondonópolis – Campo Grande (<i>Pior</i>)	S R124 420	1,037	2,853
ii) Rondonópolis – Campo Grande (<i>Pior</i>)	MB 1944 S	1,040	2,861

Fonte: Resultados da pesquisa.

Dado que a rota (i) apresentou menor consumo de combustível, resultará em menor nível de emissão de CO₂ para transportar 1t a cada 100 quilômetros. Portanto, o experimento 2

também comprova que rotas melhores também resultam em benefícios ambientais, pois tendem a reduzir as emissões de CO₂.

A Tabela 44 apresenta os valores dos benefícios decorrentes de uma redução nas emissões para o caso estudado, em que o PBTC foi de 57 t e a taxa de câmbio considerada foi de R\$ 2,30/US\$ 1,00.

Tabela 44 – Benefícios nas emissões de CO₂, em kg CO₂/t.km e em R\$/100 km

	Veículo	Benefício ambiental (kg CO ₂ /t.100 km)	Valor do Benefício (<i>VBe</i>), em R\$/100 km
<i>Melhor/Pior</i>	S R124 420	0,2064	0,27
<i>Melhor/Pior</i>	MB 1944 S	0,1465	0,19

Fonte: Resultados da pesquisa.

Quando as condições de pavimentação da pista (ii) se tornam equivalentes às da pista (i), cada tonelada transportada a cada 100 quilômetros resulta num nível de emissão de 206,42 e 146,45 gCO₂ menor, conforme o tipo de veículo considerado.

Extrapolando os resultados obtidos nos casos deste experimento, e supondo ainda que 60% das viagens realizadas em 2004 podem ser incluídas como potenciais para receberem melhorias na infra-estrutura (tal como adotado no experimento 1), ter-se-ia um benefício ambiental de aproximadamente R\$ 13,8 milhões por ano no caso da Scania e R\$ 9,8 milhões por ano, no caso do Mercedes Benz, o que equivale a cerca de 0,12% e 0,08% do volume necessário para recuperar toda a malha rodoviária nacional, respectivamente.

5.3 Resultados agregados (Experimento 1 + Experimento 2)

Esta seção analisa todas as rotas de forma conjunta, independentemente do tipo do caminhão que realizou a viagem. O objetivo é obter dados mais próximos à realidade, uma vez que há diversos tipos de caminhões percorrendo as diferentes rotas.

Neste último “experimento”, todas as rotas consideradas *Melhores* foram agregadas num único conjunto de dados:

- a) de Cubatão (SP) a Campinas (SP);
- b) de Ribeirão Preto (SP) a Bauru (SP); e
- (i) Campo Grande (MS) a Santos (SP).

Da mesma forma, as rotas *Piores* também formaram um outro conjunto de dados:

- c) de São Paulo (SP) a Goiânia (GO);
- d) de Feira de Santana (BA) a São Paulo (SP); e
- (ii) Rondonópolis (MT) a Campo Grande (MS).

Com isso, cada conjunto de dados possui 45 observações, correspondentes às viagens de coleta de dados realizadas.

5.3.1 Cálculo dos benefícios econômicos e respectivas valorações

a) Benefício com consumo de combustível

Em geral, as rotas *Melhores* resultaram numa economia de 5,07% no consumo de combustível, como ilustrado na Tabela 45. Entretanto, devido à agregação dos desempenhos verificados por diferentes tipos de veículos e implementos, o desvio-padrão dos dados passa a ser maior, já que um caminhão bitrem acaba consumindo maior quantidade de combustível por quilômetro percorrido do que uma carreta.

Tabela 45 – Análise estatística dos dados de consumo de combustível coletados (l/100 km)

Rota	Média	Desvio-padrão
<i>Melhor</i>	49,53	5,76
<i>Pior</i>	52,05	7,02

Fonte: Resultados da pesquisa.

O teste de hipótese mostrou-se estatisticamente significativo ao nível de significância de 5%, indicando que a hipótese nula deve ser rejeitada, conforme ilustrado na Tabela 46.

Tabela 46 – Resultados do teste de hipóteses para o consumo médio de combustível

Rota	Variável t' obtida	Graus de liberdade (g)	Valor t ₀
<i>Melhor/Pior</i>	1,835	83	1,990

Fonte: Resultados da pesquisa.

Considerando R\$ 1,915/l⁴⁰ o preço médio do óleo diesel, os benefícios resultantes da utilização da melhor opção foram calculados e estão apresentados na Tabela 47.

Tabela 47 – Benefícios no consumo médio de combustível decorrentes de rotas com diferentes condições de conservação, em l/100km e em R\$/100 km

Rota	Benefício (l/100 km)	Valor do Benefício (V _{Bc}), em R\$/100 km
<i>Melhor/Pior</i>	2,51	4,81

Fonte: Resultados da pesquisa.

b) Benefício com tempo de viagem

Enquanto em alguns casos, os resultados analisados separadamente mostravam certa inconsistência, no agregado pode-se observar que o tempo de viagem foi, em média, inferior para as rotas *Melhores*. Apesar de uma diferença pequena (apenas 0,52%), os resultados indicam que as rotas *Melhores* devem reduzir o tempo de viagem. Os resultados são ilustrados na Tabela 48.

Tabela 48 – Análise estatística dos dados de tempo de viagem coletados (h/100 km)

Rota	Média	Desvio-padrão
<i>Melhor</i>	1,62	0,029
<i>Pior</i>	1,63	0,023

Fonte: Resultados da pesquisa.

Da mesma forma que verificado nos experimento 1 e 2 separadamente, o teste mostrou-se não significativo ao nível de significância de 5%, não rejeitando-se a hipótese H_0 , conforme pode ser visualizado na Tabela 49.

Tabela 49 – Resultados do teste de hipóteses para o consumo médio de combustível

Rota	Variável t' obtida	Graus de liberdade (g)	Valor t ₀
<i>Melhor/Pior</i>	0,1667	86	1,990

Fonte: Resultados da pesquisa.

⁴⁰ Preço médio referente ao mês de maio de 2006 (ANP, 2006).

Considerando a remuneração do motorista de R\$ 7,52/h e o custo fixo como a média entre os custos fixos de uma carreta e de um bitrem (R\$ 29,42), foram calculados os benefícios diretos e indiretos com tempo de viagem, respectivamente (Tabela 50).

Tabela 50 – Benefícios no tempo médio de viagem decorrentes de rotas com diferentes condições de conservação, em h/100km e em R\$/100 km

Rota	Benefício (h/100 km)	Valor do Benefício Direto (VBt_d), em R\$/100 km	Valor do Benefício Indireto (VBt_i), em R\$/100 km	Valor do Benefício (VBt), em R\$/100 km
<i>Melhor/Pior</i>	0,01	0,06	0,25	0,31

Fonte: Resultados da pesquisa.

c) Benefício com custo de manutenção do caminhão

O cálculo do benefício resultante de uma redução no gasto de manutenção do veículo também foi obtido a partir do estudo de Reis (2006), conforme procedimento adotado nos experimentos 1 e 2.

Considerando como custo variável a média dos custos variáveis de uma carreta e de um bitrem (R\$ 1,59), o VBm será de R\$ 29,68 para cada 100 km percorridos.

d) Benefício total

A Tabela 51 sumariza os benefícios econômicos resultantes da utilização de rotas com diferentes estados de manutenção.

Tabela 51 – Síntese dos valores dos benefícios econômicos parciais e total (R\$/100 km) decorrentes de rotas com diferentes condições de conservação

		Valor do Benefício com Combustível (<i>VBc</i>)	Valor do Benefício com Tempo (<i>VBt</i>)	Valor do Benefício com Manutenção do veículo (<i>VBm</i>)	Valor do Benefício Econômico Total (<i>VBET</i>)
Experimento 1	<i>Melhor(1)/ Pior(1)</i>	0,20	2,02	26,69	28,91
	<i>Melhor(2)/ Pior(1)</i>	1,35	-2,83	26,69	25,21
	<i>Melhor(1)/ Pior(2)</i>	4,23	2,65	26,69	33,57
	<i>Melhor(2)/ Pior(2)</i>	5,38		26,69	
				-2,20	29,87
Experimento 2	Scania	8,19	0,48	32,67	41,34
	MB	5,81		32,67	37,45
Experimento 1 + 2	<i>Melhores/ Piores</i>	4,81	-1,03 0,31	29,68	34,80

Fonte: Resultados da pesquisa.

Ainda supondo o mesmo caso do transporte de soja a granel de Campo Grande e de Itumbiara para o porto de Paranaguá, os benefícios econômicos decorrentes de uma rota em melhor condição de conservação resultariam numa redução média de 14,85% no valor do frete.

5.3.2 Cálculo dos benefícios ambientais e respectivas valorações (externalidades)

A Tabela 52 apresenta o consumo específico de combustível (em kg CO₂/t.100km) e o índice de emissão (em kg CO₂/t.100 km) para rotas em diferentes estados de conservação.

Tabela 52 – Valores médios de consumo específico de combustível e de emissão de CO₂

Rota	Consumo específico médio de combustível	Emissão de CO ₂

	(l/t.100km)	(kg CO ₂ /t.100 km)
<i>Melhor</i>	1,01	2,7908
<i>Pior</i>	1,06	2,9252

Fonte: Resultados da pesquisa.

A Tabela 53 apresenta os valores dos benefícios ambientais considerando uma taxa de câmbio de R\$ 2,30/US\$ 1,00, um preço do carbono de US\$ 10,00/t e um PBTC médio de 49,75 t (média do PBTC de uma carreta e de um bitrem).

Tabela 53 – Benefícios nas emissões de CO₂, em R\$/100 km

	Benefício ambiental (kg CO ₂ /t.100 km)	Valor do Benefício (<i>VBe</i>), em R\$/viagem
<i>Melhor/Pior</i>	0,1343	0,15

Fonte: Resultados da pesquisa.

Quando as condições de pavimentação das rotas *Piores* se tornam equivalentes às das rotas *Melhores*, cada tonelada transportada a cada 100 quilômetros resulta num nível de emissão de 134,32 gCO₂ menor.

Com relação aos índices de emissão, foram obtidos os seguintes valores:

- Rotas *Melhores* emitem 27,9 g CO₂/t.km; e
- Rotas *Piores* emitem 29,3 g CO₂/t.km

Com relação ao agregado, o valor do benefício ambiental estimado, considerando as suposições feitas nos experimento 1 e 2, seria de R\$ 8,99 milhões por ano. Este volume corresponde a 0,08% do recurso necessário para recuperar a malha rodoviária nacional divulgada pelo Boletim Estatístico CNT (2005b).

5.4 Análise de Sensibilidade

Nas seções 5.1, 5.2 e 5.3 foram apresentados os principais resultados obtidos para o conjunto de experimentos 1 e 2, e para os dados agregados, respectivamente. Apesar de os benefícios econômicos e ambientais terem sido expressos em termos de unidades dos parâmetros analisados para cada 100 quilômetros percorridos (evitando, dessa forma, suposições), na

valoração dos benefícios econômicos e ambientais (*VBT*), foi necessário adotar algumas considerações a respeito de determinados valores envolvidos nos cálculos, tais como: preço do diesel, remuneração do motorista, custos fixos e variáveis, preço da tonelada de carbono, taxa de câmbio, entre outros.

Esta seção procura verificar como possíveis alterações nos valores de alguns dos parâmetros mais importantes poderiam estar influenciando nos resultados.

Nesta análise de sensibilidade foi suposto que os custos e, conseqüentemente os benefícios, são lineares, isto é, variam proporcionalmente com a distância percorrida (não há a chamada “economia de escala”). Assim, se foi verificado que o benefício com consumo de combustível no experimento agregado foi de R\$ 4,81 a cada 100 km percorridos, se a rota tiver uma extensão de 1.000 ou 2.000 km, por exemplo, os benefícios considerados não devem sofrer alterações, isto é, o valor do benefício com consumo de combustível deve ser R\$ 48,13 e R\$ 96,25, para cada caso, respectivamente.

A apresentação da análise de sensibilidade também segue a seqüência da apresentação dos resultados. Primeiro é feita a análise para o experimento 1, em seguida para o experimento 2 e, finalmente, para todos os dados agregados.

a) Experimento 1

No conjunto de experimentos 1, observou-se que o valor do benefício total (*VBT*), considerando os aspectos econômicos e ambientais, foi mais expressivo quando a rota *Pior(2)*, que liga São Paulo a Feira de Santana foi comparada à rota *Melhor(1)*, entre Cubatão e Campinas, totalizando R\$ 33,71/100 km percorridos. Na composição dos benefícios, conforme ilustra a Tabela 54, a manutenção do veículo foi o item mais representativo (entre 79,2% e 95%, dependendo do caso), seguido pelo consumo de combustível, que, em algumas comparações chegou a atingir 17,9% do benefício. O tempo de viagem possuiu participação máxima de 7,9%, enquanto a redução nas emissões chegou a representar 0,6% dos benefícios observados.

Tabela 54 – Composição do benefício total (R\$/100 km)

	Combustível	Tempo	Manutenção	Emissões	Benefício Total (econômico + ambiental)
<i>Melhor(1)/Pior(1)</i>	0,20	2,02	26,69	0,01	28,92
<i>Melhor(2)/Pior(1)</i>	1,35	-2,83	26,69	0,04	25,26

<i>Melhor(1)/Pior(2)</i>	4,23	2,65	26,69	0,14	33,71
<i>Melhor(2)/Pior(2)</i>	5,38	-2,20	26,69	0,18	30,05

Fonte: Resultados da pesquisa.

Neste sentido, na Tabela 55 são apresentados alguns valores de benefício para rotas entre 500 km e 3.000 km, com um intervalo de 500 km entre elas.

Tabela 55 – Valores dos benefícios totais (*VBT*) para rotas com diferentes extensões (R\$)

	500 km	1.000 km	1.500 km	2.000 km	2.500 km	3.000 km
<i>Melhor(1)/Pior(1)</i>	144,58	289,15	433,73	578,31	722,89	867,46
<i>Melhor(2)/Pior(1)</i>	126,29	252,57	378,86	505,15	631,43	757,72
<i>Melhor(1)/Pior(2)</i>	168,54	337,07	505,61	674,15	842,68	1011,22
<i>Melhor(2)/Pior(2)</i>	150,25	300,49	450,74	600,98	751,23	901,47

Fonte: Resultados da pesquisa

Também foram realizadas variações percentuais nos valores de alguns parâmetros econômicos para verificar os impactos nos valores dos benefícios, expressos em R\$/100 km. Os resultados obtidos estão ilustrados na Tabela 56 e na Tabela 57.

Tabela 56 – Valor do benefício decorrente de variações no preço do combustível e no tempo de viagem (R\$/100 km)

Parâmetro		-10%	Adotado ^a	+10%
Preço do diesel, R\$/l	<i>Melhor(1)/Pior(1)</i>	0,18	0,20	0,22
	<i>Melhor(2)/Pior(1)</i>	1,22	1,35	1,49
	<i>Melhor(1)/Pior(2)</i>	3,80	4,23	4,65
	<i>Melhor(2)/Pior(2)</i>	4,84	5,38	5,92
Tempo (remuneração motorista + CF), R\$/h	<i>Melhor(1)/Pior(1)</i>	1,81	2,02	2,22
	<i>Melhor(2)/Pior(1)</i>	-2,55	-2,83	-3,12
	<i>Melhor(1)/Pior(2)</i>	2,38	2,65	2,91
	<i>Melhor(2)/Pior(2)</i>	-1,98	-2,20	-2,42

Fonte: Resultados da pesquisa.

^a Valor adotado para o preço do diesel: R\$ 1,915/l e para o tempo: R\$/h 3,72/h.

No caso dos impactos decorrentes dos custos de manutenção do veículo, tomou-se como base estudo de Reis (2006), mas aplicando as variações percentuais para as rodovias em

piores estados de conservação (“ruim” e “péssimo”) sobre o estado considerado “bom” (base utilizada neste estudo).

Tabela 57 – Valor do benefício decorrente dos custos de manutenção do veículo (R\$/100 km)

	“Deficiente” (Adotado)	“Ruim”	“Péssimo”
	18,67%	39,11%	60,89%
Valor do Benefício (R\$/100 km)	26,69	55,93	87,07

Fonte: Resultados da pesquisa.

Finalmente, os valores dos benefícios ambientais foram obtidos considerando os valores das multas dentro do mercado europeu (EU ETS) para o período entre 2005-2007 e 2008-2012, e uma conversão da taxa de câmbio de R\$ 3,00/ € 1,00 (Tabela 58).

Tabela 58 – Valor do benefício ambiental (R\$/100 km)

	Adotado (US\$ 10,00/t)	€ 40,00/t	€ 100,00/t
<i>Melhor(1)/Pior(1)</i>	0,01	0,03	0,09
<i>Melhor(2)/Pior(1)</i>	0,04	0,23	0,58
<i>Melhor(1)/Pior(2)</i>	0,14	0,73	1,82
<i>Melhor(2)/Pior(2)</i>	0,18	0,93	2,32

Fonte: Resultados da pesquisa.

Em todos os casos acima, quanto maiores a distância, o preço do diesel, a remuneração do motorista e o CF de transporte (relativos ao tempo), o custo de manutenção do veículo e o preço da tonelada de carbono, maiores os valores dos benefícios que devem ser obtidos, respectivamente. Além disso, todas as variações percentuais em determinado parâmetro foram repassadas integralmente aos valores dos benefícios, ou seja, um aumento de 10% no preço do diesel resulta num aumento de 10% no valor do benefício com consumo de combustível.

Por outro lado, os impactos da variação em determinado parâmetro (*coeteris paribus*) no *VBT* foram diferentes em cada caso. A Tabela 59 ilustra os resultados dos valores dos benefícios totais (econômicos e ambientais) de variações positivas de 10% sobre os valores adotados nos cálculos iniciais para os seguintes parâmetros: preço do diesel, remuneração do

motorista, custos fixos e variáveis de transporte. Assim, se o preço do diesel, por exemplo, subir 10%, o *VBT* aumentará entre 0,07% e 1,8%, dependendo da comparação entre as rotas.

Para a condição da rodovia, foi simulado o caso para uma infra-estrutura pior em relação à considerada inicialmente (“deficiente”), isto é, comparou-se uma rodovia “ruim” com uma em “bom” estado de conservação. Com isso, seguindo os resultados obtidos por Reis (2006), a piora no estado de conservação deve aumentar 39,11% os custos variáveis, resultando num aumento no *VBT* entre 86,7% e 115,7% caso a rodovia “ruim” se tornasse em bom estado de conservação.

Por último, a análise envolvendo o preço da tonelada de carbono considerou os valores das multas no mercado europeu (EU ETS) para o período entre 2005-2007 e 2008-2012 e uma taxa de câmbio de R\$ 3,00/ € 1,00.

Tabela 59 – Variações percentuais no *VBT* decorrentes de mudanças nos valores dos parâmetros (%)

	Preço diesel	Remuneração do motorista	CF	CV	Condição da rodovia	Preço da tonelada de carbono	
	R\$ 2,11/l	R\$ 8,27/h	R\$ 28,82/h	R\$ 1,57/km	Deficiente p/ ruim	€ 40,00/t	€ 100,00/t
<i>Melhor(1)/Pior(1)</i>	0,07	0,16	0,54	9,23	101,11	0,10	0,27
<i>Melhor(2)/Pior(1)</i>	0,54	-0,25	-0,87	10,57	115,75	0,75	2,13
<i>Melhor(1)/Pior(2)</i>	1,25	0,18	0,61	7,92	86,73	1,75	4,99
<i>Melhor(2)/Pior(2)</i>	1,79	-0,16	-0,57	8,88	97,29	2,49	7,12

Fonte: Resultados da pesquisa.

b) Experimento 2

No conjunto de experimentos 2, também foram observados benefícios econômicos e ambientais quando uma rota em melhores condições de conservação foi percorrida por dois tipos de caminhão, sendo mais expressivos quando as viagens foram realizadas pelo modelo Scania R124 420.

Os benefícios relacionados à redução nos custos de manutenção do veículo representaram entre 76,7% e 84,6% dos benefícios totais obtidos, dependendo do tipo de

caminhão utilizado. O consumo de combustível representou entre 15% e 19,2%, o tempo de viagem respondeu, no caso da Scania, por 3,4% e as emissões contribuíram com 0,5% e 0,63% dos benefícios totais, expressos em R\$/100 km (Tabela 60).

Tabela 60 – Composição do benefício total (R\$/100 km)

	Veículo	Combustível	Tempo	Manutenção	Emissões	Benefício Total
<i>Melhor/Pior</i>	S R124 420	8,19	1,44	32,67	0,27	42,60
<i>Melhor/Pior</i>	MB 1944 S	5,81	-0,04	32,67	0,19	38,63

Fonte: Resultados da pesquisa.

A Tabela 61 apresenta alguns valores de benefício para rotas entre 500 km e 3.000 km, com um intervalo de 500 km entre elas.

Tabela 61 – Valores dos benefícios totais (*VBT*) para rotas com diferentes extensões (R\$)

	Veículo	500 km	1.000 km	1.500 km	2.000 km	2.500 km	3.000 km
<i>Melhor/Pior</i>	S R124 420	213,00	425,99	638,99	851,99	1064,98	1277,98
<i>Melhor/Pior</i>	MB 1944 S	193,14	386,28	579,43	772,57	965,71	1158,85

Fonte: Resultados da pesquisa.

Da mesma forma que na análise de sensibilidade realizada para o conjunto de experimentos 1, foram realizadas variações percentuais nos valores de alguns parâmetros econômicos para verificar os impactos nos valores dos benefícios, expressos em R\$/100 km. Para todos os casos, as variações percentuais em determinado parâmetro foram repassadas integralmente aos valores dos benefícios relativos àquele parâmetro que sofreu variação.

O *VBT* alterou-se com as variações nos valores dos parâmetros (*coeteris parebus*), conforme ilustrado na Tabela 62. Também foram impostas variações positivas de 10% sobre os valores iniciais dos seguintes parâmetros: preço do diesel, remuneração do motorista, custos fixos e variáveis de transporte. O maior impacto sobre o *VBT*, dentre estes parâmetros, foi decorrente da variação nos custos variáveis, isto é, um aumento de 10% em seu valor provoca uma elevação entre 7,7% e 8,5% no *VBT*. A remuneração do motorista quase não alterou o *VBT*.

A simulação para a condição da rodovia também buscou comparar o impacto, no *VBT*, de uma melhoria de uma rota considerada “ruim” para um estado de conservação classificado como “bom”. A redução dos custos variáveis estimada por Reis (2006), de 39,11%, implicaria um aumento no *VBT* entre 84% e 92,6%.

Com relação aos impactos dos benefícios ambientais sobre o *VBT*, verificou-se que este poderia aumentar pelo menos 2,1% e 7,6%, caso os preços da tonelada de carbono fossem € 40,00/t e € 100,00/t, respectivamente.

Tabela 62 – Variações percentuais no *VBT* decorrentes de mudanças nos valores dos parâmetros (%)

	Veículo	Preço diesel	Remuneração do motorista	CF	CV	Condição da rodovia	Preço carbono	
		R\$	R\$ 8,27/h	R\$	R\$	Deficiente p/ ruim	€	€
		2,11/l		35,94/h	1,92/km		40,00/t	100,00/t
	S R124							
<i>Melhor/Pior</i>	420	1,9	0,06	0,3	7,7	84,0	2,7	7,6
	MB							
<i>Melhor/Pior</i>	1944 S	1,5	0,00	0,00	8,5	92,6	2,1	6,0

Fonte: Resultados da pesquisa.

c) Agregado (Experimento 1 + Experimento 2)

Ao considerar todos os dados coletados num agregado, os benefícios foram mais conservadores, mas sempre positivos, inclusive quanto ao parâmetro tempo de viagem.

Uma melhora nas condições de conservação da rodovia implica benefícios com a seguinte composição: a redução nos custos de manutenção representariam quase 85% do benefício total, a queda com consumo de combustível responderia por cerca de 13,8%, a diminuição do tempo de viagem por 0,9% e a redução das emissões aproximadamente 0,43% dos benefícios totais a serem observados, expressos em R\$/100 km (Tabela 63).

Tabela 63 – Composição do benefício total (R\$/100 km)

	Combustível	Tempo	Manutenção	Emissões	Benefício Total
<i>Melhor/Pior</i>	4,81	0,31	29,68	0,15	34,95

Fonte: Resultados da pesquisa.

Na Tabela 64 são apresentados alguns valores de benefício para rotas entre 500 km e 3.000 km.

Tabela 64 – Valores dos benefícios totais (*VBT*) para rotas com diferentes extensões (R\$)

	500 km	1.000 km	1.500 km	2.000 km	2.500 km	3.000 km
Melhor/Pior	174,76	349,53	524,29	699,05	872,82	1.048,58

Fonte: Resultados da pesquisa.

Da mesma forma que nas análises de sensibilidade realizadas para o conjunto de experimentos 1 e 2 separadamente, foram adotadas variações percentuais nos valores de parâmetros, as quais foram repassadas integralmente aos benefícios relativos àquele parâmetro que sofreu variação.

Entretanto, com relação ao valor do benefício total (*VBT*), variações individuais nos parâmetros (*coeteris paribus*), implicam variações de diferentes magnitudes (Tabela 65). As suposições foram as mesmas adotadas nos experimentos 1 e 2, separadamente. Dentre os parâmetros que sofreram um acréscimo de 10% nos valores iniciais (preço do diesel, remuneração do motorista, custos fixos ou custos variáveis de transporte), o que mais impactou positivamente o *VBT* foi o custo variável (um aumento de aproximadamente 85%).

A simulação de que a rodovia passaria de um estado “ruim” para “bom”, refere-se a uma queda indireta nos custos variáveis de 39,11%, resultando em um aumento de 93% no *VBT*. Já os benefícios ambientais aumentaram em 1,85% e 5,3% se o preço da tonelada de carbono atingir € 40,00/t e € 100,00/t, respectivamente.

Tabela 65 – Variações percentuais no *VBT* decorrentes de mudanças nos valores dos parâmetros (%)

	Preço diesel	Remuneração do motorista	CF	CV	Condição da rodovia	Preço carbono	
	R\$	R\$ 8,27/h	R\$	R\$	Deficiente	€	€
	2,11/l		32,62/h	1,75/km	p/ ruim	40,00/t	100,00/t
<i>Melhor/Pior</i>	1,4	0,02	0,07	8,5	93,0	1,85	5,3

Fonte: Resultados da pesquisa.

6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos confirmam a hipótese de que rotas com diferentes condições de infra-estrutura resultam em custos de viagem distintos, relacionados ao consumo de combustível, ao tempo de viagem e ao gasto com manutenção do combustível. Portanto, rotas em melhores condições de conservação resultam em maiores benefícios tanto econômicos quanto ambientais.

Em ambos os conjuntos de experimentos realizados, apesar das diferenças nas magnitudes alcançadas, foram identificadas reduções no consumo de combustível, no tempo de viagem e, especialmente, nos gastos com a manutenção dos veículos. Ambos também apontam para uma melhoria na eficiência energética observada durante as viagens quando a opção foi a utilização das rotas com melhores condições de pavimentação. Este fato resultou em índices de emissões diferentes para as viagens realizadas.

No primeiro conjunto de experimento realizado, no que se diz respeito aos benefícios econômicos, houve uma redução entre 0,22% e 6% no consumo médio de combustível, dependendo das rotas consideradas, e de 18,7% no gasto com manutenção do caminhão quando o veículo utilizado na pesquisa percorreu a rota em melhores condições de conservação.

Com relação ao tempo de viagem, foi possível notar que as condições da via não são determinantes para resultar num benefício economicamente mensurável. Deve haver outros fatores externos, relacionados às condições da viagem (como tráfego, fiscalização, número de radares, passagem por trecho urbano e velocidade máxima permitida, por exemplo) que podem exercer maior influência no desempenho deste parâmetro.

Os testes de hipótese aplicados indicam significância estatística nos casos envolvendo as comparações entre os consumos médios de combustível em rotas com diferentes condições de conservação, rejeitando-se a hipótese de que são iguais, em favor de que o consumo médio em rotas melhores é inferior ao verificado em rotas piores. No caso do tempo médio de viagem, a hipótese não foi estatisticamente significativa ao nível de 5%.

O benefício econômico total verificado neste experimento variou de R\$ 300,77 a R\$ 347,39 por viagem, o que equivale a uma redução entre 11,7% e 13,5% do valor do frete da soja transportada de Campo Grande e de Itumbiara para o porto de Paranaguá, por exemplo.

Quanto aos aspectos ambientais, as rotas com melhores condições de pavimentação reduziram as emissões entre 0,1 gCO₂/t.km e 1,8 gCO₂/t.km, ou seja, reduções de 0,01% a 0,2% nas externalidades negativas relacionadas às emissões.

No segundo conjunto de experimentos, por sua vez, foram corroborados os resultados obtidos no primeiro conjunto de experimentos. Além disso, foi possível realizar comparações entre os desempenhos observados por dois tipos de caminhões (fabricantes) diferentes. Nesse caso, observou-se que o tipo de tecnologia empregada pode estar influenciando no consumo de combustível e, conseqüentemente, nas emissões de CO₂. Portanto, diferentes marcas de caminhões também podem resultar em diferentes níveis de emissão.

Num terceiro momento, quando todos os dados foram agregados, notou-se que os resultados apresentaram maior consistência, pois diluíram a variabilidade verificada separadamente em cada conjunto de experimento. Ademais, continuaram indicando a presença de benefícios econômicos e ambientais quando percorridas rotas com melhores condições de conservação. Os testes estatísticos aplicados também indicaram que, no caso do consumo médio de combustível, a hipótese nula é estatisticamente significativa, enquanto que no caso do tempo médio de viagem, isto não pôde ser observado.

Os índices de emissões encontrados variaram entre 28 g CO₂/t.km e 29 g CO₂/t.km para rotas melhores e piores, respectivamente, gerando um benefício de 1g CO₂ por tonelada transportada a cada quilômetro.

Esta diferença foi essencial no estudo, uma vez que foi o ponto de partida para a valoração da externalidade ambiental positiva decorrente de um programa nacional de recuperação das rodovias. A valoração das externalidades positivas relacionadas às reduções de emissão no transporte deve ser considerada como bastante conservadora nesta Tese, uma vez que foram adotados os valores correspondentes ao custo de redução das emissões em países não pertencentes ao Anexo I, não considerando os benefícios indiretamente verificáveis.

As análises de sensibilidade indicaram que, no geral, variações percentuais de 10% provocam variações percentuais menores no valor do benefício total (econômico e ambiental). No caso dos custos variáveis, as variações são mais próximas de 10%, enquanto os outros parâmetros são mais inelásticos.

Os custos de manutenção do veículo apresentaram elevada elasticidade, uma vez que uma melhora de 39% nas condições da rodovia resultam em cerca de 90% de aumento no valor do benefício total.

No caso dos benefícios ambientais, estes respondem pela menor parcela do valor do benefício total; conseqüentemente, o preço da tonelada de carbono deve aumentar em 10 vezes para haver um aumento no valor do benefício total de aproximadamente 5 ou 6%. Destaca-se que nos cálculos realizados, entretanto, não foram considerados os benefícios indiretos provocados pela redução das emissões, uma vez que ainda não são conhecidos os impactos de medidas mitigatórias e, conseqüentemente, seus valores monetários, subestimando seu potencial.

Portanto, conclui-se que investimentos em infra-estrutura que melhorem as condições de conservação das rodovias geram benefícios privados e ambientais, os quais, por sua vez, apresentam diferentes impactos nos valores dos benefícios. A partir dos principais resultados obtidos, foi possível verificar que o tempo médio de viagem representa o parâmetro que sofre a menor influência do estado de conservação da rodovia, existindo outros fatores exógenos que devem explicar seu comportamento. Variações nos gastos com a manutenção do veículo, por sua vez, implicam em elevadas variações no valor do benefício total, e constituem parcela significativa do benefício.

Deve-se destacar que os benefícios econômicos foram estimados considerando a economia obtida por viagem, independentemente se o motorista é autônomo ou contratado por uma empresa transportadora. Não foi, portanto, assumido o ponto de vista de um determinado agente, uma vez que, apesar de os benefícios resultantes serem os mesmos, a forma como eles serão internalizados ou distribuídos dependerá da percepção de cada autônomo e, no caso de motorista contratado, de sua relação com a transportadora.

Num segundo momento, os benefícios resultantes de uma melhoria na infra-estrutura rodoviária serão sentidos por todos os motoristas e transportadoras que utilizam a malha em questão. Assim, dado que a oferta de transporte insere-se num mercado de concorrência perfeita, o preço do frete tende a diminuir, gerando um efeito multiplicador positivo na economia como um todo: a redução dos preços dos bens produzidos internamente beneficiará o consumidor doméstico, bem como tornará as mercadorias produzidas no Brasil mais competitivas no mercado internacional, contribuindo para a redução do “Custo-Brasil”.

Desta maneira, esta análise foca na identificação e valoração dos benefícios econômicos por determinada viagem, não identificando o beneficiário direto (autônomo ou transportadora). Assume-se, portanto, que em ambos os casos seriam observados os mesmos benefícios. A análise também é feita para o curtíssimo-prazo, no qual os benefícios ainda não foram percebidos pela sociedade.

Ademais, a redução do consumo individual de combustível, quando extrapolado para todo o setor de transporte rodoviário de cargas, provoca numa queda expressiva no consumo nacional de óleo diesel, contribuindo favoravelmente para a redução nas importações deste combustível bem como para o saldo da balança comercial brasileira. A redução média no consumo de combustível verificada foi de 5,06% (considerando o experimento agregado), o que equivaleria, considerando dados de Lima (2006), a uma queda de 1,10 bilhões de litros consumidos no ano de 2004 e a uma economia de R\$ 1,63 bilhões.

Espera-se que os resultados obtidos sejam capazes de balizar políticas (via agentes públicos ou privados, ou até mesmo envolvendo uma parceria entre ambos – as Parcerias Público-Privadas) que visem o incremento da eficiência do sistema de transporte rodoviário, especialmente do ponto de vista econômico e de eficiência energética. Além destes aspectos, é importante também o país encontrar soluções sustentáveis que reduzam as emissões de CO₂ diante das indefinições atuais referentes ao segundo período de compromisso do Protocolo de Quioto (após 2012), o qual poderá implicar o comprometimento com metas de redução de emissões.

Diante dos resultados apresentados, sugere-se que tal estudo venha a ser complementado por pesquisas envolvendo outras variáveis, no sentido de identificar outras alternativas para aumentar a eficiência do transporte rodoviário (programas de renovação da frota ou treinamento de motoristas, por exemplo). Seria interessante também quantificar os benefícios econômicos para a sociedade em geral, resultantes da melhoria da malha rodoviária (efeitos multiplicadores positivos): estimação da redução do valor do frete e dos preços dos produtos; do aumento do consumo interno e, possivelmente, externo; da redução do consumo de óleo diesel, entre outros. Além disso, análises mais abrangentes envolvendo outros modais de transporte poderiam auxiliar na identificação outras possibilidades e justificativas para incentivar obras de melhoria da infra-estrutura de transporte.

REFERÊNCIAS

GUIA 4 RODAS. São Paulo: Abril, 2004. 1 CD-ROM.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES – ANTT. **Concessões ferroviárias**. Disponível em: <<http://www.antt.gov.br>>. Acesso em: 8 jun. 2006.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES – ANTT. **Mapas**. Disponível em: <<http://www.antt.gov.br>>. Acesso em: 8 jun. 2006.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO - ANP. **Relatórios mensais de preços**. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/doc/petroleo/relatorios_precos/2006/Diesel_2006.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2006.

ÁLVARES JUNIOR, O.M.; LINKE, R.R.A. **Metodologia simplificada de cálculo das emissões de gases do efeito estufa de frotas de veículos no Brasil**. 2003. Disponível em: <<http://www.cetesb.gov.br>>. Acesso em: 26 abr. 2004.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES – ANFAVEA. **Anuário da indústria automobilística brasileira**: 2005. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/anuario.htm>>. Acesso em: 5 jan. 2005.

BARTHOLOMEU, D.B. **Potencial da negociação de crédito de carbono a partir da avaliação de trajetos alternativos para uma mesma rota rodoviária**: um estudo de caso no Estado de São Paulo. 2001. 95 p. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Ciências Econômicas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

BERGER, R. **Minimização do custo de transporte de madeira de eucalipto no estado de São Paulo**. Piracicaba, 1975. 122 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Sociais Rurais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1975.

BISHOP, G.A.; McLAREN, S.E.; STEDMAN, D.H.; PIERSON, W.R.; ZWEIDINGER, R.B.; RAY, W.D. Method comparisons of vehicle emissions measurements in the Fort McHenry and Tuscarora mountain tunnels. **Atmospheric Environment**, Amsterdam, v. 30, n. 12, p. 2307-2316, 1996.

BRANCO, G.M.; BRANCO, F.C.; MURGEL, E. **Modelagem da qualidade do ar em rodovias para a intervenção e gerenciamento da operação**. São Paulo: AEA, 2003. 22 p.

BRASIL. Lei 10.336, de 19 de dezembro de 2001. Institui Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico incidente sobre a importação e a comercialização de petróleo e seus derivados, gás natural e seus derivados, e álcool etílico combustível (Cide), e dá outras providências. **Diário Oficial**, Brasília, 20 dez. 2001. Disponível em: <<http://legis.senado.gov.br/sicon/ExecutaPesquisaLegislacao.action>>. Acesso em: 7 fev. 2006.

BRASIL. Lei 10.866, de 4 de maio de 2004. Regulamenta a partilha com os Estados, o Distrito Federal e os Municípios da arrecadação da Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico incidente sobre a importação e a comercialização de petróleo e seus derivados, gás natural e seus derivados, e álcool etílico combustível - Cide, e dá outras providências. **Diário Oficial**, Brasília, 5 maio 2004. Disponível em: <<http://legis.senado.gov.br/sicon/ExecutaPesquisaLegislacao.action>>. Acesso em: 7 fev. 2006.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT; INSTITUTO ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA - COPPE. **Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa**: relatórios de referência e emissões de gases de efeito estufa por queima de combustíveis: abordagem *Bottom-Up*. Brasília, 2002a. 110 p.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Departamento Nacional de Política Energética. **Balço energético nacional**. Brasília, 2005. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/site/menu/select_main_menu_item.do?channelId=1432&pageId=4040>. Acesso em: 29 mar. 2006.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Comunicação nacional do Brasil à Convenção-quadro das Nações Unidas sobre mudança do clima**. Brasília, nov. 2004. 276 p.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa**: relatórios de referência e emissões de gases de efeito estufa por fontes móveis, no setor energético. Brasília, 2002b. 105 p.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Status das ratificações da Convenção**. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/20247.html>>. Acesso em: 5 jun. 2006.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Status de ratificação do protocolo de Quioto**. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/4457.html>>. Acesso em: 5 jun. 2006b.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Convenção sobre mudança do clima**. Brasília, 1999. 30 p.

BRASIL. Ministério dos Transportes. **Transporte aquaviário**. Disponível em: <<http://www.transportes.gov.br/>>. Acesso em: 4 maio 2006c.

BRASIL. Ministério dos Transportes. **Transporte terrestre**. Disponível em: <<http://www.transportes.gov.br/>>. Acesso em: 4 maio 2006c.

BURÓN, J.M.; LOPEZ, J.M.; APARICIO, F.; MARTIN, M.A.; GARCIA, A. Estimation of road transportation emissions in Spain from 1988 to 1999 using COPERT III program. **Atmospheric Environment**, Amsterdam, v. 38, n. 5, p. 715-724, 2004.

CENTRO DE ESTUDOS EM LOGÍSTICA – CEL; CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES – CNT. **Transporte de carga no Brasil**: ameaças e oportunidades para o desenvolvimento do país. Rio de Janeiro, set. 2002. Disponível em: <<http://www.coppe.ufrj.br>>. Acesso em: 1 jun. 2006.

CENTRO DE ESTUDOS INTEGRADOS SOBRE MEIO AMBIENTE E MUDANÇAS CLIMÁTICAS - CENTRO CLIMA; COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA - COPPE/UFRJ. **Inventário de emissões de gases de efeito estufa no município de São Paulo**: síntese. São Paulo, jul. 2005. Disponível em: <http://ww2.prefeitura.sp.gov.br/arquivos/secretarias/meio_ambiente/SinteseDoInventario.pdf>. Acesso em: 7 jun. 2006.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES – CNT. **Boletim econômico**. Brasília, jan. 2006. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br/cnt/downloads/becon/BeconCNT012006.pdf>>. Acesso em: 22 jan. 2006.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES – CNT. **Boletim estatístico**. Brasília, dez. 2005b. Disponível em: <http://www.cnt.org.br/cnt/downloads/becnt/becnt_122005.pdf>. Acesso em: 22 jan. 2006.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES – CNT. **Pesquisa empresa de cargas CNT-2002**: relatório analítico. Brasília, 2002. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br>>. Acesso em: 6 jan. 2006.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES – CNT. **Pesquisa rodoviária 2005**: relatório gerencial. Brasília, 2005a. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br>>. Acesso em: 15 abr. 2006.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES – CNT. **Revista CNT**. Brasília, 2001. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br>>. Acesso em: 8 mar. 2001.

CONTADOR, C.R. **Projetos sociais**: avaliação e prática. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1997. 375 p.

CORREA JUNIOR, G.M. **Principais determinantes do preço do frete rodoviário para transporte de soja em grãos em diferentes regiões brasileiras**: uma análise econométrica. 2001. 102 p. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

ENERGY INFORMATION AGENCY – EIA. **International energy outlook 2005**. Washington, July 2005. Disponível em: <<http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/index.html>>. Acesso em: 31 maio 2006.

FIGUEIREDO, K.F.; FLEURY, P.F.; WANKE, P. (Org.). **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos**: planejamento do fluxo de produtos e dos recursos. São Paulo: Atlas, 2003. 488 p.

FUNDAÇÃO INSTITUTO DE PESQUISAS ECONOMICAS – FIPE; CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES - CNT. **Índice de desempenho econômico do transporte – IDET**. 2005. Disponível em: <http://www.fipec.com/indices/idet_consulta.asp>. Acesso em: 22 jul. 2005.

GHG PROTOCOL INITIATIVE. **Calculating CO₂ emissions from mobile sources**. Disponível em: <<http://www.ghgprotocol.org/templates/GHG5/layout.asp?type=p&MenuId=OTAx>>. Acesso em: 15 jun. 2006.

GRAMOTNEV, G.; BROWN, R.; RISTOVSKI, Z.; HITCHINS, J.; MORAWSKA, L. Determination of average emission factors for vehicles on a busy road. **Atmospheric Environment**, Amsterdam, v. 37, n. 4, p. 465-474, 2002.

HARRINGTON, W. Fuel economy and motor vehicle emissions. **Journal of Environmental Economics and Management**, Washington, v. 33, n. 3, p. 240-252, 1996.

HOFFMANN, R. **Estatística para economistas**. 2. ed. São Paulo: Livraria Pioneira, 1991. 426 p.

HOUGHTON, J.T.; DING, Y.; GRIGGS, D.J.; LINDEN, P.J. van der; DAI, X.; MASKELL, K.; JOHNSON, C.A. **Climate change 2001: the scientific basis**. Cambridge: Cambridge University Press / Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC, 2001a. 881 p.

INFORME SIFRECA. Piracicaba, v. 10, n. 111, jul. 2006. Disponível em: <<http://sifreca.esalq.usp.br>>. Acesso em: 28 jul. 2006.

INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA – INEE. **A eficiência energética e o novo modelo do setor energético**. Rio de Janeiro, ago. 2001. Disponível em: <<http://www.inee.org.br>>. Acesso em: 30 jul. 2003.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Climate change 2001: synthesis report**. Cambridge: Cambridge University Press, 2001b. 397 p. Disponível em: <http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/vol4/english/index.htm>. Acesso em: 6 jun. 2006.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Climate change 2001: impacts, adaptation and vulnerability**. Cambridge: Cambridge University Press, 2001c. 1032 p. Disponível em: <http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/vol4/english/index.htm>. Acesso em: 6 jun. 2006.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Revised 1996 IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories**. Bracknell, 1997. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.htm>>. Acesso em: 2 set. 2004.

JOHANSON, B. The economy of alternative fuels when including the cost of air pollution. **Transportation Research Part D**, Amsterdam, v. 4, n. 2, p. 91-109, 1999.

LAKSHMANAN, T.R.; HAN, X. Factors underlying transportation CO₂ emissions in the USA: a decomposition analysis. **Transportation Research Part D**, Amsterdam, v. 2, n. 1, p. 1-15, 1997.

LIMA, M.P. Custos logísticos na economia brasileira. **Revista Tecnológica**, São Paulo, v. 9, n. 122, p. 64-66, jan. 2006. Disponível em: <<http://www.coppe.ufrj.br>>. Acesso em: 1 jun. 2006.

MATTOS, L.B.R. de. **A importância do setor de transportes na emissão de gases do efeito estufa**: o caso do município do Rio de Janeiro. 2001. 159 p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

MIDENET, S.; BOILLOT, F.; PIERRELÉE, J.C. Signalized intersection with real-time adaptative control: on-field assessment of CO₂ and pollutant emission reduction. **Transportation Research Part D**, Amsterdam, v. 9, n. 1, p. 29-47, 2004.

MÜLLER, F.B. Bolsa de Chicago/EUA realiza primeiro negócio de CO₂ com a Europa. **CarbonoBrasil**. 9 maio 2005. Disponível em: <<http://www.ambientebrasil.com.br/noticias/index.php3?action=ler&id=24606>>. Acesso em: 24 jul. 2006.

MURPHY, R. **Analysis of measures for reducing transportation sector greenhouse gas emissions in Canadá**. 2000. 113 p. Dissertation (Master of Resource Management) – School of Resource and Environmental Management, University of British Columbia, 2000. Disponível em: <<http://www.emrg.sfu.ca/EMRGweb/pubarticles/Reports%20on%20Municipalities%20and%20Transportation/rosemurphy.pdf>>. Acesso em: 29 nov. 2004.

NIEMEIER, D.A.; LIN, K.; UTTS, J. Using observed traffic volumes to improve fine-grained regional emissions estimation. **Transportation Research Part D**, Amsterdam, v. 4, n. 5, p. 313-332, 1999.

PEARCE, D.W.; TURNER, R.K. **Economics of natural resources and the environment**. 3. ed. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 1994. 377 p.

PERRY, R.; GEE, I.L. Vehicle emissions in relation to fuel composition. **The Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 169, n. 1, p. 149-156, 1995.

RAMANATHAN, R.; PARIKH, J.K. Transport sector in Índia: an analysis in the context of sustainable development. **Transport Policy**, Amsterdam, v. 6, n. 1, p. 35-45, 1999.

RANDALL, A. **Resource economics**: an economic approach to natural resource and environmental policy. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1987. 434 p.

REIS, N.G. **Impacto do estado das rodovias sobre o custo operacional dos caminhões**. Jan. 2006. Disponível em: <<http://www.ntcelogistica.org.br/tecnico/impactorod.asp>>. Acesso em: 8 abr. 2006.

RIBEIRO, S.K.; COSTA, C.V.; DAVID, E.G. et al. **Transporte e mudanças climáticas**. Rio de Janeiro: Mauad, 2000. 106 p.

ROCHA, M.T. **Aquecimento global e o mercado de carbono**: uma aplicação do modelo CERT. 2003. 196 p. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

SAMARAS, Z.; ZIEROCK, K.H. Off-road vehicles: a comparison of emissions with those from road transport. **The Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 169, n. 1, p. 249-255, 1994.

SARCOZY, A.; FONSECA JUNIOR, D.; ROCHA, P.R.L. **A trocalização como indutora da qualidade ambiental**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE TRANSPORTE E TRÂNSITO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS - ANTP, 13., 2001, Porto Alegre. Disponível em: <http://www.stm.sp.gov.br/artigos_tecnicos/022.pdf#search=%22m%C3%A9todo%2013%20pontos%20emiss%C3%B5es%22>. Acesso em: 2 ago. 2006.

SENNA, L.A.S.; MICHEL, F.D.; SAN MARTIN, A.P. **Avaliação do impacto da implantação de concessões nas rodovias do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Laboratório de Sistemas de Transportes – LASTRAN/UFRGS, 1998. 188 p.

SINDICATO DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES DE CARGAS E LOGÍSTICA NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL – SETCERGS. **Convenção coletiva de trabalho 2005**. Disponível em: <<http://www.sinecarga.org.br/documentos/aconv2006.doc>>. Acesso em: 19 jul. 2006.

SPIRO, T.G.; STIGLIANI, W.M. **Chemistry of the environment**. 2. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2003. 589 p.

STURM, P.J.; PUCHER, K.; SUDY, C.; ALMBAUER, R.A.; HAMILTON, R.S.; HARRISON, R.M.; SHUTES, B. Determination of traffic emissions: intercomparasion of different calculation methods. **The Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 189, p. 187-196, 1996.

TOURINHO, O.A.F.; MOTTA, R.S.; ALVES, Y.L.B. **Uma aplicação ambiental de um Modelo de Equilíbrio Geral**. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA, ago. 2003. (IPEA. Texto para Discussão, 976).

TURNER, R.K.; PEARCE, D.; BATEMAN, I. **Environmental economics**: an elementary introduction. 1. ed. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 1993. 328 p.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE - UNFCCC. **Overview of project activity cycle**. Disponível em: <<http://unfccc.int/cdm/dmprojslide.html>>. Acesso em: 1 jun. 2006.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE – UNFCCC. **Protocolo de Quioto**. 2. ed. Brasília: MCT, 2001. 34 p.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA. Grain transportation report. **Transportation and marketing programs**. Washington, May 2005. Disponível em: <http://www.ams.usda.gov/tmdtsb/grain/2005/05_12_05.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2005.

APÊNDICE

APÊNDICE – As etapas do ciclo de aprovação de projetos de MDL

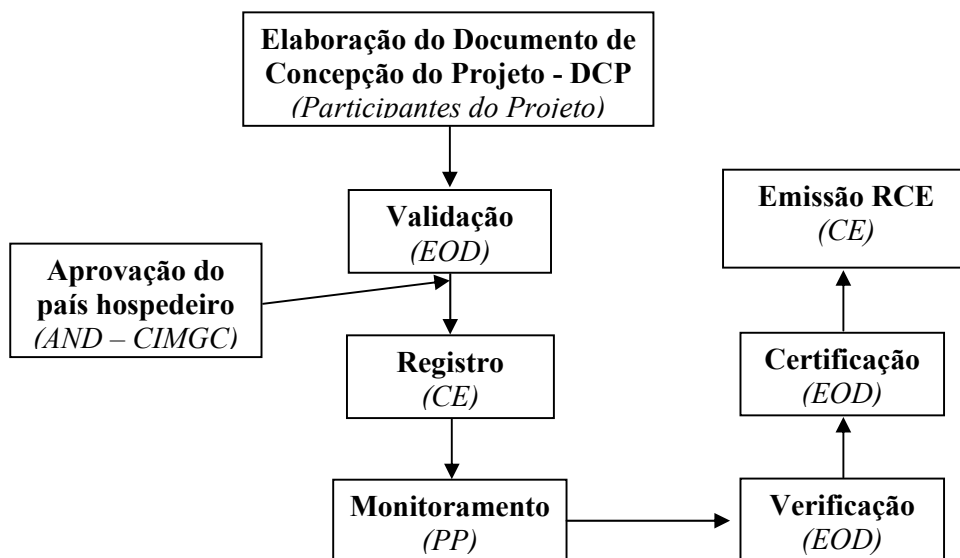


Figura 10 – Ciclo de um projeto de MDL proposto pelo Comitê Executivo

Fonte: UNFCCC (2006)

A primeira etapa é a Elaboração do Documento de Concepção do Projeto (DCP). O DCP deverá descrever as atividades de projeto e os participantes; a metodologia de linha de base; as metodologias para cálculo da redução de emissões de gases de efeito estufa e possíveis fugas; os limites da atividade de projeto; definição do período de obtenção de créditos; um plano de monitoramento e a justificativa para a adicionalidade da atividade de projeto.

A linha de base de um projeto de MDL é o cenário que representa as emissões antropogênicas de GEE que ocorreriam na ausência do projeto. A metodologia de monitoramento será utilizada para verificar o cumprimento das metas de redução de emissões e/ou de sequestro de carbono. A adicionalidade do projeto deve ser comprovada através de um documento disponível no site da UNFCCC, denominado Tool for the Demonstration and Assessment of Additionality (UNFCCC, 2001).

Em seguida, o DCP deve ser validado pela Entidade Operacional Designada (EOD) selecionada pelos Participantes do Projeto (PP). Nessa fase, a EOD revisa o DCP e outros documentos relevantes, tais como relatórios de impactos ambientais; comentários das partes

interessadas (*stakeholders*) e informações quanto à utilização de fontes adicionais de financiamento.

Antes de ser submetido ao Conselho Executivo (CE), o DCP deve também ter sido aprovado pela Autoridade Nacional Designada (AND), que analisa se a atividade de projeto contribui para o desenvolvimento sustentável do país. A AND no Brasil, representada pela Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima (CIMGC), é presidida pelo Ministério da Ciência e Tecnologia e vice-presidida pelo Ministério do Meio Ambiente, mas também é composta por representantes de diversos outros Ministérios (UNFCCC, 2001).

Em seguida, o projeto é enviado para avaliação pelo Comitê Executivo do MDL, que irá aceitá-lo com base no relatório de validação da EOD. Se aceita, a atividade de projeto pode ser registrada no Comitê Executivo. O registro é um pré-requisito para a verificação, certificação e emissão das RCE.

O plano de Monitoramento deverá estar de acordo com a metodologia previamente aprovada e sua implementação cabe aos participantes do projeto (PP). Após o monitoramento, a EOD verificará se a redução de emissões de GEE monitoradas ocorreu efetivamente como resultado da atividade de projeto do MDL. O mesmo órgão deverá certificar, por escrito, que a atividade de projeto atingiu de fato as reduções de emissões declaradas no período. A certificação garante que as reduções de emissões de GEE foram de fato adicionais àquelas que ocorreriam na ausência da atividade de projeto (UNFCCC, 2001).

O relatório de certificação incluirá solicitação para que o Conselho Executivo emita um montante de RCE correspondente ao total de emissões reduzidas e/ou seqüestradas obtidas pela atividade de projeto de MDL.

ANEXO

ANEXO – Classificação da Rodovia

Para ilustrar o processo de classificação da rodovia, a rota entre Rondonópolis e Campo Grande apresenta um trecho comum referente à BR-163, estudado na ligação número 44 (de Nova Alvorada do Sul a Rondonópolis) da Pesquisa Rodoviária 2005.

Enquanto o trajeto da Tese apresentava 480 km, a ligação da CNT possuía uma extensão total de 583 km. Portanto, a classificação geral desta ligação quanto ao pavimento pode não corresponder à realidade do trecho entre Rondonópolis e Campo Grande. Assim, a Figura 38 apresenta a classificação detalhada por trecho da ligação 44 quanto às condições de conservação do pavimento.

Foi considerado apenas o trecho entre Rondonópolis e Campo Grande para a ponderação da qualidade das rodovias, evitando-se assim uma classificação equivocada.

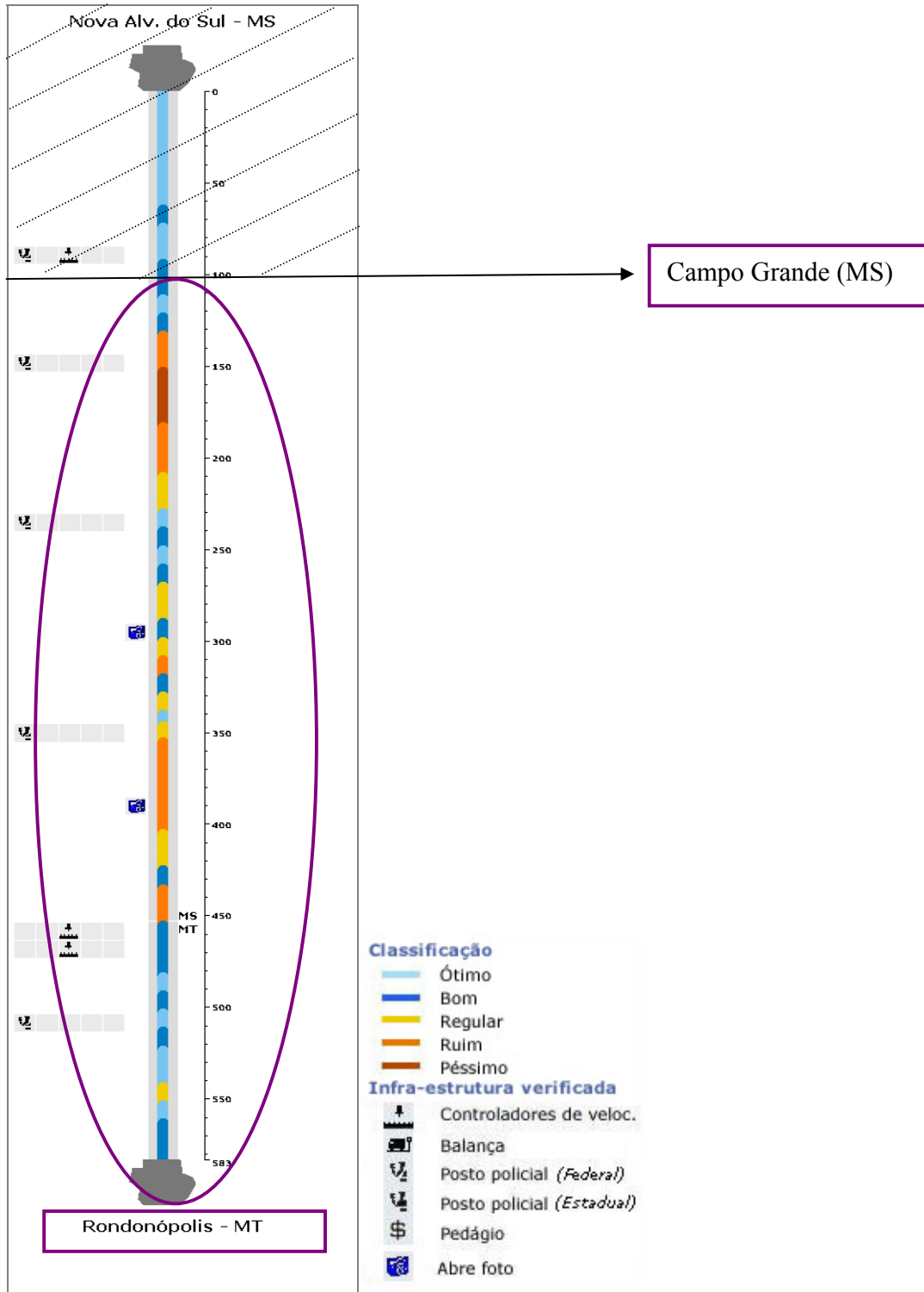


Figura 38 – Figura referente à ligação 44, com as classificações dos trechos quanto às condições de conservação do pavimento

Fonte: CNT (2005)