

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

**Estimativa da redução das emissões gases de efeito estufa através da
intermodalidade no setor sucroenergético: uma aplicação de programação
linear**

Maria Andrade Pinheiro

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

**Piracicaba
2012**

Maria Andrade Pinheiro
Bacharel em Ciências Econômicas

**Estimativa da redução das emissões de gases de efeito estufa através da intermodalidade
no setor sucroenergético: uma aplicação de programação linear**
versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

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

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

Piracicaba
2012

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP**

Pinheiro, Maria Andrade

Estimativa da redução das emissões gases de efeito estufa através da intermodalidade no setor sucroenergético: uma aplicação de programação linear / Maria Andrade Pinheiro. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2012. 200 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2012.

1. Açúcar 2. Dióxido de carbono 3. Efeito estufa 4. Etanol 5. Frete 6. Programação linear 7. Terminais intermodais 8. Transportes I. Título

CDD 338.476641
P654e

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

DEDICATÓRIA

Dedico
A minha mãe e
ao meu pai (*in memoriam*).

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ser meu guia e ter me proporcionado a conquista de mais esta vitória.

A minha mãe, por mais esse apoio, incentivo, batalha e garra para que mais essa conquista fosse atingida. Ao meu pai, que mesmo de longe permanece vivo em meu coração, guiando os meus passos e me inspirando para cada dia ser uma pessoa melhor. Ao meu irmão pela amizade, conselhos e força nas horas de apreensão e a minha tia Rosa que sempre esteve me apoiando e, em especial, no doutorado teve um papel crucial para o início dessa batalha. Obrigada por tudo, mais uma vez vocês foram e continuarão sendo fundamentais. Amo vocês.

Ao Prof. Dr. José Vicente Caixeta Filho, obrigada pela confiança, orientação, conselhos e principalmente pela oportunidade proporcionada no ingresso ao ESALQ-LOG. Posso dizer sem medo de exagerar que o grupo proporcionou mudanças significativas na minha vida pessoal e, principalmente, profissional.

AO CNPq, pelo fomento.

Aos membros participantes das bancas de seminário, qualificação e defesa Prof.^a Dr.^a Maria Victória Ramos Ballester, Prof.^a Dr.^a Daniela Bacchi Bartholomeu, Prof.^a Dr.^a Silvia Helena Galvão de Miranda, Dr. Eduardo Leão de Souza, Prof.Dr. Augusto Hauber Gameiro e Prof. Dr. José Luiz Parré que durante o processo de construção dessa tese contribuíram para a sua melhoria com conselhos, críticas e sugestões.

À Maielli que é o coração da pós-graduação e que sempre está pronta a ajudar.

Aos amigos do Programa de Pós-graduação em Economia Aplicada em especial a André, *Camila*, *Luiza*, Juliana, Jeronimo, Mariângela, *Mauricio*, Neto, Paulo, Pedro e Renilson meus sinceros agradecimentos pelo convívio, companheirismo, parceria, horas de estudos e conversas no banco da entrada do prédio.

Um agradecimento especial a Adriana que sempre me acolheu na sua casa, compartilhou com refeições e lanches a qualquer hora, me escutou nos momentos de angústia, me ajudou com as dúvidas mais banais e sempre esteve ali pronta para ser uma grande amiga. Ao meu querido amigo e irmão Gilberto que desde o mestrado tem dividido comigo as angústias, aflições, conquistas e realizações. Muito obrigada por tudo! E por fim a Priscila, que foi minha companheira de casa durante a estadia em Piracicaba. Obrigada pela companhia, pelas conversas e pelos momentos maravilhosos que passamos juntas na vila.

Por falar na famosa e estimada vila não poderia esquecer de agradecer a Rochane, Angélica, Marina e Flávio, e as “agregadas” Cristiane, Juliana e Fernanda pelos momentos inesquecíveis que passamos nessas casas. Foram muitos dias de conversas, reuniões, confraternizações e almoços comunitários.

A Bárbara, Iáscara e Náthali pela companhia, caronas, hospedagens e por sempre estarem prontas para me ajudar no que fosse preciso. Vocês são grandes amigas.

A todos que fizeram ou ainda fazem parte do ESALQ-LOG, obrigada por todo ensinamento proporcionado durante o meu período de participação no grupo. Através do grupo pude passar por diversas experiências e viajar por diversos “países” que me trouxeram muito conhecimento, crescimento pessoal e, principalmente, profissional. Nesse prazeroso processo destaco os grandes amigos que conquistei e que ultrapassaram os limites físicos da Escola: Aline, André Araujo, André Cuevas, Bruno, Claudi, Carlos, Carolina, Ciro, Diogo, Emília, Fernandinho, Maristela, Matheus, Thiago Pera, Priscilla, Ricardo, Rhuana, Tizato, Vanessa e Walter.

Um agradecimento especial a José Eduardo, pelo apoio em todos os momentos de alegria, conquistas, entusiasmo e também nos de dúvida, aflição, angústia e ansiedade durante a longa caminhada. Foram muitos fins de semanas na ESALQ e noites mal dormidas através do Skype para que nos encorajássemos no caminho do término das teses. Zé, muito obrigada é ainda pouco pela minha enorme gratidão.

À toda equipe da UNICA em especial Luciano, Mariana e Celma pela compreensão e paciência no dia-a-dia de trabalho e ao Luiz, Beatriz e Luana pela ajuda nas questões

pontuais que foram surgindo durante o desenvolvimento deste trabalho. Essa batalha não foi fácil e o apoio que vocês me proporcionaram foi fundamental para essa conquista.

Enfim, a todos que de uma forma ou de outra contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO	11
ABSTRACT	13
LISTA DE FIGURAS	15
LISTA DE TABELAS	17
1 INTRODUÇÃO.....	21
1.1 Objetivo	26
1.2 Estrutura da tese.....	27
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	29
2.1 Panorama do transporte no Brasil.....	29
2.1.1 Rodovias	29
2.1.2 Ferrovias	30
2.1.3 Hidrovias	41
2.1.4 Dutovias.....	44
2.2 A matriz de transporte brasileira e a intermodalidade.....	46
2.3 As emissões de gases de efeito estufa no setor de transporte	53
2.4 Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas e o Protocolo de Quioto	57
2.5 Alternativas diretas e indiretas ao Protocolo de Quioto	61
2.5.1 Mercado Voluntário de Carbono	61
2.5.2 Mitigação nacionalmente apropriadas (NAMAs).....	62
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	65
3.1 Matriz Origem-Destino.....	69
3.2.1 Investimentos privados e públicos em infraestrutura logística e o Plano de Aceleração do Crescimento I e II	77
3.2 Modelo matemático proposto	81
3.3 Dados	89
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	93
4.1 Açúcar.....	94
4.1.1 Cenário 1 - Minimização das emissões e do custo para os fluxos de transporte atual com restrição da quantidade embarcada nos terminais de transbordo e nos portos	94
4.1.2 Cenário 2 - Minimização das emissões e do custo para os fluxos de transporte atual sem restrição da quantidade embarcada nos terminais de transbordo e nos portos	99

4.1.3 Cenário 3 – Minimização das emissões e do custo para a oferta e a demanda interna e externa por açúcar para a safra 2020/2021 considerando a atual infraestrutura de transporte	108
4.1.4 Cenário 4 - Minimização das emissões e do custo para os fluxos de transporte considerando a utilização de todas as obras de infraestrutura previstas no PAC I e PAC II	113
4.2 Etanol.....	118
4.2.1 Cenário 1 - Minimização das emissões e do custo para os fluxos de transporte atual com restrição da quantidade embarcada nos terminais de transbordo e nos portos	119
4.2.2 Cenário 2 - Minimização das emissões e do custo para os fluxos de transporte atual sem restrição da quantidade embarcada nos terminais de transbordo e nos portos.....	124
4.2.3 Cenário 3 – Minimização das emissões e do custo para a oferta e a demanda interna e externa de etanol para a safra 2020/2021 considerando a atual infraestrutura de transporte	130
4.2.4 Cenário 4 - Minimização das emissões e do custo para os fluxos de transporte considerando a utilização de todas as obras de infraestrutura previstas no PAC I e PAC II	136
REFERÊNCIAS	151
APÊNDICES	159
ANEXOS	165

RESUMO

Estimativa da redução das emissões de gases de efeito estufa através da intermodalidade no setor sucroenergético: uma aplicação de programação linear

A questão em torno do aquecimento global vem preocupando a sociedade mundial, sendo que os governantes e ambientalistas têm intensificado estudos e aplicações de medidas para tentar minimizar os efeitos das emissões de gases de efeito estufa na atmosfera. O setor de transporte é o segundo maior consumidor de energia, pois é muito dependente de combustíveis fósseis, que emitem quantidade elevada de CO₂. O setor sucroenergético é um importante gerador de divisas para o país, sendo que a receita em 2010 foi de R\$ 50 bilhões e as exportações alcançaram US\$ 13,8 bilhões. O açúcar é um importante produto da pauta agrícola, o país exporta aproximadamente 70% da sua produção. O etanol é um importante gerador de energia, e consegue minimizar as suas emissões durante seu ciclo produtivo em até 90%, quando comparado a gasolina, seu principal concorrente. Dada a importância do transporte nas emissões de gases de efeito estufa e a possibilidade da mudança de modalidade reduzir essas emissões, o objetivo desta tese é estimar os benefícios da redução das emissões de CO₂, a partir da mudança da matriz de transporte, para o setor sucroenergético. Para tanto foi utilizada a metodologia de programação linear, utilizando a otimização para a minimização das emissões e do custo de transporte. O *softwar* utilizado foi o GAMS e quatro diferentes cenários para ambos os produtos foi traçado. O primeiro e o segundo foi modelado para a safra 2010/2011 e foi considerada a atual malha de transporte, sendo que a diferença entre os dois foi que no primeiro realizou-se a imposição da quantidade máxima de carga utilizando a intermodalidade com base no que foi escoado no ano 2010 e no segundo liberou-se esse volume. O objetivo é captar qual seria a configuração ideal tanto em termos econômicos como ambiental, caso não houvesse problemas estruturais e de infraestrutura para a utilização mais intensa de mais de um modal de transporte. No terceiro e quarto cenário foi utilizada uma estimativa para a safra 2020/2021, sendo que a diferença entre as duas modelagens foi que no terceiro manteve-se a mesma infraestrutura atualmente observada e no último expandiu-se as rotas intermodais passíveis de serem utilizadas considerando todas as obras de transporte apresentadas pela iniciativa privada, governo federal e as inseridas no Plano de Aceleração do Crescimento I e II. Os resultados apontaram um *trade-off* entre custo e emissão quando se compara os resultados da minimização das emissões e da minimização dos custos no mesmo cenário. No entanto, quando se confronta os resultados obtidos entre os cenários propostos verifica-se que é possível reduzir tanto os custos quanto as emissões para ambos os produtos. Para a safra 2020/2021, a simples possibilidade de se utilizar mais intensamente modais de transporte diferentes do rodoviário possibilitaria atingir em apenas três anos a redução de 6,6 milhões de toneladas de CO₂ e R\$ 3,3 bilhões no escoamento do açúcar e etanol. A mitigação através da mudança de modal poderia inserir o setor no mercado de carbono e conquistar mercados preocupados em obter produtos sustentáveis.

Palavras-chave: Açúcar; Etanol; Transporte intermodal; Dióxido de carbono; Frete

ABSTRACT

Estimating greenhouse gas emission reductions through a diversification in transportation systems in the sugarcane industry: applying a linear programming system

Global warming is a major and growing concern around the world, with governments and environmentalists intensifying studies involving measures aimed at minimizing the effects of greenhouse gas emissions into the atmosphere. Among major sectors, transportation is the second largest energy user and it remains highly dependent on fossil fuels that emit high amounts of CO₂. The sugarcane industry is an important source of export revenues for Brazil: while total revenues for 2010 reached US\$ 25 billion, about US\$ 13.8 billion of that was generated by exports. Sugar is a key agricultural product on the Brazilian export agenda, with about 70% of production shipped to other countries. Ethanol, also produced from sugarcane, is a major ingredient of the country's energy mix, which can also minimize emissions through its lifecycle by up to 90% compared to gasoline, its main competitor at the pump. Given the importance of transportation in greenhouse gas emissions and the possibility of diversifying transportation systems to achieve emission reductions, the goal of this thesis is to estimate the benefits the sugar-energy industry of reducing CO₂ emissions through a diversification of transportation methods utilized by the industry. A methodology that relies on linear programming was used, aimed at optimization in order to minimize emissions and transportation costs. GAMS, a widely used software in linear programming, was utilized to construct four different scenarios for both products. Scenarios one and two covered the 2010/2011 harvest and considered the current transportation network, the difference being that scenario one considered a fixed cargo ceiling and various transport modes while scenario two, the cargo ceiling was eliminated. The idea was to arrive at an ideal configuration in both economic and environmental terms, considering no structural or infrastructure obstacles to more intense utilization of different modes of transport. Scenarios three and four relied on a long-range estimate for the 2020/2021 sugarcane harvest, the main difference between the two models being that model three is based on the same infrastructure that currently exists while model four considers an expansion of possible routes involving various transport modes that could be used, considering all transportation-related projects launched by private contractors and the federal government, including those that are a part of the government's Accelerated Growth Plans I and II, also known as PAC. The results point to a tradeoff between costs and emissions, when the results of minimizing emissions and costs within the same scenario are compared. However, when results between the proposed scenarios are pitted against one another, it can be concluded that it is possible to cut costs as well as emissions for both sugar and ethanol. In the 2020/2021 harvest, the simple possibility of utilizing a variety of road transport modes that don't involve road transportation would allow for a 6.6 million ton reduction in CO₂ emissions, with a R\$3.3 billion savings in cost of shipping sugar and ethanol. Mitigation through change transportation mode changes could finally insert the industry in carbon markets, while conquering markets where a greater concern with sustainability already exists.

Keywords: Sugar; Ethanol; Intermodal transport; Carbon dioxide; Freight

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –Malha ferroviária brasileira - projetos atuais e trechos futuros.....	34
Figura 2 –Malha hidroviária brasileira navegável, existente e planejada.....	42
Figura 3 –Trajeto de dutos no Estado de São Paulo previsto pelo consórcio UNIDUTO	45
Figura 4 –Trajeto dos dutos e da hidrovía previstos no projeto proposto pela Transpetro na Região Centro-Sul do país.	46
Figura 5 –Comparação das características de serviço entre modalidades de transporte.....	47
Figura 6 –Divisão por modal do transporte do volume de carga transportada no Brasil em 2005 e comparativo da realidade nacional com os outros países no mesmo ano, respectivamente.	49
Figura 7–Emissões de CO ₂ em 2005 nos 27 membros da EU por setor de transporte....	55
Figura 8 –Externalidade negativa e compensação através do custo marginal social.	66
Figura 9 –Mapeamento dos municípios brasileiros que possuem usinas e são apontados com origem no modelo estimado.	71
Figura 10 –Mapeamento dos municípios centróides que são apontados como destino de açúcar e etanol no Brasil pelo modelo estimado.	72
Figura 11 –Estimativa do consumo mundial de açúcar.....	75
Figura 12 –Esquema representativo do modelo de fluxo de custo mínimo	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Planejamento da desestatização das malhas da RFFSA	32
Tabela 2 –Extensão da Malha Ferroviária no Brasil em km no ano 2009.....	33
Tabela 3 –Total de açúcar e etanol transportado pelas ferrovias em 2009 em milhões de TKU e a participação desses na ferrovia.....	34
Tabela 4 –Municípios com pontos de carregamento e transbordo ferroviário para a transferência de cargas com destino a exportação.....	39
Tabela 5 –Malha rodoviária do país no ano 2008.....	50
Tabela 6 – Comparativo da eficiencia da hidrovia (cabotagem) e a rodovia para o trecho São Paulo/Belém (2.933 km) – navio 950 TEUs e carreta 25 t.....	52
Tabela 7 – Resumo das quantidades de açúcar e etanol produzidos e demandados nas safras 2010/2011 e 2020/2021 utilizados no cálculo dos fluxos de origem e destino do modelo.....	76
Tabela 8 – Quantidade de emissões de CO ₂ para cada modal de transporte em kg/TKU.....	90
Tabela 9 – Descrição dos cenários adotados para a estimativa do modelo para o açúcar e para o etanol.....	93
Tabela 10 - Principais resultados da estimativa para o embarque de açúcar na safra 2010/2011 no cenário 1, ou seja, com restrição de embarque na ferrovia e hidrovia.....	95
Tabela 11 – Fluxo intermodal entre transbordos hidroviário e ferroviário e a quantidade escoada de açúcar no cenário 1 para a minimização das emissões.....	97
Tabela 12 – Fluxo intermodal entre transbordos ferroviários e a quantidade escoada de açúcar no cenário 1 para a minimização dos custos.....	98
Tabela 13 – Principais resultados da estimativa para o embarque de açúcar na safra 2010/2011 no cenário 2, ou seja, sem restrição de embarque na ferrovia e hidrovia.....	100
Tabela 14 – Fluxo intermodal entre os transbordos hidroviário e ferroviário e a quantidade escoada de açúcar para o cenário 2 na minimização das emissões.....	102
Tabela 15 – Fluxo intermodal entre transbordos ferroviários e a quantidade escoada de açúcar no cenário 2 para a minimização dos custos.....	104

Tabela 16 – Comparação entre os resultados apresentados no Cenário 1 e no Cenário 2 para ambas estimativas – minimização das emissões e minimização dos custos de transporte.....	107
Tabela 17 - Principais resultados da estimativa para o embarque de açúcar na safra 2020/2021 para o cenário 3, ou seja, as obras de infraestrutura não estão disponíveis.....	108
Tabela 18 – Fluxo intermodal entre transbordos hidroviário e ferroviário e a quantidade escoada de açúcar escoado no cenário 3 para a minimização das emissões.....	110
Tabela 19 – Fluxo intermodal entre transbordos ferroviários e a quantidade escoada de açúcar para o cenário 3 na minimização dos custos.....	112
Tabela 20 - Principais resultados da estimativa para o embarque de açúcar na safra 2020/2021, no cenário 4, ou seja, com todas as obras de infraestrutura disponíveis.....	114
Tabela 21 - Comparação entre os resultados apresentados no Cenário 3 e no Cenário 4 para ambas estimativas – minimização das emissões e minimização dos custos de transporte.....	116
Tabela 22 - Principais resultados da estimativa para o embarque de etanol na safra 2010/2020, para o cenário 1, ou seja, com restrição de embarque na ferrovia e hidrovia.....	120
Tabela 23 – Fluxo intermodal entre transbordos hidroviário e ferroviário para o etanol no cenário 1 para a minimização das emissões.....	121
Tabela 24 – Fluxo intermodal entre transbordos ferroviários e a quantidade escoada de etanol no cenário 1 para a minimização dos custos.....	122
Tabela 25 - Principais resultados da estimativa para o embarque do etanol na safra 2010/2011, no cenário 2, ou seja, sem restrição de embarque na ferrovia e na hidrovia.....	125
Tabela 26 - Fluxo intermodal entre transbordos hidroviário e ferroviário e a quantidade escoada de etanol no cenário 2 para a minimização das emissões.....	126
Tabela 27 – Fluxo intermodal entre transbordos ferroviários e a quantidade escoada de etanol no cenário 2 para a minimização dos custos.....	128
Tabela 28 – Comparação entre os resultados apresentados no Cenário 1 e no Cenário 2 para o etanol em ambas estimativas – minimização das emissões e minimização dos custos de transporte.....	130

Tabela 29 - Principais resultados da estimativa para o embarque do etanol na safra 2020/2021, no cenário 3, ou seja as obras de infraestrutura não estão disponíveis.....	131
Tabela 30 – Fluxo intermodal entre transbordos hidroviário e ferroviário e a quantidade escoada de etanol no cenário 3 para o cenário de minimização das emissões.....	133
Tabela 31 – Fluxo intermodal entre transbordos ferroviários e a quantidade escoada de etanol no cenário 3 para a minimização dos custos.....	135
Tabela 32 - Principais resultados da estimativa para o etanol na safra 2020/2021, no cenário 4, ou seja, com todas as obras de infraestrutura disponíveis.....	137
Tabela 33 - Comparação entre os resultados apresentados no Cenário 3 e no Cenário 4 para ambas estimativas – minimização das emissões e minimização dos custos de transporte.....	140
Tabela I.A – Fluxo intermodal entre transbordos hidroviário e ferroviário e a quantidade escoada de açúcar no cenário 4 para a minimização das emissões.....	167
Tabela II.A – Fluxo intermodal entre transbordos hidroviário e ferroviário e a quantidade escoada de açúcar no cenário 4 para a minimização do custo de transporte.....	172
Tabela III.A – Fluxo intermodal entre transbordos dutoviário e ferroviário e a quantidade escoada de etanol no cenário 4 para a minimização das emissões.....	176
Tabela IV.A – Fluxo intermodal entre transbordos dutoviário e ferroviário e a quantidade escoada de etanol no cenário 4 para a minimização dos custos.....	180

1 INTRODUÇÃO

O debate em torno do aquecimento global tem se intensificado no cenário internacional e, cada vez mais, os países estão realizando acordos de metas de redução das emissões de gases de efeito estufa na atmosfera. Uma série de reuniões intergovernamentais para discutir e definir metas já foram realizadas.

A perda econômica gerada pela emissão de uma tonelada de dióxido de carbono é denominada custo social do carbono, que mensura o impacto dos problemas gerados pelas mudanças climáticas (ACKERMAN; STANTON, 2011).

O Protocolo de Quioto assinado em 2007 dividiu o mundo em dois grupos de países, sendo que os países desenvolvidos foram classificados como Anexo I e os em desenvolvimento não-Anexo I. Três tipos de mecanismos para a compensação das emissões foram determinados, sendo que para os países pertencentes ao segundo grupo criou-se o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. Através desse processo os países em transição poderiam vender créditos de carbono aos países pertencentes ao Anexo I.

Segundo Meira Filho e Macedo (2010), as causas desse debate em torno do aquecimento global ocorrem por razões de ordem antrópica que ocasionam a concentração de gases de efeito estufa na atmosfera como o dióxido de carbono, metano, óxido nitroso e gases industriais derivados de halogênios. Essa concentração causa alterações nos oceanos e na atmosfera em decorrência do aquecimento gradual da superfície.

O relatório apresentado pela United Nations Framework Convention on Climate Change- UNFCCC (2011) referente à Conferência das Partes da Convenção (COP 16) realizada em dezembro de 2010 em Cancun no México informa que a redução das emissões permite um aumento de temperatura de no máximo 2° C, sendo que a meta de longo prazo é o limite de 1,5°C. Esses valores são importantes, pois espera-se a definição de metas de redução para o segundo período do compromisso e a obtenção das ações de mitigação (NAMAs) nos países em desenvolvimento.

No Brasil, o Balanço Energético Nacional, divulgado pelo Ministério de Minas e Energia em 2011, revelou que no ano 2010, 35,6% da energia consumida no país ocorreu no setor industrial, seguida do setor de transporte com 28,8% e do energético com 10,5%.

O setor de transporte é muito dependente de combustíveis fósseis, sendo que nesse mesmo ano foram utilizados 73,8% de combustíveis com origem não renovável (48,6% diesel e 25,2% gasolina).

O principal contribuinte desse elevado consumo é o modal rodoviário, que participou em 2008 na movimentação de 58% das cargas transportadas no país. Boa parte desses trajetos, principalmente os que têm os portos como destino, poderia ser feito utilizando a combinação rodo-ferroviário, rodo-hidroviário e até mesmo rodo-hidro-ferroviário.

Estudos realizados pela *Organisation for Economic Co-operation and Development*- OECD, em 2008, apontaram que nos 27 países que compõem a União Européia, o modal rodoviário emite 70,5% do total de gases de efeito estufa gerados pelo setor de transporte, enquanto o modal aquaviário (marítimo mais hidroviário) 14,9%, ferroviário 1,6%, dutoviário 0,8% e aeroviário 12,2%. Dessa forma, a combinação de mais de um modal de transporte pode trazer benefícios significativos na busca pelas metas de redução das emissões.

Esse setor é um elo muito importante para a realização do comércio entre as diversas regiões de um país e até mesmo para que sejam alcançados os mercados internacionais. No caso específico da cadeia sucroenergética, onde os principais produtos derivados, açúcar e o etanol, necessitam percorrer distâncias que muitas vezes ultrapassam as barreiras dos dois mil quilômetros para atender o seu mercado consumidor, a dependência pelo uso de caminhões para a escoamento da produção é evidente.

O setor sucroenergético gerou, em 2010, receita de 50 bilhões de reais e divisas externas de US\$ 13,8 bilhões. Na safra 2010/2011 eram 432 plantas industriais, distribuídas em 24 estados, sendo que cerca de 90% da moagem de cana-de-açúcar, a partir da qual se fabrica o açúcar e o etanol, concentra-se na região Centro-Sul que acaba por abastecer a maior parte do mercado interno e externo (UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR - UNICA, 2011).

O açúcar, quando comparado com os demais produtos agrícolas, é o segundo principal produto da pauta de exportação brasileira, ficando atrás apenas da soja, pois cerca de 70% da sua produção têm como objetivo abastecer o consumo no mercado mundial. O país tem participado nesse mercado global com, aproximadamente, 53% do total comercializado.

Essa carga de açúcar que é entregue ao mercado externo é escoada através dos portos brasileiros, principalmente o de Santos em São Paulo e Paranaguá no Paraná. Na safra 2010/2011 o porto paulista exportou 71,3% e o paranaense 17,0% do total de açúcar direcionado ao mercado externo.

Apesar da possibilidade de se utilizar as ferrovias como modal de transporte para o escoamento desse açúcar até o porto, o principal modal utilizado é o rodoviário. Um dos fatores que justifica esse comportamento é o fato dos portos não possuírem uma capacidade de armazenamento suficiente e estrutura adequada para receber lotes muito grandes de carga açucareira.

Seria necessário que houvesse um sistema em que a carga vinda por ferrovia conseguisse desembarcar diretamente nos terminais de armazenamento de uma maneira que não comprometesse o sistema logístico da operação. Hoje, além do problema de ligação entre o terminal e a ferrovia, verifica-se também uma inadequação para a otimização do tempo de descarregamento do trem, a pouca disponibilidade de fretes de retorno, o problema de direito de passagem entre as concessionárias, falta de vagões e locomotivas e melhoria nas malhas férreas.

O Porto de Santos, segundo Setten (2010), possui terminais que possibilitam o embarque dedicado de açúcar a granel ou ensacado em embalagens de 50kg ou de ambos os tipos no mesmo local, além de contêineres. O açúcar exportação é operado, normalmente, na forma a granel. A capacidade estática desses terminais, em 2009, era de 765 mil toneladas.

Uma estimativa levantada entre as empresas operadoras das linhas férreas dá conta que, em média, um pouco mais de 20% de todo o açúcar a ser exportado pelo porto de Santos chega até ele através do modal ferroviário, conforme Setten (2010). Entretanto, segundo Oliveira e Caixeta Filho (2007), esse valor pode atingir 60% se houver incentivos e investimentos nas ferrovias e nos portos.

O Porto de Paranaguá, conforme Setten (2010) é especializado no embarque de açúcar a granel e possui capacidade de embarque de quatro milhões de toneladas e potencialmente um incremento de mais um milhão de tonelada no caso da utilização dos terminais de grãos.

Neste porto observa-se uma melhor estrutura para a utilização das linhas férreas no embarque do açúcar quando comparado ao porto de Santos. Os vagões estão em melhores condições de uso, principalmente porque a malha ferroviária Sul, quando privatizada, já possuía o histórico de escoamento de grãos. Dessa forma, foi possível em

2008 atingir a marca de mais de 70% do açúcar exportado por esse porto ser escoado por esse modal (SETTEN,2010).

O etanol, que é o outro produto derivado da cana-de-açúcar, concentra a sua carga basicamente para abastecer o mercado consumidor interno. Desde o lançamento dos carros *flexfuel* em 2003, houve uma expansão da frota nacional que pode optar entre etanol e gasolina para abastecer e gerou um mercado consumidor cativo de etanol hidratado, além do mercado de etanol anidro que é acrescido na gasolina conforme a legislação vigente. No ano de 2010 a frota nacional desse tipo de veículo atingiu 48,1% do total de veículos.

Na safra 2010/2011 foram produzidas pelas usinas nacionais 27,37 bilhões de litros de etanol, sendo que desses 93,04% abasteceram o mercado doméstico (que é composto pelos vinte e seis estados e o Distrito Federal) e o restante seguiu para o mercado internacional. Entretanto, por questões de competitividade de preços e carga tributária divergente entre os mesmos, o etanol durante sua safra, só foi economicamente viável, em média, em quatro estados.

Em decorrência desse fator, cerca de 70% do mercado consumidor de etanol anidro e hidratado concentra-se em cinco estados brasileiros: São Paulo, Paraná, Minas Gerais, Rio de Janeiro e Goiás, sendo que o consumo paulista equivale a 45,1% do total. Esse mesmo estado é o principal produtor, com participação de 54,5% do total.

Normalmente, o etanol que abastece o mercado interno sai das usinas e segue para as bases de distribuição que são encarregadas de abastecer os postos de combustíveis. Nesta tese, como será explicado na metodologia, será utilizado esse esquema como forma de simplificação das rotas. Já o etanol que abastece o mercado externo segue das usinas diretamente para os portos de exportação.

Assim como no caso do açúcar, mas de uma forma até mais intensa, o escoamento de etanol é quase todo realizado pelo modal rodoviário através dos caminhões tanques, apesar de poder utilizar ferrovias e hidrovias. Do total de etanol exportado na safra 2010/2011, 73,6% foram embarcados no Porto de Santos e 18,2% no Porto de Paranaguá.

Conforme Setten (2010), o Porto de Santos possui terminais que são especializados em operações de recebimento, armazenagem e embarque de produtos derivados do petróleo, químicos e combustíveis como o etanol. A capacidade de armazenagem é de aproximadamente 242 milhões de litros e de embarque de 3,4 bilhões de litros.

A quantidade de etanol que chegou aos portos através do modal ferroviário não tem ultrapassado a marca de 0,2%. Esse valor é ínfimo frente à quantidade transportada nas rodovias brasileiras. Setten (2010) apontou que as principais causas para essa baixa utilização é o modelo de comercialização do produto, a especificação da qualidade, poucos terminais de recebimento e a necessidade de vagões dedicados apenas ao transporte de etanol.

No caso do porto de Paranaguá, que possui terminais especializados em receber e armazenar produtos semelhantes aos destacados para o porto de Santos, a capacidade de armazenamento é de 124 milhões de litros e de embarque de 1,1 bilhão de litros. Semelhante ao que ocorreu com o açúcar, esse porto se destaca na possibilidade de se utilizar outro modal de transporte além da rodovia. Em 2008 chegou ao porto, através de locomotivas e vagões, 42% do volume exportado (SETTEN, 2010).

Esses resultados apontam a existência de um significativo espaço para a expansão da utilização de modais alternativos ao rodoviário. No caso específico do etanol, a inserção dos dutos proporcionará a ligação de diversas bases de distribuição, possibilitando atender, principalmente, o mercado doméstico, de uma forma contínua e com a menor taxa de emissão dentre todos os modais de transporte.

Durante todo o seu ciclo de vida, o etanol tem a capacidade de reduzir suas emissões, quando comparado com a gasolina, em até 90%, sendo que boa parte dessas são originadas na fase de escoamento. Ao se priorizar a utilização de modais menos poluentes ocorreria uma potencialização ainda maior da capacidade de redução das emissões e a garantia de um produto ainda mais sustentável.

Os programas internacionais que estão cada vez mais atentos a essas questões ambientais e que já reconheceram o etanol como um produto que ameniza as causas do aquecimento global, poderiam ampliar o mercado demandante desse produto através de rotulagem de produto sustentável ou pagamento de prêmios pela sua utilização ou, ainda, utilizar metodologias de certificação.

As estimativas para o setor sucroenergético em 2020, realizadas pela União da indústria da cana-de-açúcar - UNICA (2011) são promissoras principalmente quando se verifica a demanda potencial dos produtos brasileiros. Do lado do açúcar, mantendo-se a mesma participação brasileira no mercado mundial estima-se um incremento nas exportações da ordem de 8,9 milhões de toneladas e de 2,4 milhões de toneladas no mercado doméstico.

No caso do etanol, segundo a UNICA (2011), a frota de veículos *flexfuel* estimada deve atingir a marca de 81% do total de veículos e externamente os programas para a utilização de etanol de cana-de-açúcar entrarão em processo expansivo, podendo chegar a marca de 13,2 bilhões de litros apenas nos Estados Unidos.

Dessa forma, estima-se que serão necessários a moagem de mais de 1 bilhão de toneladas de cana-de-açúcar e a construção de mais de 100 novas unidades industriais.

A possível expansão da capacidade produtiva e consumidora dos derivados da cana-de-açúcar necessitará expansão das vias de escoamento, principalmente, as intermodais – ferrovia, hidrovía e dutovia, não só por questões econômicas, mas também pelo lado ambiental. Uma maior quantidade de carga a ser exportada pela rodovia potencializará a dependência do país por esse modal e aumentará a participação do setor de transporte no total de emissões do país.

1.1 Objetivo

Dada a importância do setor de transporte nas emissões de gases de efeito estufa e a possibilidade da mudança de modalidade de transporte reduzir as emissões, o objetivo desta tese é estimar os benefícios da redução das emissões de gases de efeito estufa a partir da mudança da matriz de transporte nacional, implicando assim uma utilização mais eficiente, tanto em termos energéticos como em termos econômicos, dos modais de transporte no setor sucroenergético. Para tanto, é avaliada a hipótese que a reorganização dessa matriz através da utilização da intermodalidade possibilita ganhos ambientais gerados a partir da redução de gases de efeito estufa.

Especificamente, pretende-se,

- realizar uma avaliação do sistema atual de transporte, identificando os principais corredores rodoviários, ferroviários e hidroviários utilizados para o transporte dos produtos dos complexos sucroenergético e identificar as configurações que reduzam as emissões de gases de efeito estufa por tonelada transportada;
- desenvolver e otimizar um modelo matemático de programação linear que apresentará os resultados estimados em duas etapas: a minimização das emissões e o seu impacto no custo de transporte, e na outra, minimização do custo de transporte e o resultado nas emissões;

- estimar o impacto da expansão do setor projetada para 2020/2021 em termos econômico e ambiental, no caso das obras de expansão da infraestrutura previstas no setor de transporte pelo Governo Federal, inclusive as pertencentes ao Plano de Aceleração do Crescimento I e II, e as projetadas pela iniciativa privada não estarem disponíveis para utilização;
- traçar um paralelo com o objetivo anterior e verificar o ganho ambiental proporcionado em termos de redução das emissões através da consolidação e término dessas obras previstas relacionadas aos modais ferroviário, hidroviário e dutoviário.

Assim, pretende-se identificar as alternativas factíveis no setor de transporte para se atingir uma maior eficiência ambiental com a redução das emissões de gases de efeito estufa, sem se esquecer dos custos de transporte envolvidos.

1.2 Estrutura da tese

Além desta introdução, no capítulo dois apresenta-se uma revisão de literatura, com um panorama dos transportes no país bem como a relevância do setor nas emissões de gases de efeito estufa. No capítulo três, apresenta-se o referencial teórico sobre a teoria do Bem-Estar e Externalidade e, em seguida, o referencial analítico relacionado ao modelo de programação linear. No quarto capítulo, descrevem-se os resultados e a discussão; por fim, as considerações finais do trabalho são apresentadas no quinto capítulo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Panorama do transporte no Brasil

2.1.1 Rodovias

O transporte rodoviário através de vias pavimentadas no Brasil iniciou-se em 1926, com a construção da Rodovia Rio - São Paulo. Até o ano de 1940, era a única rodovia pavimentada do país. O governo Juscelino Kubitschek, com o lema 50 anos em 5, estimulou a indústria automobilística e a construção de estradas ao longo do território nacional, aumentando, dessa forma, a demanda por transporte rodoviário. A rodovia passou a ser sinônimo de modernidade (RODRIGUES, 2003).

O modal rodoviário possui baixo custo de implantação por km e menor prazo de maturação comparado com o modal ferroviário. Essas características explicam a rápida ampliação da infraestrutura rodoviária no país (RODRIGUES, 2003).

Essa expansão foi acompanhada pelo florescimento de uma notável indústria de transporte de passageiros e cargas, que se tornou a principal parcela do transporte intermodal no país. No ano de 1945 havia 47.000 km de rodovias estaduais e federais, sendo apenas 423 km pavimentados. Em 1957, eram 97.715 km com 7.063 pavimentados e em 1980 206.543 km com 81.308 pavimentados (CASTRO, 2001).

A partir da década de 1970, o transporte de cargas por esse modal tornou-se evidente e significativo, contrariando os postulados clássicos do transporte de carga e o equilíbrio por uma matriz de transporte mais racional. O transporte pelo modal rodoviário deveria se restringir a distâncias inferiores a 500 km, pois acima disso, o elevado consumo de combustível torna o modal antieconômico (RODRIGUES, 2003).

O setor sucroenergético escoia a maior parte da sua produção de açúcar e etanol por rodovias. No caso do açúcar, aproximadamente 70% da produção do Centro-Sul tem como destino os portos brasileiros, principalmente Santos e Paranaguá. O açúcar que é embarcado em Santos, um pouco mais de 70% do que é exportado pelo Brasil, chega basicamente pelo modal rodoviário (aproximadamente 80% do total).

Segundo Setten (2010), a expressiva utilização do modal rodoviário no transporte de carga ocorre por alguns motivos. Primeiramente, pela relação de preços entre o frete rodoviário e ferroviário. Normalmente, os preços do frete ferroviário são

determinados a partir do valor praticado pelo modal rodoviário. Essa prática acaba inibindo o uso do frete ferroviário. A diferença tecnicamente gira em torno de 30%, mas os fretes praticados no mercado ficam por volta de apenas 10%. Outro fator é a estrutura de formação do preço do frete rodoviário para *commodities* no país, principalmente o Centro-Sul. Em momentos de demanda por transporte reduzida, o custo total do modal rodoviário não é repassado no preço do frete, distorcendo ainda mais as tarifas entre os dois modais.

Normalmente, os fretes rodoviários são contratados no mercado *spot* sob a influência das condições de oferta e demanda vigentes no ato da contratação; já no caso da ferrovia, são realizados contratos com vigência normalmente de 1 ano com volumes e preços pré-estabelecidos.

No caso de Paranaguá, que recebe quase 17% do açúcar a ser exportado, o uso do modal rodoviário é menos intensivo quando comparado ao porto de Santos. Aproximadamente 25% da carga que chega nesse porto vem através das rodovias. Esse comportamento é observado pelo fato da malha ferroviária existente na região Sul do país ser dedicada para fins graneleiros desde antes do processo de privatização. Dessa forma, a estrutura para o escoamento de grãos já estava mais consolidada.

No caso do etanol, o escoamento da produção é quase que todo na sua totalidade realizado pelo modal rodoviário. De acordo com Milanezet al. (2010), a predominância das rodovias para o transporte desse produto se deve à competitividade em rotas curtas e baixo volume de carga. A localização das usinas, que em geral estão em regiões agrícolas afastadas das vias de transporte e muitas vezes não conseguem obter escala de produção, não favorece o investimento e a utilização de outras modalidades de transporte. Existem poucos terminais nos portos aptos a receber a carga de etanol vinda através da ferrovia. Em alguns poucos casos, observa-se a utilização da rodovia como meio de se transportar de carga até pontos de transbordo intermodais.

2.1.2 Ferrovias

Após a falência do modelo estatal de operação do sistema ferroviário nacional instituiu-se o Programa Nacional de Desestatização – PND, em 1990, através da Lei 8.031; em 1992, pelo Decreto n.º 473, incluiu-se a Rede Ferroviária Federal S.A. - RFFSA no programa. Como gestor desse processo atuou o Banco Nacional de

Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), que através do Decreto n.º 1.024/94 elaborou a forma para a concessão das malhas da RFFSA.

A Lei das Concessões (Lei n.º 8.987/95) estabeleceu os direitos e obrigações para as partes envolvidas no processo de concessão, definindo ainda, o princípio da manutenção do equilíbrio econômico e financeiro e os direitos dos usuários. A Tabela 1 apresenta o cronograma de concessão das ferrovias com a data do leilão e o início da operação.

A Companhia Vale do Rio Doce, no seu processo de privatização, obteve do Governo Federal o direito de exploração da Estrada de Ferro Vitória Minas e Estrada de Ferro Carajás. Através do Decreto n.º 2.502, em 1998, incorporou-se a FEPASA à RFFSA e com o leilão da Malha Paulista concluiu-se o processo de desestatização das malhas da RFFSA. Em dezembro de 1999 o Governo Federal dissolve, liquida e extingue a Rede Ferroviária Federal S.A. – RFFSA (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE - DNIT, 2010b).

Tabela 1 – Planejamento da desestatização das malhas da RFFSA

Malhas Regionais	Data do leilão	Concessionárias	Início da Operação	Extensão (km)
Oeste	05/03/1996	Ferrovias Novoeste S.A.	01/07/1996	1.621
Centro-Leste	14/06/1996	Ferrovias Centro-Atlântica S.A.	01/09/1996	7.080
Sudeste	20/09/1996	MRS Logística	01/12/1996	1.674
Tereza Cristina	22/11/1996	Ferrovias Tereza Cristina S.A.	01/02/1997	164
Nordeste	18/07/1997	Cia Ferroviária do Nordeste	01/02/1998	4.238
Sul	13/12/1998	Ferrovias Sul-Atlântico S.A. – atualmente ALL – América Latina Logística	01/03/1997	6.586
Paulista	10/11/1998	Ferrovias Bandeirantes S.A.	01/11/1999	4.236
Total				25.599

Fonte: ANTT (2010c).

Após o processo de desestatização das malhas da RFFSA e a liberação da concessão de ferrovias, ocorreu em 1998, a criação da Brasil Ferrovias, através de um consórcio entre a Ferrovia Novoeste, a Ferrovia Norte Brasil (Ferro Norte) e a Ferrovia Bandeirantes (Ferroban).

No ano de 2006, segundo Branco (2007), a concessionária férrea América Latina Logística observou uma expansão da sua malha e área de abrangência, após a compra da malha ferroviária pertencente à Brasil Ferrovias. Essa expansão permitiu ao grupo o acesso ao porto de Santos e ao Estado de São Paulo, tornando-a a principal alternativa férrea para o escoamento de grãos no país.

Em 2009 o país possuía 28.465 km de malha ferroviária para o transporte de carga, conforme ilustra a Tabela 2 que também apresenta as operadoras das ferrovias existentes no ano 2009, bem como sua origem o tipo de bitola e o total da malha em km. A Tabela 3 apresenta a importância dessas ferrovias para o setor sucroenergético descrevendo a participação do açúcar e do etanol no total transportado no ano 2009. A Figura 1 apresenta a malha ferroviária nacional, existente e projetada para os próximos anos.

Tabela 2 – Extensão da Malha Ferroviária no Brasil em km no ano 2009

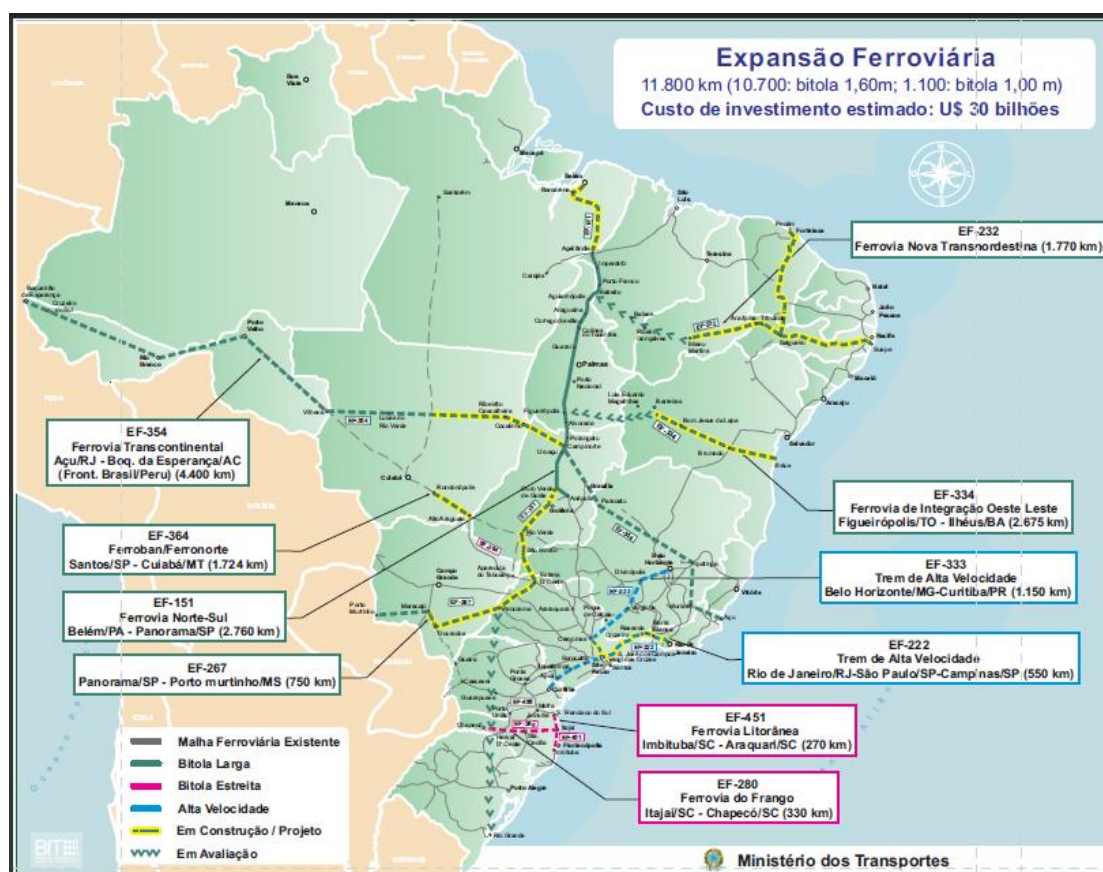
Operadoras	Origem	Bitola			Total
		Larga	Métrica	Mista	
ALL – América Latina Logística Malha Oeste S.A.	RFFSA		1.945		1.945
FCA – Ferrovia Centro-Atlântica S.A.	RFFSA		7.910	156	8.066
MRS – MRS Logística S.A.	RFFSA	1.632	-	42	1.674
FTC – Ferrovia Tereza Cristina S.A.	RFFSA	-	164	-	164
ALL – América Latina Logística Malha Sul S.A.	RFFSA	-	7.293	11	7.304
FERROESTE	-	-	248	-	248
EFVM – Estrada de Ferro Vitória a Minas	-	-	905	-	905
EFC – Estrada de Ferro Carajás	-	892	-	-	892
TRANSNORDESTINA LOGÍSTICA S.A.	RFFSA	-	4.189	18	4.207
ALL - América Latina Logística Malha Paulista S.A.	RFFSA	1.463	243	283	1.989
ALL - América Latina Logística Malha Norte S.A.	-	500	-	-	500
VALEC / Subconcessão: Ferrovia Norte-Sul S.A.	-	571	-	-	420
Total		5.058	22.897	510	28.465

Fonte: ANTT (2010c).

Tabela 3 – Total de açúcar e etanol transportado pelas ferrovias em 2010 em milhões TKU e a participação desses na ferrovia

Operadora	Açúcar	(%) Açúcar/Total	Etanol	(%) Etanol/Total
ALL – MS	2.279,33	13,04%	1.056,33	6,04%
ALL – MP	1.790,26	44,72%	132,88	3,32%
FCA	815,40	5,32%	139,96	0,91%
MRS	373,26	0,65%	-	-
ALL – MO	8,13	0,45%	84,17	4,72%
ALL – MN	-	-	77,60	0,53%
Transnordestina	-	-	3,79	0,52%
Total	5.266,38	1,89%	1.494,74	0,65%

Fonte: ANTT (2011).



Fonte: Ministério dos Transportes (2011).

Figura 1 – Malha ferroviária brasileira - projeto atual e trechos futuros

Em 2010 foram transportados 277,92 bilhões de TKU de mercadorias nas ferrovias nacionais descritas na Tabela 2. Desse total, segundo a Tabela 3, o etanol participou na movimentação de 0,54% e o açúcar em 1,89%. Esses valores demonstram que existe uma sub-utilização das ferrovias no escoamento da produção de açúcar e etanol quando comparados a produtos como derivados da soja (7,40%) e minério de ferro (73,52%).

Conforme a Tabela 3, as principais malhas utilizadas para o escoamento da produção de açúcar e etanol são a ALL (Malha Sul e Paulista), FCAe a MRS Logística.

O açúcar produzido no Brasil que, como já descrito anteriormente, tem como destino principal os portos, é uma carga que possui características para ser escoada pelo modal ferroviário, segundo Setten (2010). A *commodity* possui escala de produção, regularidade de fluxo e distância média compatível com o modal ferroviário.

A maior parte do açúcar exportado pelo país segue da forma a granel; no entanto, até poucos anos atrás o transporte ferroviário de açúcar ocorria apenas para a qualidade ensacada de 50 kg. Essa divergência, na compactação do produto a ser transportado, não contribuía para uma maior exploração do modal ferroviário.

Conforme Oliveira e Caixeta Filho (2007), o aumento do transporte ferroviário de açúcar ocorrerá a partir do aumento da capacidade de escoamento das concessionárias das vias férreas. Nos últimos anos vêm ocorrendo movimentos de parcerias entre os clientes, nesse caso as usinas e as companhias férreas. Os clientes financiam a compra ou reforma dos vagões e/ou locomotivas através de adiantamento de fretes, compra e alugam à ferrovia e, em contrapartida, têm garantia de escoamento da carga através de estabelecimento de contratos de longo prazo.

Seguindo essa tendência, a Rumo Logística, que pertence ao grupo Cosan, prevê investir R\$ 1,3 bilhão para transferir o escoamento do açúcar produzido no Centro-Sul com destino ao porto de Santos do modal rodoviário para o ferroviário. Esse projeto engloba investimento na natureza de parceria com as companhias ferroviárias, prevendo investimento também em material rodante (vagões e locomotivas), vias permanentes e armazéns de transbordo e no terminal portuário.

A intenção desse investimento é que até 2013, 11 milhões de toneladas de açúcar por ano deixem de ser transportados nas rodovias brasileiras, passando a matriz de transporte para 90% ferrovia e 10% rodovia. Essa transferência poderá tirar 30 mil caminhões/mês das rodovias e emitir 60% menos CO₂ na atmosfera. As duas

principais empresas férreas que estão participando desse projeto são a ALL e a MRS Logística.

A ferrovia América Latina Logística - Malha Sul S.A. é composta predominantemente por trilhos de bitola métrica - 7.293 km - dos 7.304 km totais de extensão. Os 11 km restantes são de bitola mista. Possui interligações com as ferrovias ALL – Malha Oeste, Ferroeste, AFE – Administracion de Ferrocarriles Del Estado – Uruguai e Ferrocamil Mesopotâmico General Orquiza– Argentina, bem como portos marítimos e fluviais de Presidente Epitácio (SP), Paranaguá (PR), São Francisco do Sul (SC), Porto Alegre (RS), Rio Grande (RS) e Estrela (RS) (ANTT, 2010b).

Conforme a Tabela 3 foi a principal malha em 2010 com o escoamento de 2.279,33 milhões de TKU de açúcar e 1.056,33 milhões de TKU de etanol. Uma justificativa para esse desempenho no caso do açúcar é o fato de cortar o Porto de Paranaguá, que recebe mais de 70% do açúcar exportação e 40% do etanol através do modal ferroviário.

As condições dos vagões para o transporte de açúcar são favoráveis nesse trecho da ALL, pois quando a malha foi privatizada essa já possuía potencial para escoamento de cargas a granel. Assim, o potencial a ser explorado pelo modal ferroviário com destino ao Porto de Santos é relevante e significativo, ainda mais quando se considera que o perfil ferroviário do açúcar modificou-se para o modo granel da *commodity* ao invés do saco de 50kg que era vigente até poucos anos atrás.

O transporte de etanol por linhas férreas é menos representativo quando comparado ao açúcar, mas sua utilização vem aumentando gradativamente, pois os terminais que operam na linha da concessionária propiciam uma infraestrutura mais adequada que a encontrada para o porto de Santos. A revitalização do terminal de descarregamento da Tequimar e da BR Distribuidora em Paulínia e o investimento dos terminais de carregamento nas próprias usinas propiciam um novo impulso para a expansão da utilização das linhas férreas rumo a Paranaguá. (MILANEZ et al., 2010).

A América Latina Logística – Malha Paulista (antiga Ferroban) teve sua malha original reduzida em 2.197 km, pois houve cisões com outras concessionárias. Desse total, 878 km foram para a ALL – Malha Sul, 999 km para a Ferrovia Centro Atlântica e 320 km para a ALL – Malha Oeste. Conforme a Tabela 2, sua malha possui 1.989 km de extensão com 243 km de bitola métrica, 1.463 km de bitola larga (1,60m) e 283 km de bitola mista. Possui como área de atuação direta os estados de São Paulo e Minas Gerais e interconexão com as concessionárias FCA, MRS, ALL - Malha Norte e

ALL - Malha Oeste. Com relação aos pontos de transbordo ferro-hidroviário, destacam-se o porto de Santos (SP), além dos terminais fluviais localizados nos municípios paulistas de Pederneiras, Panorama e Presidente Epitácio (ANTT, 2010a).

Para o setor sucroenergético a ALL-MP escoou em 2010, conforme a Tabela 3, 1.790,26 milhões de TKU de açúcar e 132,88 milhões de TKU de etanol, representando 44,72% e 3,32% do total escoado pela ferrovia, respectivamente. Segundo Milanez et al. (2010) a evolução dos fluxos de etanol na Malha Paulista ocorreu em função da revitalização do terminal de descarregamento da Tecminas e da BR Distribuidora em Paulínia, além dos investimentos em terminais de carregamento nas usinas e nas bases de distribuição por onde passa a via férrea.

A Ferrovia Centro-Atlântica (FCA) tem como principal eixo de conexão as regiões Centro-Oeste, Nordeste e Sudeste, revelando-se como um importante elo de integração entre o mercado nacional e internacional. Esta malha, conforme a Tabela 2, possui 8.066 km, dos quais 7.897 km são constituídos por bitola métrica e 169 km por bitola mista (1,00 e 1,60 m). Sua malha abrange os estados de Minas Gerais, Goiás, Distrito Federal, Bahia, Sergipe, Espírito Santo, Rio de Janeiro e São Paulo.

Além de possuir área de influência em vários estados, a FCA realiza interconexões com as ferrovias pertencentes às concessionárias Estrada de Ferro Vitória Minas S.A. (EFVM), MRS Logística S.A. (MRS), Companhia Ferroviária do Nordeste (CFN) e ALL – Malha Paulista, antiga Ferrobán(ANTT, 2010d).

Proporciona a intermodalidade com a hidrovía, pois possui pontos de interconexão com os portos de Vitória (Terminal de Vila Velha/ES), Santos (SP), Angraporto (Angra dos Reis/RJ), Terminal de Aratu (BA) e Porto de Salvador (BA), além dos portos secos de Anápolis (GO) e Uberlândia (MG) (SOUSA; PRATES, 1997).

Em 2010, segundo a Tabela 3, a ferrovia escoou 815,40 milhões de TKU de açúcar e 139,96 milhões de TKU de etanol. O terminal de carregamento de uma usina localizada em Serrana (SP) e as bases de distribuição localizadas em Ribeirão Preto e Uberaba que têm como destino Paulínia e Betim são algumas das razões da importância dessa ferrovia para a movimentação do etanol, segundo Milanez et al. (2010).

A MRS Logística S.A. possui 1.674 km de extensão sendo que 1.642 km da malha em bitola larga e 42 km em bitola mista, conforme os dados da Tabela 2. Sua área de atuação engloba os estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo e possui conexão com as malhas ferroviárias da FCA, Estrada de Ferro Vitória Minas,

ALL - Malha Paulista S.A. e Supervia. Possui conexão com o modal hidroviário através dos portos do Rio de Janeiro (RJ), Sepetiba (RJ) e Santos (SP) (ANTT, 2010e).

Em 2010 escoou 373,26 milhões de TKU de açúcar e não apresentou movimentação para o etanol. Entretanto, essa via férrea possui potencial de exploração para o setor sucroenergético apesar da baixa participação atual, pois apresenta pontos de ligação com malhas importantes além da ligação com o Porto de Santos, que é o principal porto de escoamento dos produtos derivados do setor sucroenergético em questão.

Os terminais que captam cargas de etanol para descarregar no Porto de Santos entraram em operação a partir de 2008 e por isso a sua representatividade é ainda pequena, frente ao volume potencial a ser transportado.

A Tabela 4 apresenta os municípios que possuem terminais de carregamento e transbordo ferroviários interligados nas principais linhas férreas para o setor sucroenergético nos Estados de São Paulo, Paraná, Minas Gerais e Mato Grosso e que têm como destino os Portos de Santos e Paranaguá.

Tabela 4 – Municípios com pontos de carregamento e transbordo ferroviário para transferência de cargas com destino a exportação

Local - Carregamento/Transbordo	UF	Intermodalidade	Concessionária Ferroviária	Porto destino
Santa Juliana	MG	Usina	FCA	Santos
Alto Taquari	MT	Rodoviário	ALL	Santos
Jacarezinho	PR	Usina	ALL	Santos/Paranaguá
Maringá	PR	Rodoviário	ALL	Paranaguá
Londrina	PR	Rodoviário	ALL	Paranaguá
Serrana	SP	Usina	FCA	Santos
Ribeirão Preto	SP	Rodoviário	FCA	Santos
Ituverava	SP	Rodoviário	FCA	Santos
São Joaquim da Barra	SP	Rodoviário	FCA	Santos
Aguai	SP	Rodoviário	FCA	Santos
São José do Rio Preto	SP	Rodoviário	ALL	Santos
Fernandópolis	SP	Rodoviário	ALL	Santos
Santa Adélia	SP	Rodoviário	ALL	Santos
Pradópolis	SP	Usina	ALL	Santos
Araraquara	SP	Rodoviário	ALL/MRS	Santos
Araçatuba	SP	Rodoviário	ALL	Santos
Ourinhos	SP	Rodoviário	ALL	Santos/Paranaguá
Sumaré	SP	Rodoviário	ALL	Santos
Pederneiras	SP	Hidroviário	MRS	Santos
Jaú	SP	Rodoviário	MRS	Santos
Andradina	SP	Rodoviário	ALL	Santos

Fonte: Elaborado pela autora com base em Setten (2010).

As demais ferrovias que compõem a malha nacional apresentam potencial de crescimento em sua utilização. As ferrovias que se concentram nas regiões Norte e Nordeste do país (Estrada de Ferro Carajás e Transnordestina Logística) não apresentaram movimentação em 2010, apesar do potencial de demanda que pode ser observado. Além do consumo interno de etanol, existe a possibilidade de se escoar a produção pelos portos localizados nessa região que imprime um retrato bastante promissor para aquela economia regional.

O término da construção da Ferrovia Norte-Sul (FNS) poderá trazer impactos positivos no ganho de competitividade dos derivados do setor produzidos no Centro-Oeste do país (zona de expansão) chegando aos estados do Maranhão, Piauí, Tocantins e Pará. O efeito em cadeia pode ser ainda maior quando se considera a integração com as ferrovias Oeste-Leste e a Nova Transnordestina.

O projeto inicial da Ferrovia Norte-Sul foi lançado em 1986 e contemplava um traçado com extensão de 1.550 km, entre Açailândia (MA) e Anápolis (GO) passando pelo estado do Tocantins. Posteriormente, foi incorporado ao projeto o trecho Açailândia (MA) a Belém (PA) e Anápolis (GO) a Panorama (SP). Quando concluída a FNS terá 3.100 km de extensão. O grande objetivo dessa ferrovia é promover a integração nacional interligando as regiões Norte e Nordeste ao Sul e Sudeste do país através da conexão com 5.000 km de malha (VALEC, 2010a).

A FNS será parte integrante do sistema ferroviário brasileiro, conectando-se ao norte com a Estrada de Ferro Carajás (EFC), que permite o acesso ao porto de Itaqui (MA) e ao sul com a Ferrovia Centro-Atlântica (FCA). A FCA será responsável por conectar a FNS aos principais portos brasileiros como Santos, Vitória e Rio de Janeiro, assim como às regiões industriais de São Paulo e Minas Gerais.

A Ferrovia Oeste-Leste é um projeto que visa intensificar o uso do modal ferroviário no país. Seu traçado ligará as cidades de Ilhéus, Caetité e Barreiras no estado da Bahia a Figueirópolis no estado do Tocantins otimizando a operação do porto de Ponta da Tulha e a embarcação por portos do norte do país através da conexão com a Ferrovia Norte-Sul e Estrada de Ferro Carajás. É uma das prioridades do Plano de Aceleração do Crescimento (PAC) e terá 2.675 km de extensão com investimentos previstos de 6 bilhões até 2012 (VALEC, 2010b).

O projeto da Ferrovia Transcontinental (EF-354) prevê a ligação do litoral norte do estado do Rio de Janeiro até Boqueirão da Esperança no Acre com percurso total de 4.400 km. O trajeto passará pelos municípios de Muriaé, Ipatinga e

Paracatu em Minas Gerais, Brasília no Distrito Federal, Uruaçu em Goiás, Cocalinho, Riberião Castanheira e Lucas do Rio Verde no Mato Grosso, Vilhena e Porto Velho em Rondônia e Rio Branco e Cruzeiro do Sul no Acre.

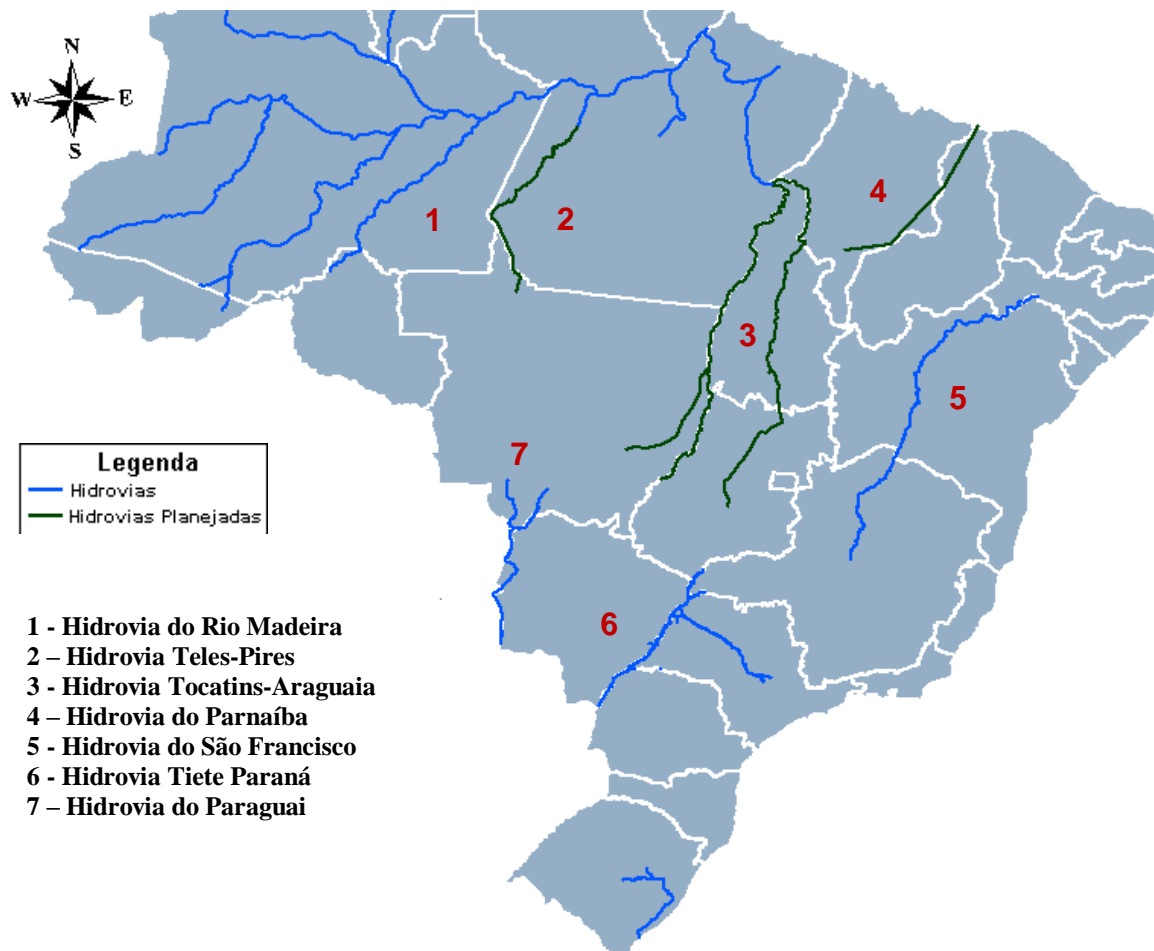
2.1.3 Hidrovias

O Brasil é dotado de uma vasta e densa rede hidrográfica, totalizando 55.457 km de extensão. No entanto, apenas 8.500 km de hidrovia estão sendo realmente utilizados no país, que apresenta rios de grande extensão, largura e profundidade, sendo que alguns têm alto potencial de navegabilidade, segundo Dnit (2010b). A Figura 2 apresenta a malha hidroviária brasileira navegável, existente e projetada.

Apesar do potencial hidroviário apresentado pelo país, a utilização desse modal de transporte para o escoamento de carga é subutilizado. Para o caso específico do etanol e do açúcar, encontra-se movimentação de carga apenas no Rio Madeira e na hidrovia Tietê-Paraná.

O Rio Madeira possui 1.056 km de águas navegáveis entre Porto Velho (RO) e sua foz no rio Amazonas. A hidrovia é administrada pela empresa Hermasa, pertencente ao Grupo Maggi e é utilizada para escoar a produção do Mato Grosso e Rondônia. Entre o trecho Porto Velho e Manaus é possível escoar açúcar, que segue para o mercado externo e o etanol que abastece o consumo do Amazonas, Acre e Roraima.

Segundo a ANTAQ (2011b), a hidrovia possui uma conexão vantajosa com a região Centro-Oeste e o mercado europeu, sendo possível reduzir em 3,3 mil quilômetros o trajeto entre Sorriso/MT e Rotterdam na Holanda quando se escoar por Santarém através do rio Madeira e não pelo porto de Santos. Essa redução propicia uma queda no valor do frete gasto, além de possibilitar menores emissões de gases de efeito estufa.



Fonte: elaborada pela autora a partir do Transcad.

Figura 2 – Malha hidroviária brasileira navegável, existente e planejada

A hidrovia Tietê-Paraná possui 2.400 km de vias navegáveis, dos quais mais de 800 km são navegáveis dentro do estado de São Paulo, passando por cidades como Piracicaba e Conchas. A navegabilidade continua até Goiás, Minas Gerais (ao Norte), Mato Grosso do Sul, Paraná e Paraguai (ao Sul), conforme documentado por São Paulo (2010). É composta pelo rio Tietê, que apresenta navegabilidade da sua foz até a foz do rio Piracicaba, seu afluente e pelo rio Paraná que possui navegabilidade desde São Simão (GO) na hidrelétrica de Jupia até a hidrelétrica de Itaipu (OLIVEIRA, 1996).

Quanto às responsabilidades administrativas, no rio Tietê, o sistema hidroviário é administrado pelo Departamento Hidroviário da Secretaria dos

Transportes do estado de São Paulo e no Rio Paraná, pela Administração da Hidrovia do Paraná (AHRANA), vinculada ao Ministério dos Transportes.

A hidrovia Tietê-Paraná consolida um sistema de transporte multimodal, pois está articulada às malhas ferroviárias e rodoviárias, abrangendo os estados de São Paulo, Paraná, Mato Grosso do Sul, Goiás e Minas Gerais. É considerada a mais desenvolvida do país em função dos investimentos em infraestrutura e tecnologia, segundo a ANTAQ (2011a). Integra as principais regiões produtoras de açúcar e etanol no alto Tietê, a partir de onde a carga tem acesso através de rodovia, ferrovias e dutovias aos portos e centros consumidores.

Apesar disso, o etanol produzido na região Centro-Sul não é escoado pela hidrovia, pois não existe uma infraestrutura compatível com terminais de carregamento dessa *commodity* ao longo do curso do rio.

Iniciativas privadas e de órgãos governamentais estão sendo implementadas para incentivar o transporte de etanol por essa hidrovia. Uma delas é a do sistema logístico Logum, que pretende integrar a hidrovia Tietê-Paraná ao sistema dutoviário da Petrobras e que investirá cerca de R\$ 415 milhões para a construção de barcaças e empurradores para transportar etanol. Até 2015 serão construídos 20 comboios com 80 barcaças e 20 empurradores em 4 centros coletores no Estado de São Paulo (Presidente Epitácio, Aparecida do Taboado, Araçatuba e Anhembi) que poderão captar 4 milhões de metros cúbicos de etanol por ano.

Essa obra tem apoio do Plano de Aceleração do crescimento e aumentará a possibilidade de se transportar etanol utilizando a intermodalidade, além de proporcionar menores custos logísticos e maior competitividade nas exportações.

O açúcar apresenta um escoamento modesto, dado o seu potencial. Existem três terminais que ligam a hidrovia e a rodovia localizados em Anhembi (SP), Pederneiras (SP) e Santa Maria da Serra (SP) e um terminal da ALL que descarrega para a ferrovia localizado em Pederneiras (SP), que tem como destino o porto de Santos. Além disso, até 2008 o açúcar poderia ser embarcado na hidrovia apenas em três terminais localizados em São Simão (GO), Araçatuba(SP) e SudMenucci (SP). Em Anhembi, a carga segue pelo modal rodoviário até o Porto de Santos (SETTEN, 2010).

Em 2010 foram escoados pouco mais de 85 mil toneladas de açúcar, segundo a ANTT (2011). Esse valor é insignificante perto das 20 milhões de toneladas que tiveram como destino o porto de Santos.

De acordo com Setten (2010), a baixa utilização do transporte hidroviário nas exportações de açúcar pode ser explicada pelo reduzido número de conexões intermodais, necessidade de maior quantidade de operações de transbordo de carga quando comparado à ferrovia e à rodovia, reduzido número de operadores hidroviários.

A solução desses problemas passa pela expansão dos terminais de transbordo, como por exemplo em Conchas (SP), que tem ligação com a linha férrea e que poderá gerar ganhos de competitividade na hidrovia, que observaria uma maior utilização.

2.1.4 Dutovias

O transporte dutoviário restringe-se a produtos que podem ser liquidificados ou gaseificados. Possui capacidade energética eficiente, pois ao contrário dos outros modais é a carga que se move, o duto fica estático. Entretanto, exige investimentos elevados em infraestrutura, instalação e manutenção, pois pode gerar graves danos ambientais (RIBEIRO et al., 2000).

O transporte dutoviário, segundo ANTT (2004), pode ser dividido em oleodutos que compreendem o transporte de petróleo, óleo combustível, gasolina, diesel, etanol, GLP, querosene e nafta etc.; minerodutos que correspondem ao sal-gema, minério de ferro e concentrado fosfático e os gasodutos que transportam o gás natural.

Atualmente no país apenas a Transpetro opera o sistema de dutos e o etanol necessita dividir o espaço no transporte com outros tipos de óleos. Isso dificulta a utilização dos dutos para o escoamento do produto derivado da cana-de-açúcar.

O ganho de mercado para o transporte de etanol através de dutos se daria com a instalação de uma rede de alcooldutos dedicados. Em 2010, cerca de 5% da produção nacional (1,6 bilhão de litros) foram movimentados através dos dutos.

Seguindo essa linha de instalação de dutos dedicados ao etanol, em 2008 foi criada a empresa Uniduto por um grupo de 80 usinas ligadas a 10 grandes grupos produtores de etanol, dentre eles Cosan e Copersucar, visando melhorar a infraestrutura logística do combustível produzido no país. Com investimentos por volta de 2,9 bilhões de reais, a empresa prevê iniciar suas atividades em 2013, transportando até 16,6 bilhões de litros de etanol por ano.

A Figura 3 apresenta o traçado preliminar do projeto que possui 600 km de extensão e passará dentro de 46 municípios no Estado de São Paulo, envolvendo

quatro terminais coletores nas cidades de Serrana, Botucatu, Anhembi e Santa Bárbara d'Oeste. Além disso, dois terminais de distribuição para o mercado interno em Paulínia e Caieiras no Estado de São Paulo e um terminal de exportação na Baixada Santista, onde operará um porto *offshore* (UNIDUTO, 2010).

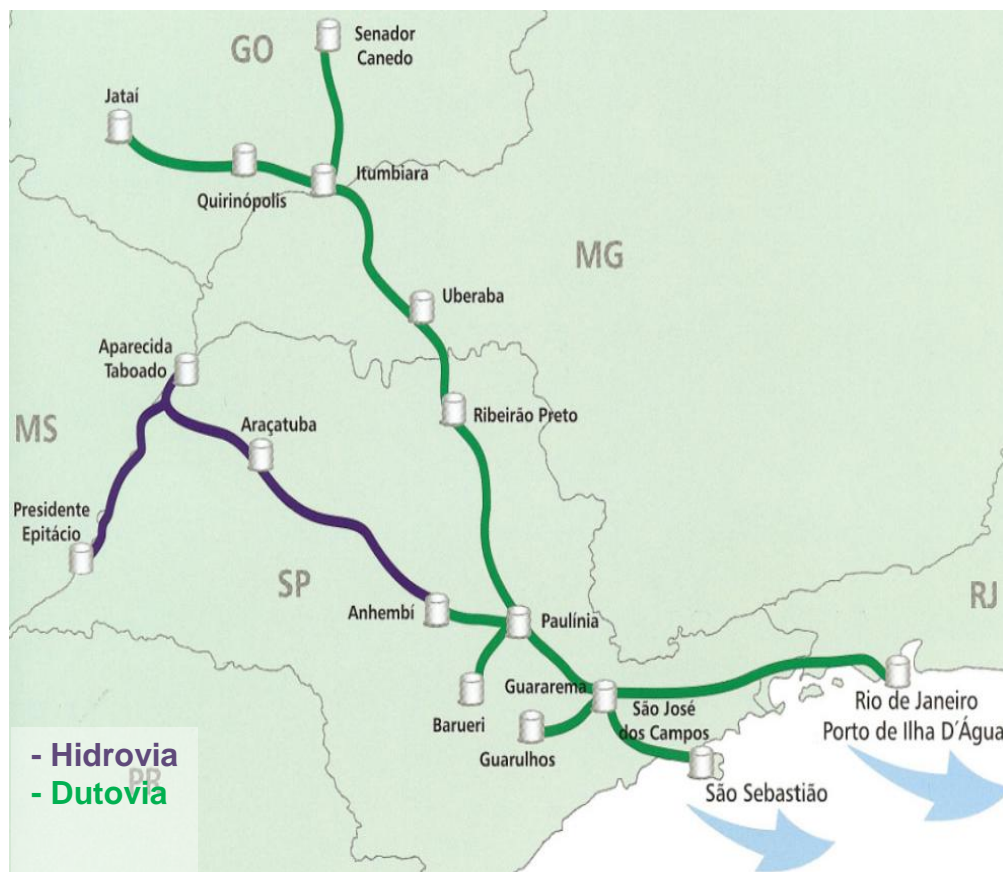


Fonte: Uniduto (2010).

Figura 3 – Trajeto de dutos no Estado de São Paulo previsto pelo consórcio Uniduto

Outro projeto dutoviário é o previsto pela Transpetro e está estimado em US\$ 2 bilhões. É resultante do consórcio entre a Petrobras Biocombustíveis, a japonesa Mitsui e a construtora Camargo Corrêa. O traçado do projeto prevê a ligação de Senador Canedo (GO) com o terminal de Ilha D'Água (RJ) e ao porto de São Sebastião (SP). Além disso, está previsto um ramal secundário que fará a conexão, como explicitado anteriormente, com a hidrovía Tietê-Paraná, conectando os quatro ramais com o município de Paulínia

A Figura 4 apresenta o referido traçado e estima-se que o projeto completo fique pronto em janeiro de 2016. Serão 11 centros coletores de etanol (4 na hidrovía e os demais na dutovía) com 1.300 km de dutos. A tancagem total será de 772 milhões de litros por dia com capacidade de movimentação total de escoamento em 2020 de 20,8 bilhões de litros.



Fonte: Transpetro (2010)

Figura 4 - Trajeto dos dutos e da hidrovia previstos no projeto proposto pela Transpetro na Região Centro-Sul do país

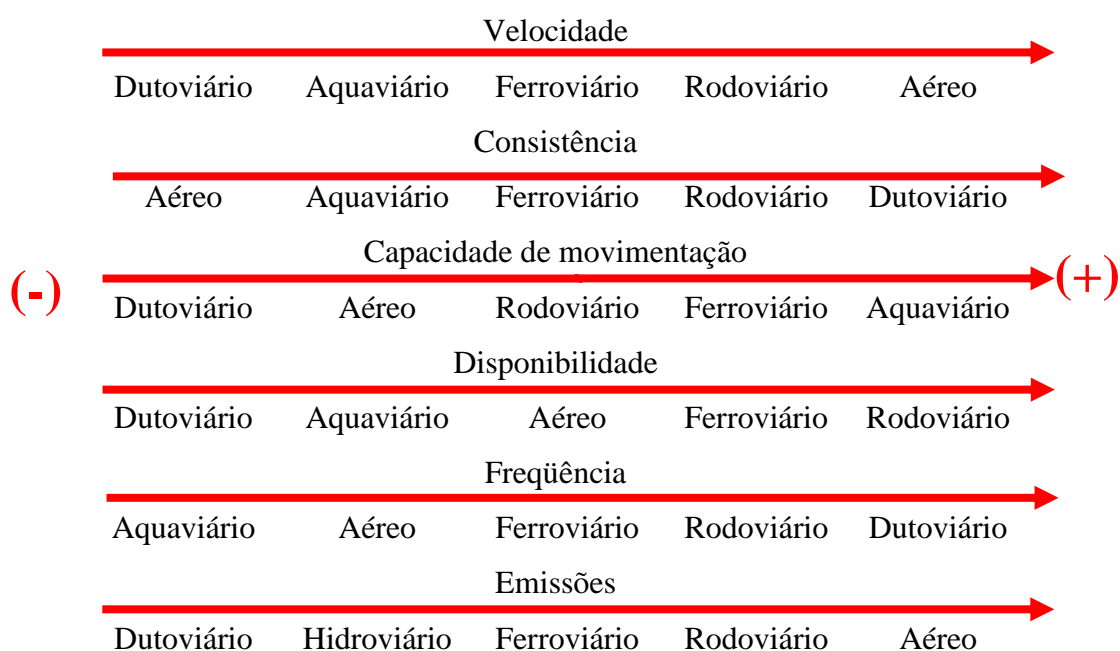
2.2A matriz de transporte brasileira e a intermodalidade

A escolha do modal de transporte depende de uma série de fatores como custo de operação, tempo de trânsito entre os pares origem-destino de interesse para os clientes, frequência do serviço, serviços logísticos oferecidos que são adicionais ao transporte, confiabilidade, capacidade, acessibilidade e flexibilidade de integração intermodal, segurança, perdas e danos, tradição do operador logístico, relacionamento de longo prazo entre embarcador e operador logístico, localização geográfica da produção ou mercado de consumo da carga e necessidades específicas das cargas, como refrigeração (MONTEIRO; MARTINS; RODRIGUES, 2001).

Cada modal de transporte apresenta suas vantagens e possuem especificidades que favorecem o seu uso. Dessa forma, a união dos modais pode proporcionar ganhos logísticos. Segundo Nazario (2009), a utilização de mais de um

modal significa agregarmos vantagens de cada meio de transporte que podem ser caracterizados tanto pelo modo do serviço como pelo custo. A Figura 5 apresenta um esquema considerando cada modal e as características velocidade, consistência, capacidade de movimentação, disponibilidade, frequência e emissões.

O transporte rodoviário é o que apresenta vantagens na questão da velocidade, pois as cargas conseguem chegar ao seu destino com reduzido espaço de tempo, além de apresentar elevado índice de consistência, disponibilidade e frequência no serviço de deslocamento, quando comparado aos demais modos de transporte. Entretanto, por não possuir elevada capacidade de transporte, apresenta limitação no volume de carga, e combinado ao fato de ser um grande emissor de gases de efeito estufa, gera uma desvantagem competitiva em relação aos outros modais, como hidrovias e ferrovias, que poluem menos, mas levam mais carga por viagem.



Fonte: adaptado pela autora a partir de Nazario (2009), Oliva (2010) e Transpetro (2011).

Figura 5- Comparação das características de serviço entre modalidades de transporte

A rodovia oferece um serviço do tipo porta-a-porta que não é oferecido pelos outros modais de transporte que dependem de instalações físicas como trilhos, rios e dutos. Desse modo, o serviço proporcionado pelos outros modais é do tipo terminal a terminal. Entretanto, a ferrovia, hidrovias e dutovias oferecem serviços com fretes mais baixos que o rodoviário e podem ser mais competitivos no serviço terminal a terminal

ou na utilização da intermodalidade no serviço porta-a-porta (MONTEIRO; MARTINS; RODRIGUES, 2001).

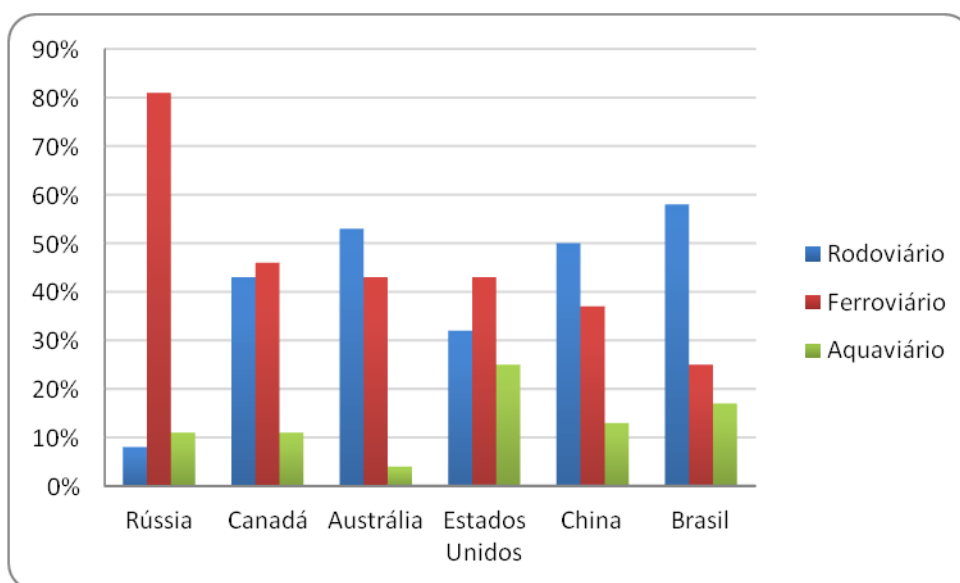
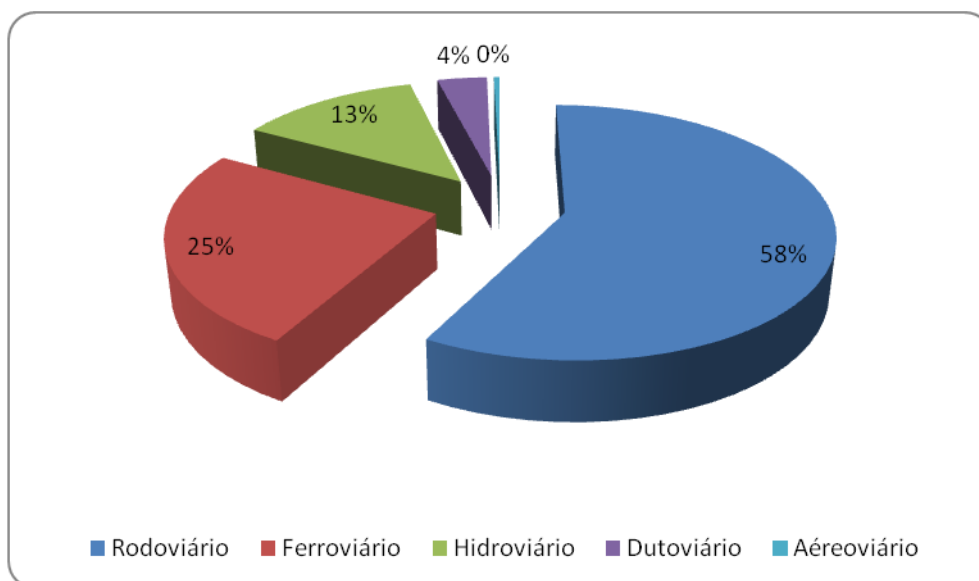
O transporte ferroviário é caracterizado por altos custos fixos, mas com baixos custos variáveis e, quando operado eficientemente pode gerar custos unitários reduzidos nas movimentações que envolvem grandes quantidades de cargas. O transporte fluvial se caracteriza pela movimentação de cargas volumosas de baixo valor agregado, com velocidade reduzida, indicado para grandes distâncias e com baixo consumo de combustível. Por exemplo, um conjunto de barcaças consome metade do combustível consumido por um comboio de ferrovias em condições semelhantes de carga e distância (CAIXETA FILHO, 2001a).

A Associação Brasileira de Logística – Aslog (1997)¹apudCaixeta Filho (2001b) descreveu que o transporte rodoviário seria recomendável para distâncias inferiores a 500 km, o modal ferroviário para distâncias entre 500 e 1.200 km e o hidroviário para distâncias superiores a 1.200 km. Dessa forma, fica evidente a eficiência do transporte ferroviário e hidroviário para longas distâncias, o que não é necessariamente o caso observado para o transporte de grãos no Brasil.

Tomando apenas a distância como característica e fazendo uma comparação com os países que possuem extensões geográficas semelhantes à do Brasil, verifica-se uma divisão modal discrepante. Segundo Castro (1995), nos EUA, por exemplo, mais de 70% das manufaturas, exceto petróleo e carvão, são transportados via rodovia para distâncias inferiores a 100 km e 27% desse mercado por ferrovia. Entretanto, em distâncias superiores a 700 km mais de 60% são escoados por ferrovias chegando a 80% quando a distância ultrapassa os 2.500 km. A Figura 6 apresenta a divisão brasileira para o ano 2005 por modal e um comparativo do caso brasileiro com o de outros países.

O Brasil, em 2005, escoou sua produção em 58% dos casos pelo modal rodoviário, seguido pelo ferroviário com 25% dos casos e pelo hidroviário com 13%. Comparativamente aos outros países, verifica-se que o Brasil é o que mais utiliza as rodovias, seguido pela China. Ambos possuem a característica de serem países em desenvolvimento. O Canadá e os Estados Unidos, que são países desenvolvidos e possuem extensões de terras semelhantes, utilizam a ferrovia como principal meio de transporte.

¹ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE LOGÍSTICA (Aslog). **Logística'97**. Conferência Anual, 1997.



Fonte: adaptado do Plano Nacional de Logística e Transporte(PNLT), 2011.

Figura 6 – Divisão por modal do transporte do volume de carga transportada no Brasil em 2005 e comparativo da realidade nacional com os outros países no mesmo ano, respectivamente

A predominância do modal rodoviário no transporte de cargas gera problemas estruturais que comprometem não apenas a saúde financeira e sua eficácia

operacional, mas também o desenvolvimento social e econômico do país (CRUZ, 2007).

Além disso, a malha rodoviária nacional é de baixa qualidade, pois apenas 13% das rodovias são pavimentadas (Tabela 5). Desse total, 29% das rodovias são federais, 50,3% estaduais e 12,6% municipais.

Tabela 5 – Malha Rodoviária do país no ano 2008

	Rodovias Pavimentadas	Rodovias Não Pavimentadas	Total
Federal	61.304	13.636	74.940
Estadual Coincidente	17.056	6.365	23.421
Estadual	106.548	113.451	219.909
Municipal	26.770	1.288.941	1.315.711
Total	211.678	1.422.393	1.634.071

Fonte: Departamento Nacional de Infraestrutura Terrestre/DNIT (2011).

Os gargalos apresentados pelo setor ferroviário impedem o seu desenvolvimento e são de natureza distinta quando comparado ao modal rodoviário. O Brasil, mesmo após o processo de privatização, apresenta pequena malha ferroviária com baixo estado de conservação, elevado custo de capital, concorrência predatória do modal rodoviário e falta de regularidade de investimento (Cel-Coppead/UFRJ, 2002).

A reduzida velocidade no transporte, quando comparada ao modal rodoviário, aliada à baixa confiabilidade quanto ao tempo total de viagem, são características marcantes do transporte férreo, de acordo com Goebel (2009). Uma pesquisa realizada pelo AAR – Association of American Railroads, divulgada pela CNT (2009), apontou que a velocidade média operacional de linha férrea no Brasil é de 25 km/h enquanto que nos Estados Unidos é de 80 km/h.

Conforme a CNT (2005)²apudCruz (2007), o transporte ferroviário de cargas enfrenta o problema da regionalização das concessionárias da malha. As atuais regras do tráfego mútuo, do direito de passagem, metas de produção estabelecidas e os acidentes não proporcionam o aumento e a utilização eficiente do modal.

O frete ferroviário não é calculado em função do seu custo e sim a partir do valor do frete rodoviário. As concessionárias verificam o valor do frete rodoviário para determinada rota, aplicam uma porcentagem de desconto e calculam a tarifa a ser

² CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES – CNT. Pesquisa Rodoviária – Boletim Estatístico. Brasília, 2005.

cobrada na ferrovia. O valor do frete ainda depende do tipo de carga a ser transportada, das políticas tarifárias da concessionária em questão e da disponibilidade de vagões. (ANGELO, 2005).

O modal hidroviário tem como característica a movimentação de cargas volumosas com baixo valor agregado e baixa velocidade. Entretanto, é subutilizado em sua capacidade e, conforme Caixeta Filho (2001b), tem como uma das causas o fato dos principais rios navegáveis não desembocarem no oceano. Os rios brasileiros, com exceção da hidrovia do Madeira e Tietê-Paraná, não estabelecem ligações entre centros econômicos importantes; assim, torna-se quase que obrigatória a utilização de transbordo e outros modais de transporte para que o produto chegue ao destino final. A necessidade dessas operações acaba gerando custos e perdas que desestimulam os transportadores de carga a utilizarem a hidrovia. Dessa forma, por questão até de comodidade, optam pelo modal rodoviário que realiza o serviço porta-a-porta, ao invés de utilizarem as operações de transbordo necessárias.

O transporte hidroviário, de acordo com Bussinger (2010), pode minimizar os problemas logísticos enfrentados pelo Brasil. O país possui 8.600 km de rios navegáveis que precisam de investimentos. O objetivo é aumentar o transporte fluvial em doze vezes e a cabotagem em seis vezes. Especificamente, para o caso da cabotagem, poderia ser feita uma ligação entre o Porto de Santos e um porto no Rio Tietê para o embarque e desembarque de mercadorias.

A Tabela 6 apresenta um comparativo entre os modais rodoviários e hidroviários para o trecho São Paulo/Belém. Como pode ser verificado, um navio equivale a 684 carretas e consegue carregar 17.100 toneladas em contraste com a carreta que só carrega 25 toneladas. Apesar do modal rodoviário utilizar 1.467 litros de combustível para fazer o percurso de 2.933 km e a hidrovia utilizar 264.000 litros para fazer o mesmo percurso, quando se considera a necessidade de 684 caminhões para transportar a mesma quantidade que a hidrovia, o consumo de combustível da rodovia sobe para 1.003.086 litros. Esse resultado demonstra a eficiência energética da hidrovia com 15 l/t frente a 59 l/t da rodovia.

Tabela 6 – Comparativo da eficiência da hidrovia (cabotagem) e a rodovia para o trecho São Paulo/Belém (2.933 km) – Navio 950 TEUs e Carreta 25 t

	Rodoviário	Hidroviário
Consumo combustível (l)	1.467	264.000
Capacidade de Transporte (t)	25	17.100
Equivalente em Carretas	1	684
Consumo Total (l)	1.003.086	264.000
Eficiência Energética (l/t)	59	15

Fonte: Thomas (2005).

O transporte intermodal tem como vantagem a melhor utilização da capacidade e tecnologia da informação disponível na matriz de transporte, ganhos de escala e negociações nos modais, melhor utilização da infraestrutura disponível com redução de custos indiretos (CRUZ, 2007).

Os modais ferroviário, aéreo e hidroviário realizam a movimentação de carga no sistema terminal a terminal. Para que a carga chegue ao seu destino final é necessária a utilização das rodovias que permitem a entrega porta-a-porta. Assim, a combinação dos modais (intermodalidade)³ permite uma maior eficiência logística no transporte de cargas quando comparado ao transporte unimodal(OLIVEIRA, 1996).

A combinação de dois ou mais modais de transporte permite a redução de custos, pois os custos dos transportes ferroviários e hidroviários são inferiores comparados ao rodoviário. Dessa forma, ocorre um incentivo à substituição do transporte rodoviário de longa distância por modais alternativos que aumentam a competitividade da carga a ser escoada (OJIMA, 2004).

A intermodalidade permite a redução dos custos de transporte, pois permite que sejam aproveitados conjuntamente os atributos de cada modal. A utilização da combinação rodoviário e ferroviário propicia que se mantenham as economias geradas pela utilização dos trilhos e ao mesmo tempo a flexibilidade existente nas rodovias. A intermodalidade é um importante instrumento para a minimização dos efeitos negativos gerados pela matriz de transporte brasileira (BRANCO, 2007).

³ Na literatura utiliza-se os termos intermodalidade e multimodalidade para expressar a utilização de dois ou mais modais de transporte no escoamento de cargas. No entanto, apesar de parecerem sinônimos eles possuem definições distintas. No Apêndice A apresenta-se o conceito atribuído para cada um deles. Esta tese irá utilizar o termo intermodalidade.

Por exemplo, o transporte rodo-ferroviário tem como vantagens em relação ao transporte exclusivamente rodoviário, o custo baixo do transporte ferroviário para longas distâncias e a acessibilidade do transporte rodoviário. Combinados permitem uma entrega na porta do cliente a um custo total menor, mas a um tempo relativamente maior, buscando portanto um melhor equilíbrio na relação preço/serviço.

Entretanto, no Brasil existem problemas estruturais que contribuem para o alto custo do transporte. A falta de eficientes corredores intermodais, precária estrutura de armazenagem e o não conjugamento com frete de retorno tornam o transporte de produtos agrícolas um peso excessivo no custo final do produto.

A solução desses problemas e a discussão em torno das questões ambientais incentivariam a utilização mais intensa da intermodalidade no escoamento de cargas no país. No comparativo apresentado na Tabela 6 verifica-se que a hidrovía possui uma eficiência energética quatro vezes superior comparada ao modal rodoviário. O modal rodoviário, segundo Bartholomeu (2006), possui elevada dependência de combustível fóssil, o que o torna um grande consumidor de energia e o classifica como o maior emissor de CO₂.

Em um momento onde as questões ligadas ao aquecimento global e eficiência energética aparecem frequentemente nos debates em todos os segmentos da sociedade, é importante que o setor de transporte, que é considerado um dos vilões do atual cenário, busque alternativas eficientes e ecologicamente corretas para o escoamento de cargas.

2.3 As emissões de gases de efeito estufa no setor de transporte

O setor de transporte é relevante em qualquer tentativa séria de se lidar com a mudança climática, pois é responsável por 13% do total das emissões de gases de efeito estufa (GEE), juntamente com outras fontes de CO₂, como as mudanças no uso do solo e queima da biomassa (OECD, 2008). No Brasil, esse setor ocupa o segundo lugar no ranking de consumo energético final com 28,8%, atrás apenas do setor industrial com 35,6% e à frente de setores como o energético⁴ (10,5%) e residencial (9,8%) (BRASIL, 2011).

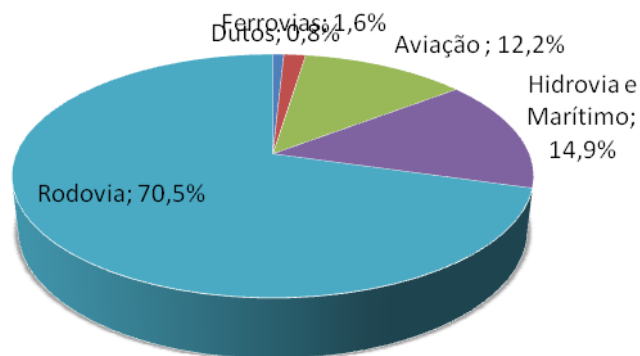
⁴ Setor energético agrega os centros de transformação e/ou processos de extração e transporte interno de produtos energéticos na sua forma final.

Uma das alternativas viáveis e economicamente aceitável para combater esses desafios é o incentivo a utilização de modais de transporte alternativos ao rodoviário. No caso da União Européia, apenas para ilustrar e comparar, o setor de transporte no ano 2006 representou 23,8% do total de emissões de gases de efeito estufa e 27,6% das emissões de CO₂ na União Européia. Segundo Krohn, Ledbury, e Schwarz (2009) esse setor fica atrás apenas da produção de energia que, entretanto, tem diminuído as suas emissões, conforme as estimativas da Agência Européia do Ambiente (AEA).

Apesar da Europa já possuir uma matriz de transporte com elevada participação de ferrovias e hidrovias, a busca para ampliar a utilização desses modais pode resultar em impactos significativos nas metas de redução das emissões de CO₂. É evidente que as dimensões territoriais dos países europeus favorecem a competitividade do modal rodoviário e isso se torna um entrave para a expansão das ferrovias.

Segundo Vehviläinen (2008), Ministra do Transporte da Finlândia, no ano 2008 as emissões relacionadas com os transportes aumentaram consideravelmente a nível mundial e acabaram por prejudicar a redução de CO₂ obtidas nos outros setores. Segundo a ministra, as políticas adotadas no setor de transporte devem levar em consideração a sua cota no abatimento da mudança climática.

A Figura 7 apresenta a quantidade emitida de CO₂ por modal de transporte. Segundo Krohn, Ledbury e Schwarz (2009), o desempenho do setor de transporte se deve ao tráfego rodoviário que participa com 70,5% das emissões no transporte europeu. Por outro lado, a ferrovia representa apenas 1,6% das emissões totais, sendo que transporta 6% de todos os passageiros e 10,3% de toda a carga. De acordo com os autores, esses dados indicam a possibilidade da ferrovia fazer mais por menos. Ao se transferir do modal rodoviário e aéreo para a ferrovia haveria uma redução considerável da emissão de CO₂.



Fonte: adaptado de Krohn, Ledbury, e Schwarz (2009, p.7).

Figura 7 – Emissões de CO₂ em 2005 nos 27 membros da UE por setor de transporte

Segundo a OECD (2008), o grande trunfo para a mudança no modo como o transporte de carga é realizado dentro de um país ou uma região é a utilização das ferrovias. Segundo a UNIFE (2009), a ferrovia produz menos custos externos (acidentes, poluição do ar, ruído, congestionamento e mudança climática) frente à rodovia e aerovia. Quando comparados em condições iguais, o transporte ferroviário é o que possui maiores condições de reduzir os custos monetários e ambientais. Quando comparado com a rodovia, apresenta a possibilidade de transportar mais toneladas com menos quantidade de combustível, o que demonstra uma maior eficiência energética.

Um estudo realizado pelo Painel Intergovernamental das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas confirmou que o deslocamento do transporte rodoviário para o ferroviário é realmente a chave para o combate dos efeitos negativos do transporte no meio ambiente (OECD, 2008).

Com relação ao transporte de cargas, a utilização da intermodalidade de transporte pode gerar ganhos consideráveis de redução de gases de efeito estufa e CO₂. O que deveria ser adotado como medida é a utilização das ferrovias para longas distâncias e a rodovia para a distribuição nos municípios, ou seja, seria utilizada para que a mercadoria faça o processo completo de porta-a-porta.

Ao se tirar um caminhão com contêiner ou um bi-trem das ruas e colocar a carga em vagões de trem para percorrer longas distâncias e utilizar os caminhões apenas para pré ou pós-entrega, poderia se reduzir o consumo de energia pela metade, de acordo com Krohn, Ledbury e Schwarz (2009). Assim, a combinação do modal rodoviário com o ferroviário poderia reduzir as emissões dos gases de efeito estufa em

50%, considerando os trens elétricos que permitem o uso de fontes de energia livres de CO₂ como a água, energia eólica ou solar.

Esses mesmos autores ressaltam que é consenso que a transferência de modal para o ferroviário pode contribuir para o cumprimento dos objetivos em matéria de proteção do clima e da redução dos gases de efeito estufa. Na UE o aumento da utilização do modal ferroviário fará com que a meta de reduzir em 20% as emissões até 2020 seja alcançada.

Outro modal de transporte que requer destaque para o Brasil em termos de eficiência energética e possibilidade de expansão e exploração é o hidroviário. O Brasil possui 55.457 km de vias disponíveis para realizações de obras, sendo que destas 29.000 km são de vias naturalmente disponíveis e 13.000 km são vias utilizáveis economicamente (BARBOSA, 2007).

De acordo com estudos realizados na Europa e apresentados pela OECD na revista *OECD Observer*(2008), o transporte marítimo é um dos menores emissores dentre os modais de transporte, com algo entre 10 a 15 g por tonelada-quilômetro. O modal ferroviário emite de 19 a 41 g por tonelada-quilômetro, seguido do rodoviário que emite de 51 a 91 g por tonelada-quilômetro e da aviação que emite de 673 a 867 g por tonelada-quilômetro.

Segundo Brito Filho (2009), a utilização das águas como modo de transporte possibilita a obtenção de benefícios tanto ao embarcador como ao meio ambiente. O embarcador consegue ter uma maior capacidade de concentração das cargas, aumentar a vida útil da infraestrutura, dos equipamentos e dos veículos, permite ter uma maior segurança da carga e do controle fiscal, diminuir o congestionamento do tráfego, o custo da infraestrutura e o custo operacional. Pela ótica do meio-ambiente, a utilização da hidrovia possibilita eficiência energética, redução do consumo de combustível, ruídos e emissão de poluentes, diminuindo assim as mudanças climáticas e o efeito estufa.

A possibilidade da redução das emissões de gases de efeito estufa através da mudança de paradigma no atual modo de transportar pode gerar benefícios que possibilitem a inserção no mercado de crédito de carbono e a obtenção de benefícios propostos pelo Protocolo de Quioto, como a utilização do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.

2.4 Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas e o Protocolo de Quioto

A principal causa das emissões de CO₂, que é o principal composto dos gases de efeito estufa em todo o mundo, é a queima dos combustíveis fósseis. Numa grande cidade, dentre todos os setores que consomem combustíveis fósseis, o setor de transporte é um dos mais importantes. Esse setor, além de emitir CO₂, polui o local com outros gases como o monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, óxidos de enxofre, aldeídos e material particulado (MATTOS, 2001).

Antes do aprofundamento do assunto é importante diferenciar efeito estufa de aquecimento global. Segundo Bartholomeu (2006), o efeito estufa é um fenômeno originado do acúmulo de vários gases na camada estratosfera (a camada mais próxima da crosta terrestre). Esses gases bloqueiam a passagem de raios infravermelhos, equilibrando a temperatura do planeta em 15° C (caso não houvesse esse bloqueio a temperatura da Terra seria de -18°C).

O aquecimento global refere-se ao aumento potencial da temperatura média global resultante do aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera. Essa concentração está diretamente ligada com as emissões ocasionadas pelo homem, por exemplo, na queima de combustíveis fósseis como o carvão, o gás natural e o petróleo, combustão da biomassa das florestas, o desmatamento, dentre outros (MATTOS, 2001).

Foi na década de 1980 que se iniciaram as primeiras evidências da interferência humana no sistema climático do planeta. Segundo Mattos (2001), ocorreram movimentos para que os assuntos relacionados ao meio ambiente entrassem nas pautas das discussões políticas. Assim, em 1988 instituiu-se o IPCC – Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas⁵ organizado pela Organização Meteorológica Mundial⁶ e pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente⁷.

O primeiro relatório que confirmava que as mudanças climáticas eram uma realidade e uma ameaça ao desenvolvimento do planeta foi divulgado pelo IPCC em 1990. Em decorrência desse relatório, 175 países mais a União Européia se reuniram na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente no ano de 1992 no Rio de Janeiro (ECO 92) e assinaram a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança

⁵*Intergovernmental Panel on Climate Change.*

⁶*WMO – World Meteorological Organization.*

⁷*UNEP – United Nations Environment Programme.*

do Clima. Os países tinham o objetivo de atingir a estabilização da concentração dos gases de efeito estufa na atmosfera, minimizando a interferência no sistema climático (MATTOS, 2001).

Conforme Motta (2010), a responsabilidade de cada país variava de acordo com a sua participação no total das emissões já realizadas e na variação gerada na temperatura do planeta.

O Protocolo de Quioto originou-se na 3ª Conferência das Partes da Convenção do Clima em dezembro de 1997. Nessa Conferência, 170 países assinaram o protocolo e se comprometeram a reduzir as emissões de gases de efeito estufa em um nível de 5,2% abaixo dos níveis de 1990 até o quadriênio 2008-2012. Os países foram divididos em países desenvolvidos (Anexo I) e em economias em transição (não-Anexo I) (COSTA, 1998).

De acordo com o Ministério da Ciência e Tecnologia (2004), os gases de efeito estufa que foram estimados são os de origem antrópica (humana) e compreendem: CO₂ (óxido de carbono), CH₄ (metano), N₂O (óxido nitroso), HFC (hidrofluoroclorocarbono), PFC (perfluorcarbono) e SF₆ (hexafluoreto de enxofre).

O Protocolo de Quioto, conforme Costa (1998), aprovou três mecanismos que flexibilizam a possibilidade dos países atingirem as suas metas de redução de gases de efeito estufa. O comércio de Cotas de Emissão permite que ocorram transferências internacionais de cotas de emissão de gases de efeito estufa entre os países do Anexo I. O Mecanismo de Implementação Conjunta (*JI – joint implemetation*) permite que qualquer Parte incluída no Anexo I possa transferir ou adquirir unidades de redução das emissões de qualquer outra Parte que pertença ao mesmo grupo e o MDL - Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (*CDM – Clean DevelopmentMechanism*) é semelhante ao Mecanismo de Implementação Conjunta, mas que permite a participação de países em desenvolvimento.

O artigo 12 do Protocolo de Quioto descreve o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, que tem por objetivo assistir as partes não incluídas no Anexo I que adotarem procedimentos que minimizem suas emissões de gases de efeito estufa. As partes não incluídas no Anexo I serão beneficiadas de atividades de projetos que resultem em reduções certificadas de emissões e os países incluídos no Anexo I podem utilizar essas certificações para contribuir com o cumprimento de parte de suas metas de redução de emissões determinados pelas partes no Protocolo.

A Implementação Conjunta, artigo 6º do Protocolo, oferece créditos de emissão de carbono através do financiamento de projetos em outros países desenvolvidos que possuem metas de redução estabelecida pelo Protocolo. Conforme o artigo, qualquer Parte incluída no Anexo I pode transferir para ou adquirir de qualquer outra dessas Partes unidades de redução de emissões resultante de projetos que visam a diminuição das emissões antrópicas por fontes ou aumento das remoções antrópicas por sumidouros de gases de efeito estufa em qualquer setor da economia.

O artigo 17º descreve o mecanismo de Cotas de Emissões, que permite a transferência de créditos de emissão de carbono entre países desenvolvidos que consigam reduzir suas emissões além do estabelecido pelo Protocolo de Quioto. Dessa forma, os países desenvolvidos podem vender excedentes aos demais países desenvolvidos que não atingiram suas metas.

A Conferência das Partes da Convenção do Clima (COP 15), que ocorreu em Copenhague na Dinamarca em dezembro de 2009, teve como o objetivo acordar metas de redução mais ambiciosas por partes dos países desenvolvidos, de 40% em 2020 e 80% em 2050. Os países em desenvolvimento fariam contribuições voluntárias que pudessem ser monitoradas, reportadas e verificadas, além do fornecimento de recursos para que os países em desenvolvimento financiassem suas contribuições (MOTTA, 2010).

Entretanto, a Conferência não atingiu seus objetivos, pois não se chegou a um acordo que agradasse a todos os países participantes. O único ato concreto atingido durante o encontro foi a assinatura do Acordo de Copenhague que ratificava o compromisso de limitar o aumento da temperatura em 2°C e apresentar comunicações de emissões nacionais bienalmente. Apesar de pouco concreto, esse acordo permite que se defina o volume total de emissões através do limite da temperatura e o acompanhamento individual das contribuições para o atendimento deste limite (MOTTA, 2010).

O Brasil, segundo Motta (2010), confirmou a COP 15 com metas definidas no Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), com reduções entre 36,1% e 38,9% das emissões projetadas até 2020. Projetou-se um total de 2.704 milhões de t CO₂ para esse ano.

Conforme o Ministério de Minas e Energia (2011), para que um projeto resulte em reduções certificadas de emissões, as atividades do projeto de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo devem, necessariamente, passar por sete etapas: elaboração de

documento de concepção de projeto, validação, aprovação da autoridade nacional designada, submissão do conselho executivo para registro, monitoramento, verificação/certificação e emissão de unidades segundo o acordo do projeto.

Em junho de 2011 foi divulgado pelo Ministério de Minas e Energia, que no mundo existem 7.742 projetos em alguma fase do ciclo de projetos de MDL, sendo que 3.214 já estavam registrados no conselho executivo do MDL e 4.528 projetos nas demais fases. Desse total já foram registrados 193 projetos brasileiros, 679 indianos e 1.443 chineses. Esses três países correspondem a 3º, 2º e 1º colocações em número de projetos registrados, respectivamente.

Do total de projetos em atividade, o Brasil ocupa a terceira colocação com 499 projetos em atividade (6% do total mundial), ficando atrás da China com 3.056 (39%) e da Índia com 2.098 projetos (27%).

Segundo Franco e Fujimoto (2010), a BM&F realiza leilões de negociação das Reduções Certificadas de Emissões, já tendo feito leilões de venda de créditos dos aterros Bandeirantes e São João localizados no município de São Paulo. Assim, é esperado um maior envolvimento das bolsas nas negociações das reduções certificadas de emissões.

A redução das emissões geradas a partir da transferência de modalidade no transporte de carga se enquadra, segundo a UNFCCC (2011), na metodologia *AM0090 – Modal shift in transportation of cargo from road transportation to water or rail transportation*, ou seja, mudança de modal no transporte de carga rodoviário para o aquaviário ou ferroviário.

Essa metodologia foi aprovada em setembro de 2010 e tem aplicações em projetos cujo resultado é a substituição de modal de transporte para uma carga específica, principalmente do rodoviário para o ferroviário. Uma lista com novos investimentos como infraestrutura de portos e equipamentos ferroviários devem ser apresentadas no projeto e os pontos de origem e destino deverão ser fixados para fins de monitoramento. Pelo pouco tempo de aprovação essa metodologia não possui nenhum projeto aprovado ou em aprovação no Brasil e no mundo.

O estudo realizado pela BM&F, em parceria com a FINEP e o Banco Mundial em 2011, verificou que a transferência de 3% das cargas transportadas pela rodovia para a ferrovia na infraestrutura existente viabilizaria 12 projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo e em 10 anos poderia gerar uma receita de até 127 milhões

de dólares caso a redução certificada de emissão fosse vendida a 10 dólares por tonelada de CO₂.

Portanto, é essa oportunidade de mercado que essa tese se propõe investigar para o setor sucroenergético. A minimização das emissões através da intermodalidade poderia potencializar projetos de MDL e trazer ao setor fonte alternativa de receitas, além das advindas com a comercialização de açúcar, etanol e bioeletricidade.

Em 2010, segundo o Banco Mundial (2010), o MDL movimentou 19,8 bilhões de dólares no mercado de carbono, o que equivale a 13,95% de todo o carbono comercializado nesse ano.

2.5 Alternativas diretas e indiretas ao Protocolo de Quioto

2.5.1 Mercado Voluntário de Carbono

Paralelamente ao Protocolo de Quioto é possível utilizar os créditos obtidos com a redução das emissões de CO₂ mediante a mudança de modalidade no transporte de carga, através do mercado de carbono voluntário. Esse mercado incorpora todas as negociações de créditos de carbono e neutralização das emissões dos gases de efeito estufa que são realizadas pelas empresas de maneira voluntária, sem que possuam metas vigentes ao Protocolo de Quioto.

As empresas investem em projetos que procuram compensar os impactos das emissões de gases de efeito estufa nas suas atividades e, com isso, obtêm créditos pela redução de emissões, que se transformam em instrumentos financeiros negociáveis e são negociados no mercado voluntário de carbono. Esses instrumentos são chamados de Reduções Verificadas de Emissão (*VERs – Verified Emission Reductions*) e representam uma tonelada de carbono (CO₂) reduzida ou deixada de ser emitida.

As transações no mercado voluntário de carbono não requerem nenhum tipo de regulamentação, mas são conduzidos pelas empresas e indivíduos que assumem a responsabilidade de compensar suas emissões, bem como as entidades que compram o direito de cumprimento da emissão.

De acordo com Stanley et al. (2011), em 2009 foram comercializados no mercado voluntário de carbono 98 MtCO₂e (tonelada métrica de dióxido de carbono equivalente) e em 2010, houve um recorde de negociações totalizando 131 MtCO₂e, ou

seja, um crescimento de 34% em relação ao ano anterior. No entanto, esse volume ainda representa apenas 0,1% do mercado global de carbono.

Em 2010, os créditos de carbono negociados no mercado voluntário “*over-the-counter*” (OTC) apresentaram uma ligeira queda no valor de comercialização, passando de US\$6,5/tCO₂e⁸ de 2009 para US\$6t/CO₂e nesse ano. Essa cotação proporcionou a movimentação de pelo menos 424 milhões de dólares.

Atualmente, segundo Stanley et al. (2011), existem dezesseis programas de padronização espalhados entre os países desenvolvidos e em desenvolvimento, com escopos que abrangem apenas o próprio país ou o mercado internacional como um todo.

O Brasil apresenta uma padronização para o mercado voluntário de carbono que é o projeto Brasil Mata Viva (BMV), que tem como objetivo certificar os projetos de compensação para o uso da terra. A metodologia aplicada fornece possibilidades para a introdução de tecnologias sustentáveis para o uso da terra e para o estabelecimento de unidades de processamento que poderão agregar valor ao meio rural a partir da recuperação e recomposição das áreas degradadas. Assim, é possível criar soluções para um desenvolvimento sustentável focado na redução do desmatamento e das emissões. Os projetos praticados pelo BMV são supervisionados pelo governo, promotores e IBAMA (STANLEY et al., 2011).

2.5.2 Mitigação nacionalmente apropriadas (NAMAs)

Na 16ª Conferência das Partes da Convenção do Clima (COP 16) realizada em Cancun no México em dezembro de 2010 foi determinado, segundo o Relatório da UNFCCC (2011), que *workshops* deverão ser realizados para esclarecer os pressupostos e as condições relacionadas com a execução dos objetivos das ações de mitigação nacionalmente apropriadas (NAMAs), incluindo o uso de créditos de carbono a partir dos mecanismos e mudanças baseados no uso da terra, silvicultura e outras opções que aumentem o nível de ambição de redução das emissões até 2020.

A adoção dos NAMAs ampliará as áreas de atuação de medidas para a redução dos gases de efeito estufa, pois irá além das já praticadas no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. As medidas propostas na COP 16 darão maior transparência e credibilidade para os projetos a serem adotados.

⁸tCO₂e – tonelada de dióxido de carbono equivalente

Conforme o Artigo quatro no 3º parágrafo do relatório da Convenção divulgado pelo UNFCCC (2011), o suporte financeiro, tecnológico e de capacitação para a preparação e implementação dos NAMAs, além da comunicação dos relatórios para as Partes envolvidas nos acordos, deverão ser feitos pelos países desenvolvidos.

2.5.3 Benefícios indiretos da redução das emissões de gases de efeito estufa

O mercado de carbono representado pelo Mercado Voluntário de Carbono e pelo Mecanismo de Desenvolvimento Limpo para os países em transição determinado pelo Protocolo de Quioto, possibilita a obtenção direta de retorno financeiro da redução das emissões de gases de efeito estufa através da venda dos créditos obtidos pela mitigação.

No entanto, existe a possibilidade desse retorno vir de maneira indireta, através das certificações e conquistas de novos mercados consumidores que se privilegiam com a compra de produtos de ofertantes que se preocupam com a sustentabilidade.

Os Estados Unidos e a União Européia possuem regulamentações para o setor do transporte que incluem as emissões de gases de efeito estufa e como diferenciação incentivam a mitigação. A adoção de medidas para a mudança de modalidade propicia a redução das emissões de CO₂ e possibilita a conquista de novos mercados consumidores.

O setor sucroenergético, que é o foco desta tese, apresenta dentro do ciclo produtivo do etanol uma redução de 90% das emissões quando comparado à gasolina, seu concorrente direto. Ao se utilizar modais mais eficientes em termos energéticos para o escoamento da produção, possibilita-se um incremento dessa porcentagem tornando o etanol um produto ainda mais sustentável.

A União Européia atualmente determina que os produtos a serem comercializados pelo país apresentem uma redução nas suas emissões na ordem de 35%, mas é possível que gradativamente esse montante aumente. Dessa forma, os ganhos adquiridos através da mudança no modal de transporte podem beneficiar a manutenção da comercialização entre o país e o Bloco Econômico.

Alguns outros projetos de certificação exigem que os produtos a serem comercializados no mercado internacional adquiram um selo que classifica o quanto o produto conseguiu reduzir em emissão de gases de efeito estufa. A rotulagem

estabelecida pela certificadora poderá melhorar a imagem do produto e com isso ampliar os mercados consumidores internacionais.

Além disso, considerando a participação do setor sucroenergético no Brasil, a redução das emissões de CO₂ advindas pela mudança de modalidade no transporte do etanol e do açúcar ajudaria o país a cumprir as suas metas voluntárias de redução das emissões estabelecidas pelo país através da Lei nº 12.187 de 29 de dezembro de 2009, na qual foi instituída a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC.

Conforme o artigo 12 da Lei 12.187/2009, para se alcançar os objetivos do PNMC, o Brasil adotará um compromisso nacional voluntário de ações de mitigação das emissões de gases de efeito estufa, tendo como meta a redução das emissões projetadas para 2020 entre 36,1% e 38,9%.

O Decreto de Lei 7.390 publicado em 9 de dezembro de 2010 que regulamenta a Lei 12.187/2009 prevê em seu Artigo 5º que as emissões de gases de efeito estufa em 2020 será de 3.236 milhões de toneladas CO₂e, sendo que 22,6% e 26,8% desse total referem-se ao volume projetado para os setores agropecuária e energia, respectivamente.

Assim, segundo o artigo 6º do Decreto, o Brasil precisa implementar ações que almejem reduzir entre 1.168 milhões de tCO₂e e 1.259 milhões de tCO₂e do total estimado no artigo 5º.

O ato de transferir o escoamento de açúcar e etanol do modal rodoviário para modais mais eficientes em termos energéticos propiciaria a redução das emissões de dióxido de carbono e seria um importante passo para o cumprimento das metas de redução estipuladas pelo país.

A metodologia aplicada nessa tese e apresentada na próxima seção pode beneficiar a quantificação do ganho ambiental adquirido pela minimização das emissões de CO₂, através da alocação mais eficiente do transporte de açúcar e etanol entre os diferentes destinos no Brasil e o cumprimento das metas de mitigação estabelecidas pelo Governo Federal.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Dentre as diversas áreas de abrangência da Teoria Microeconômica encontra-se a Economia do Bem-Estar, que retrata os impactos causados nas pessoas, no desempenho de empresas e no meio-ambiente através de situações geradas pelas mesmas. A Teoria Microeconômica identifica o preço como o mecanismo de mercado mais importante e quando o mesmo está em equilíbrio, o valor marginal que os consumidores designam para um bem é igual ao custo marginal incorrido pela empresa para produzi-lo. Entretanto, o preço pode muitas vezes não captar todos os custos e benefícios da transação. Esses distúrbios ocorrem quando um agente é afetado pela produção ou consumo de um determinado bem, sendo esse denominado externalidade (THOMAS; CALLAN, 2010).

A externalidade é tratada de forma sistêmica a partir das idéias apresentadas por Pigou⁹ em 1932. Segundo esse autor, em um mundo competitivo e sem a presença de externalidade, cada situação de equilíbrio satisfaz um ótimo de Pareto. Nesse instante não é possível que o bem-estar de um indivíduo melhore sem que o de outro fique em pior situação. No entanto, quando o bem-estar de um agente econômico passa a depender não apenas dos bens e serviços consumidos e/ou produzidos, mas também do comportamento de consumo e produção de outros indivíduos, não é possível mais que o mercado assegure o ótimo de Pareto (CONTADOR, 2008).

A externalidade pode gerar impactos negativos ou positivos para a sociedade. As externalidades negativas geram ações que prejudicam as pessoas, como por exemplo, a poluição do ar e as externalidades positivas proporcionam benefícios como o investimento em saúde pública.

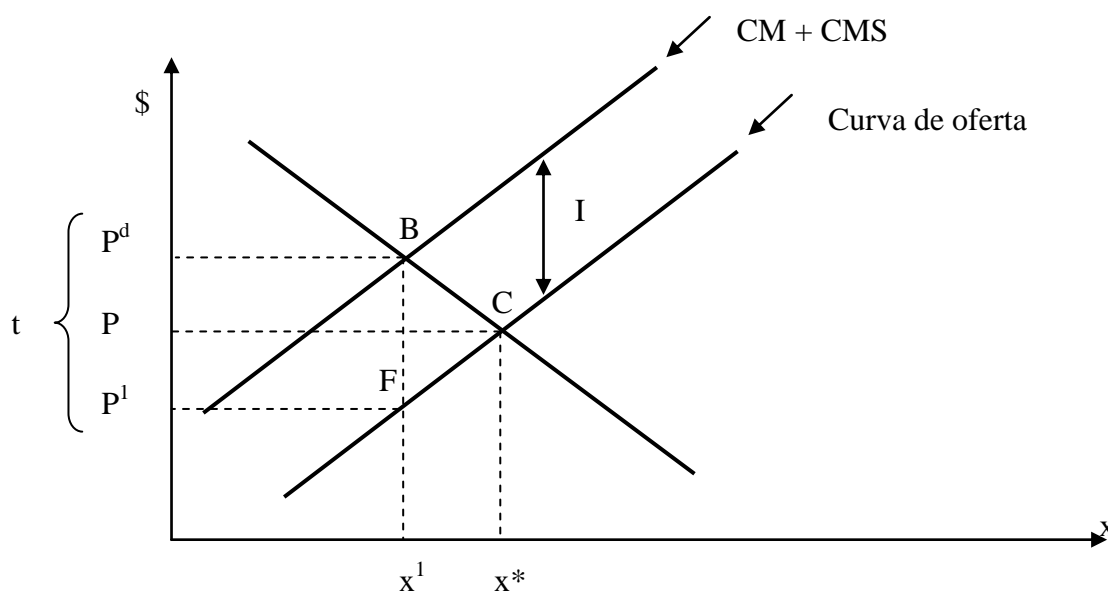
O comportamento positivo ou negativo do indivíduo não proporciona a geração da externalidade. Ela é, na verdade, resultado da definição e execução imprecisa do direito de propriedade. O ar puro não tem uma propriedade definida e dessa forma, não há a quem recorrer contra um agente que está causando efeitos maléficos à qualidade do ar atmosférico. Assim, uma empresa que polui o ar e gera problemas respiratórios nas pessoas e distúrbios ao meio ambiente só seria forçada a pagar pelo dano caso existisse um proprietário que pudesse reclamar e exigir uma indenização (CONTADOR, 2008).

⁹ PIGOU, A.C. **The economics of welfare**. London: Macmillan, 1932.

A falha de mercado gerada pela poluição tende a distorcer o modelo clássico. Os problemas ambientais, de um modo geral, persistem porque implicitamente violam as premissas de um mercado perfeito. Os mecanismos que proporcionam soluções eficientes não são capazes de operar e, assim, é necessária a interferência do governo. Quando as falhas de mercado são identificadas é possível que se restaure o equilíbrio através de uma política ambiental (THOMAS; CALLAN, 2010).

A política ambiental, dessa forma, se faz necessária para induzir ou forçar os agentes econômicos a adotarem procedimentos menos agressivos ao meio ambiente como, por exemplo, reduzir a quantidade de poluentes lançados e minimizar a degradação dos recursos naturais (LUSTOSA; CÁNEPA; YOUNG, 2003).

A Figura 8 apresenta a situação inicial em que os mercados estão ajustados e ocorre um ótimo de Pareto, no ponto C. Quando ocorre uma externalidade negativa, $t = BF$ por unidade produzida, desloca-se do ponto ótimo, pois não ocorre mais a igualdade entre o preço e o custo marginal.



Fonte: Adaptado pela autora a partir de Cánepa (2003, p. 62).

Figura 8 – Externalidade negativa e compensação através do custo marginal social

A partir dessa falha de mercado o Estado, mediante políticas ambientais poderia-se impor um tributo igual ao valor da externalidade. Assim, a curva de custo marginal é “corrigida” e obtém-se uma nova curva de oferta que apresenta o custo

marginal privado (CM) acrescido do custo marginal social (CMS). Esse efeito gera uma elevação no preço do produto para os consumidores e reduz a quantidade transacionada no mercado – Ponto B – (x^1 , P^d).

Os consumidores passam a pagar um valor que cobre todos os custos que a sociedade tem e há uma diminuição na quantidade transacionada do produto que apresenta um menor impacto sobre o meio ambiente. No novo ponto de equilíbrio o preço é igual ao custo de mercado privado, acrescido do custo marginal social. Isso significa que houve um ajustamento do mercado e o ótimo de Pareto foi recuperado (CÁNEPA, 2003).

Na tentativa de correção das falhas de mercado poderia ser cobrada, para o caso específico da poluição, uma taxa por unidade emitida por uma empresa. Isso poderia reduzir o efeito da externalidade desde que o valor do imposto supere a perda com a poluição. Outra medida que poderia ser adotada é o esquema de cotas de poluição, em que as indústrias seriam obrigadas a reduzir suas emissões em uma proporção predeterminada ou então poderiam comprar essas cotas no mercado, adquirindo, com isso, o direito de poluir um nível pré-estabelecido. Além disso, poderiam ser concedidos subsídios para a compra de equipamentos antipoluição ou, ainda, oferecer uma compensação financeira pela redução da produção (CONTADOR, 2008).

Os certificados negociáveis de poluição tratam da possibilidade da sociedade se apropriar através do Estado de um recurso que se tornou escasso. Esse mecanismo pode ocorrer através de um leilão ou mediante a alocação proporcional aos empreendimentos já existentes. Conforme a Figura 8, se o Estado ou a autoridade ambiental estabelecesse uma meta de redução de 40% em um período de quatro anos, poderia emitir certificados correspondentes a 60% do total de emissões, válidos por esse período e distribuí-los entre os setores poluidores considerando a participação no total gerado. Dessa forma, algumas empresas estariam dispostas a serem ofertantes de certificados e outras demandantes. A participação maciça das empresas poderá gerar um mercado de negociação de certificados de emissão, permitindo atingir a meta de abatimento ao menor custo para a sociedade (CÁNEPA, 2003).

O setor de transporte de carga é um gerador de externalidades negativas, pois gera diversos danos ao meio ambiente. Entretanto, a utilização de modais com potenciais menos poluidores ou a utilização de combustíveis mais limpos, podem gerar ganhos ambientais e possibilitar a emissão de projetos de certificados.

A importância do impacto do transporte no meio ambiente fez com que fossem realizados nos últimos anos diversos estudos sobre o tema. Bartholomeu (2006) propôs quantificar o impacto ambiental e econômico da conservação das rodovias brasileiras.

O tema foi proposto em função da importância das rodovias na matriz de transporte brasileira e, também, por esse modal ter grande participação nas emissões de gases de efeito estufa. Economicamente foram avaliadas questões como consumo de combustível, manutenção do veículo e tempo de viagem. No âmbito ambiental foi avaliada a redução das externalidades advindas das emissões de gases de efeito estufa. Os dados foram coletados primariamente e os resultados obtidos apontaram que as rodovias com melhores condições de tráfego propiciam ganhos econômicos (menor consumo de combustível) e ambientais (redução das emissões de gases de efeito estufa).

Liao, Tseng e Shan Lu (2009) compararam as emissões de dióxido de carbono no transporte de contêineres pelo modal rodoviário através da intermodalidade em Taiwan. A metodologia utilizada foi a modelagem das emissões através da utilização de dados como a intensidade da atividade e o fator de emissão de CO₂. Os principais resultados encontrados demonstraram que é possível reduzir significativamente as emissões de dióxido de carbono através da substituição do transporte de caminhões pela navegação por cabotagem.

Bauer, Bektas e Crainic (2009) realizaram um estudo cujo objetivo era minimizar as emissões através do uso da intermodalidade no transporte de carga. Diferentemente da abordagem tradicional que foca a minimização da variável custo de transporte, o trabalho propõe a utilização da variável emissão como função objetivo, dessa forma o enfoque passaria a ser ambiental. A minimização do custo foi obtida através do replanejamento nas viagens a serem realizadas entre a Polônia, Áustria e República Tcheca. O novo mapa do transporte de cargas proposto reduziu as distâncias e juntamente com a utilização da intermodalidade proporcionou redução das emissões de gases de efeito estufa.

Na mesma linha de raciocínio dos autores Bauer, Bektas e Crainic (2009), Suzuki (2011) aborda que a redução das emissões de gases poluentes pode ser obtida através da redução do consumo de combustível advindo da mudança de rota de entrega dos caminhões. Segundo o autor, a rota da viagem deve ser traçada de uma maneira que os itens mais pesados sejam descarregados primeiro e os mais leves posteriormente. O modelo utilizado sugere a minimização do combustível utilizado em função da distância

percorrida. Os resultados encontrados apontam que é possível economizar combustível apenas com o planejamento de aproximação das distâncias a serem percorridas.

Pan, Ballot e Fontane (2010) estudaram a redução das emissões de gases de efeito estufa provenientes do transporte de carga através da agregação da cadeia de abastecimento, utilizando como estudo de caso o fluxo de mercadorias de uma grande rede de distribuição francesa constituída por duas cadeias de abastecimento varejista. Os autores buscam, através de uma rede de fluxos, integrar a cadeia de abastecimento otimizando o fator de carga de cada caminhão.

O trabalho avaliou o efeito do custo ambiental e o custo econômico, sendo utilizadas paralelamente duas funções objetivo. Para o custo ambiental foi inserido no trabalho a função de minimização das emissões de CO₂ provenientes do transporte de mercadorias e para o custo econômico a minimização do custo de transporte.

Os resultados apontaram a possibilidade de redução de 14% nas emissões quando se usa exclusivamente a rodovia e de 52% quando se utiliza a integração dos modais rodoviário e ferroviário. No âmbito econômico, verificou-se uma convergência entre os resultados obtidos com a minimização do custo de transporte e a minimização das emissões quando se utiliza apenas caminhão, ou seja, é possível reduzir tanto as emissões, quanto os custos quando se utiliza de maneira mais eficiente o modal rodoviário.

No entanto, quando o modelo pressupõe a utilização de mais de um modal de transporte os resultados apontaram para um *trade-off* entre emissões e custo, pois não consegue-se reduzir o primeiro sem o aumento do segundo, assim ocorre um dilema entre meio-ambiente e economia. Ao se optar pela minimização dos custos o modelo, não necessariamente, prioriza a minimização das emissões e o contrário também é verdadeiro, assim justifica-se os resultados encontrados.

A metodologia abordada por Pan, Ballot e Fontane (2010) embasa o método de estimação a ser desenvolvido por essa Tese, que objetiva verificar o impacto do uso da intermodalidade nas emissões de gases de efeito estufa e no custo de transporte de açúcar e etanol no Brasil.

3.1 Matriz Origem-Destino

De uma maneira geral, as técnicas de modelagem que são utilizadas para a simulação de fluxos de transporte partem da divisão espacial da região a ser estudada em zonas de carga onde se escolhe as localidades que serão determinadas como os centróides de atração e descarregamento, ou seja, os pontos de origem e destino da carga. Em cada um dos centróides atribui-se valores de oferta para o caso de origem e demanda para o caso de destino. Determinados esses pontos simula-se os movimentos dos fluxos de carga entre os pontos de origem e destino a partir da matriz de transporte disponível na rede de fluxos da mercadoria (ESALQ-LOG, 2009).

A matriz de origem-destino para o caso específico do setor sucroenergético tem-se como origem as usinas que são as unidades produtoras de açúcar e etanol. Como destino separou-se os pontos dos dois produtos. Como aproximadamente 70% do açúcar fabricado são destinados à exportação, tem-se como destino os portos brasileiros. Além disso, os 30% que ficam no mercado interno são divididos entre consumo doméstico (40% do total) e industrial (60% do total).

Para o etanol, os pontos de destino são as bases de distribuição, o que implica que todo etanol comercializado internamente passe por uma base e os portos por onde embarcam o etanol estão associados aos destinos de mercado externo. Deve-se ressaltar que considerou-se apenas o transporte entre as usinas e os centros de distribuição pelo fato do transporte dos centros de distribuição aos postos de combustíveis nos municípios apresentarem distâncias relativas pequenas e, basicamente, serem feitas pelo modal rodoviário.

Os dados referentes à produção de açúcar e etanol produzido pelas usinas foram obtidos na UNICA (2011) para a região Centro-Sul e na Procana (2011) para o Norte e Nordeste e agregados por município conforme a localização da unidade produtora. A safra base de referência envolve as usinas que moeram na safra 2009/2010, mas com dados de produção estimados para a safra 2010/2011.

Os dados de exportação por porto de embarque, tanto para o açúcar como para o etanol, foram obtidos na Secretária de Comércio Exterior – SECEX (2011) e referem-se ao total embarcado pelo país na safra 2010/2011.

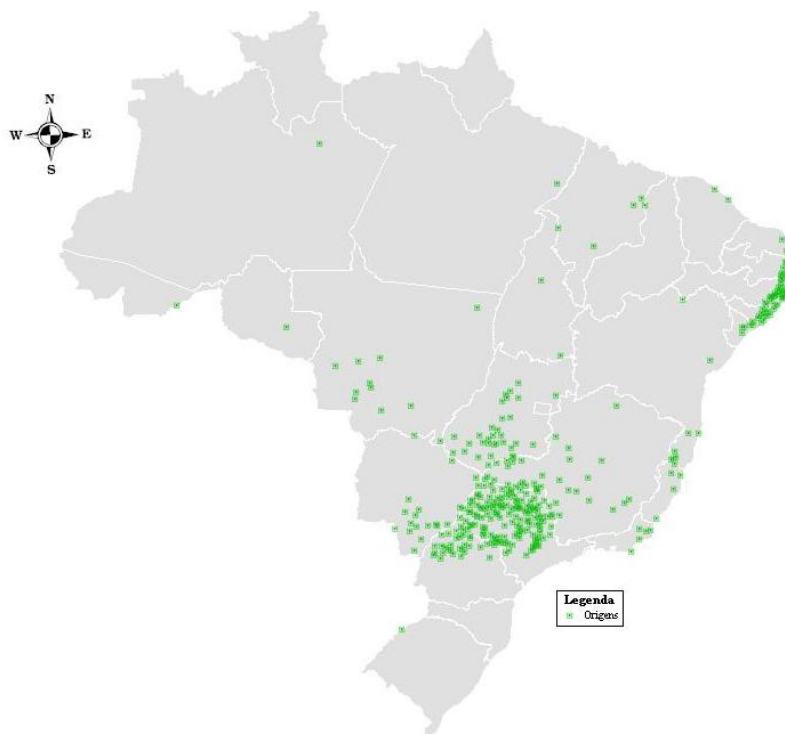
Para o mercado interno de açúcar selecionou-se o município com maior representatividade no parâmetro população dentro das microrregiões brasileiras. Para a determinação da quantidade a ser demandada por esses centróides para o caso do açúcar industrial, foi utilizado como *proxy* o PIB industrial de cada microrregião; e para o consumo doméstico, o total da população da microrregião. Tanto o PIB industrial como

a população total por microrregião referem-se ao ano 2010 e foram obtidos no IBGE (2010). A partir dessas *proxys* calculou-se o consumo aparente de açúcar no mercado interno para a safra 2010/2011 e esse total foi distribuído para os centróides de destino.

Vale ressaltar que a opção pela utilização de municípios centróides das microrregiões e a não utilização direta dos municípios brasileiros deve-se à questão computacional. Ao se considerar os mais de 5.000 municípios na estimativa geraria um número extremamente elevado de pares de origem e destino, o que levaria a uma sobrecarga de informações na estimativa do modelo.

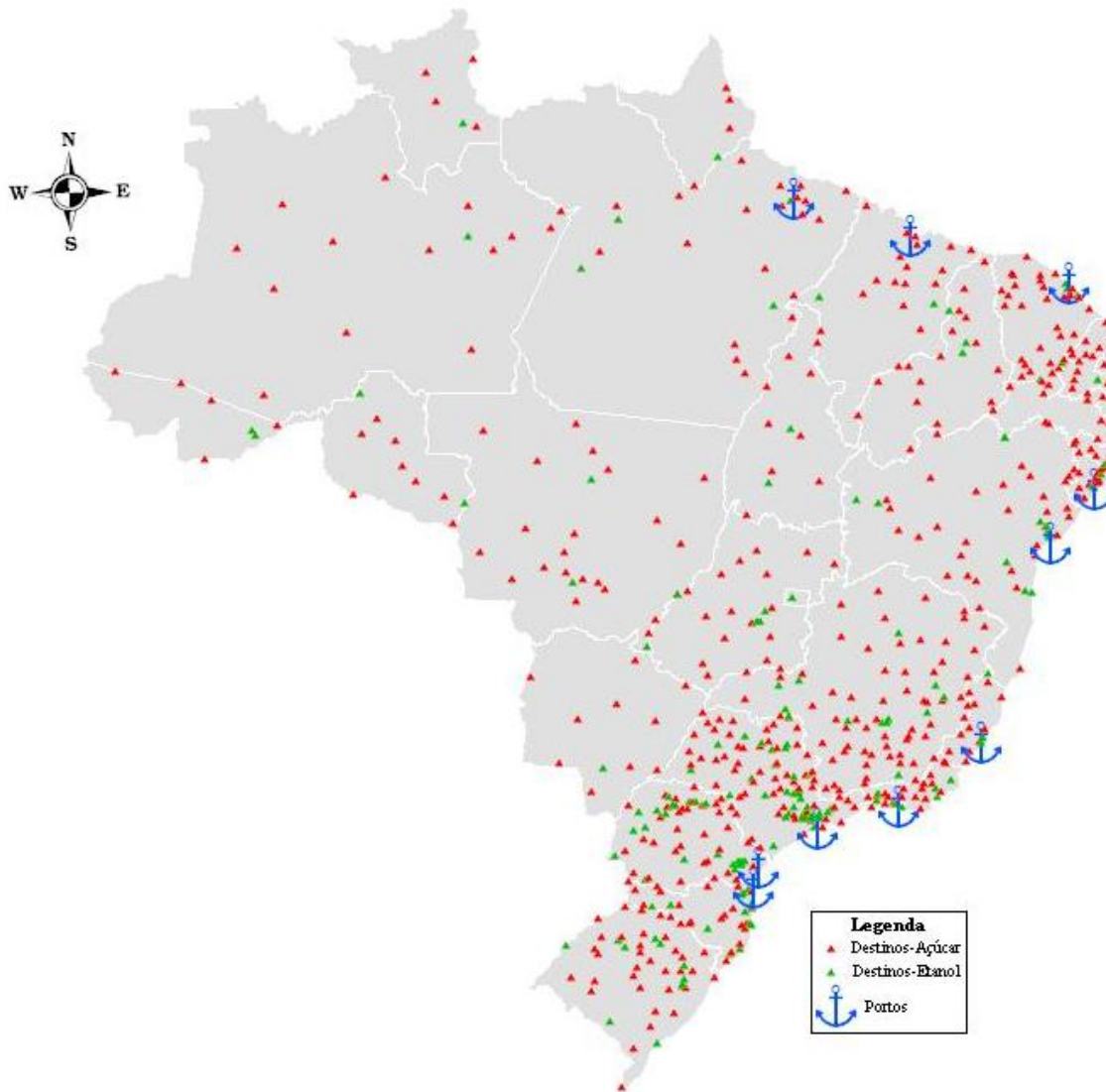
A determinação dos pontos de destino do mercado interno de etanol foi realizada através dos dados das bases de distribuição disponibilizados pela ANP (2011). Os dados de demanda pelos centros de distribuição referem-se ao ano 2010.

Assim, as origens da matriz são representadas pelos municípios que possuem usinas e são ilustradas na Figura 9; os destinos da matriz são apresentados na Figura 10 e constituem os municípios que possuem bases de distribuição de combustíveis, os municípios com portos e os municípios centróides das microrregiões que compõem o mercado consumidor brasileiro de açúcar.



Fonte: elaborado pela autora através do Transcad.

Figura 9 – Mapeamento dos municípios brasileiros que possuem usinas e são apontados como origem no modelo estimado



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 10 – Mapeamento dos municípios centróides que são apontados como destino de açúcar e etanol no Brasil pelo modelo estimado

Não foram considerados fluxos de importação de açúcar e etanol pois, para ambos os produtos, os volumes descarregados no mercado interno são pequenos perto do volume produzido e comercializado pelo mercado nacional.

Dentre os objetivos propostos pela tese pretende-se estimar o fluxo de carga de açúcar e etanol para a safra 2020/2021, em que se pretende captar o impacto das obras de infraestrutura previstas pelo Plano de Aceleração do Crescimento (PAC I e II).

A intenção é verificar se a maior disponibilidade de modais de transporte alternativos ao modal rodoviário potencializa seu uso mais intensivo e se gera uma redução do custo econômico e principalmente ambiental do transporte de carga brasileiro.

Para contemplar os dados necessários para a safra 2020/2021, utilizou-se a estimativa da produção de açúcar e etanol elaborada pela UNICA. O processo foi realizado em duas etapas, em que se estimou a demanda interna e externa por esses produtos e depois a oferta necessária para suprir a necessidade do mercado.

A partir de uma estimativa realizada pela UNICA, verificou-se que na safra 2020/2021 o Brasil demandará 85 bilhões de litros de combustíveis em gasolina equivalente para abastecer a frota nacional de automóveis que compõe o Ciclo Otto (veículos leves que consomem gasolina ou etanol). É esperado que desse total de combustível necessário, o etanol (anidro e hidratado) participe com um pouco mais de 50% desse volume em valores energéticos, ou seja, a quantidade de etanol necessária para abastecer os automóveis em 2020 seria da ordem de 59,5 bilhões de litros.

Para distribuir esse volume comercializado entre as bases de distribuição, considerou-se que o perfil de distribuição observado em 2010 não será alterado em 2020, ou seja, a participação de cada base de distribuição no volume movimentado permanecerá a mesma. Assim, os 59,5 bilhões de litros a serem movimentados em 2020 foram alocados entre as bases atualmente existentes conforme a dimensão atual relativa ao total observada em 2010.

Ressalte-se que não foi considerada a possibilidade de instalação de novas bases em municípios que atualmente não apresentam pontos de distribuição, pois além de ser uma escolha subjetiva, alteraria a matriz de destino realizada para a safra 2010/2011.

O etanol de cana-de-açúcar no mercado internacional apresenta demanda potencial, pois pela sua capacidade de conseguir reduzir suas emissões em até 90% quando comparado à gasolina, dependendo da metodologia utilizada, é classificado pelos países como um combustível avançado. De acordo com os mandatos adotados pela União Européia e Estados Unidos, a meta para a utilização de combustíveis classificados como avançados é crescente. Exemplificando o potencial a ser conquistado, em 2020 a meta do *Renewable Fuel Standard* (RFS) nos Estados Unidos é que sejam consumidos 13,2 bilhões de litros de etanol do tipo avançado. Assim, considerando esse potencial de mercado para o etanol brasileiro, a UNICA estima que o Brasil exporte, em 2020, o volume necessário para abastecer um pouco acima do que é

proposto pelo mercado americano. Dessa forma, foi considerado que o volume de etanol a ser exportado pelo país venha a ser de 15 bilhões de litros.

Como a metodologia aplicada no modelo é a busca pelo escoamento da carga de maneira mais eficiente tanto em termos energéticos como em termos financeiros pelos modais disponíveis, espera-se que o modelo aloque os fluxos para os portos da maneira mais eficiente possível. Assim, o volume exportado não foi distribuído entre os portos, apenas foi informado ao modelo o total destinado ao mercado externo.

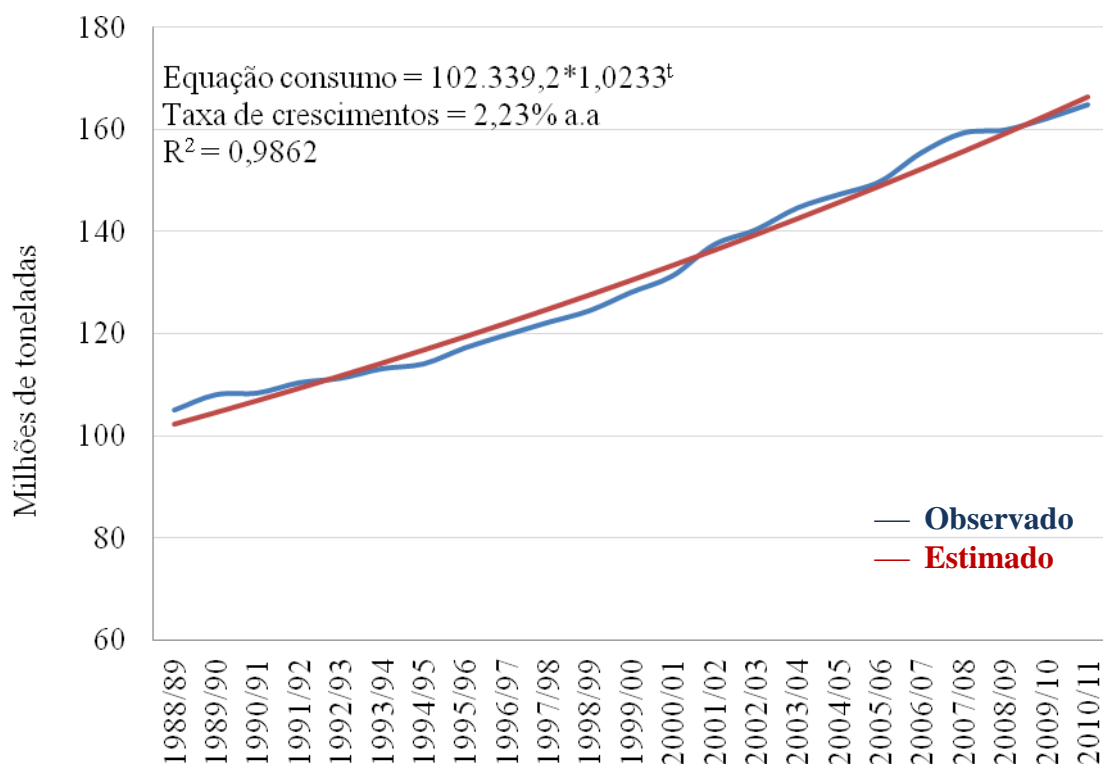
A demanda de açúcar foi dividida em três segmentos: mercado externo, mercado interno consumidor e mercado interno industrial. A UNICA realizou um levantamento para estimativa da demanda externa de açúcar em 2020/2021 e, para tanto, foram adotados alguns pressupostos. Inicialmente, considerou-se que a participação do Brasil no mercado mundial de açúcar permaneceria a mesma nos próximos anos(atualmente o país representa 53% do mercado mundial de açúcar).

Ao se estudar a demanda mundial por açúcar verifica-se que essa a taxa de crescimento da demanda por açúcar é de 2,23% a.a., como pode ser verificado na Figura 11. Esse valor é semelhante à taxa de crescimento da população e, por isso, para a estimativa do mercado mundial de açúcar em 2020/2021 foi considerada que essa taxa é de 2,3% a.a. Com base nessas premissas, o resultado obtido foi que o Brasil em 2020/2021 exportará 36,4 milhões de toneladas de açúcar.

Da mesma forma apresentada para o etanol, não foi distribuído o volume de açúcar a ser exportado pelo país entre os diferentes portos, pois como o objetivo do trabalho é a utilização da maneira mais eficiente energeticamente e economicamente dos diferentes modais de transportes, espera-se que o modelo otimize a alocação dos fluxos.

Para a estimativa do consumo interno brasileiro, inicialmente, utilizou-se uma metodologia semelhante à adotada para o mercado internacional, sendo que nesse caso utilizou-se a taxa de crescimento da população brasileira, ou seja, 2,0% a.a. Dessa forma, chegou-se à estimativa de demanda de 13 milhões de toneladas de açúcar para o mercado interno.

Considerando esses valores obtidos para a demanda pelos derivados da cana-de-açúcar, foi realizada a segunda parte do processo que consiste em determinar qual a participação de cada microrregião nesse volume.



Fonte: LMC (2011).

Figura 11 – Estimativa do consumo mundial de açúcar

O mercado interno de açúcar é dividido em dois segmentos: consumo doméstico e consumo industrial. A perspectiva para o mercado interno é que as proporções atuais de 40% para o consumo doméstico e de 60% para o consumo industrial se alterem para 30% e 70%, respectivamente.

Assim, dos 13 milhões de toneladas a serem consumidos internamente, aproximadamente 9 milhões iriam para indústria e 4 milhões ao consumo doméstico. Para a distribuição entre as microrregiões foi mantida a mesma metodologia adotada para a safra 2010/2011, ou seja, para o caso da demanda industrial utilizou-se o percentual da participação de cada microrregião na formação do PIB industrial nacional enquanto para a demanda doméstica tomou-se como referência a projeção de população do IBGE (2010) para o ano de 2020. A partir da ponderação da projeção da população de cada microrregião em relação ao total do país distribui-se o total de açúcar de consumo doméstico estimado.

A Tabela 7 apresenta um resumo com as quantidades de açúcar e etanol que serão consideradas para a safra 2010/2011 e a estimativa para a safra 2020/2021, separados em mercado interno e mercado externo.

Tabela 7 –Resumo das quantidades de açúcar e etanol produzidos e demandados nas safras 2010/2011 e 2020/2021 utilizados no cálculo dos fluxos de origem e destino do modelo

	Etanol (bilhões de litros)		Açúcar (milhões de toneladas)	
	2010/2011	2020/2021	2010/2011	2020/2021
Mercado interno	25,30	59,50	10,47	13,00
Mercado externo	1,90	15,00	27,51	36,40
Total	27,20	74,50	37,98	49,40

Fonte: elaborado pela autora.

A estimativa da demanda de açúcar e etanol para a safra 2020/2021 possibilitou que fosse calculada a quantidade de cana necessária para produzir esse volume. Para tanto, algumas premissas tiveram que ser adotadas para o cálculo da quantidade de cana-de-açúcar a ser moída: o ATR da cana-de-açúcar cresce à taxa histórica de 1,3% a.a.; do total de etanol demandado no mercado interno, 74% é hidratado e 26% anidro e para o mercado externo 80% é anidro e 20% é hidratado e a proporção do açúcar é 30% branco e 70% bruto.

Essas considerações são importantes, pois para determinar a quantidade de cana-de-açúcar necessária para produzir o total de açúcar e etanol demandado, é necessário identificar a quantidade de ATR.

Pelo fato da estimativa para 2020/2021 estar relacionada a um cenário de longo prazo, espera-se que a demanda seja igual a oferta. Assim, a cana necessária para suprir a demanda virá através da renovação e do aumento de produtividade do canavial, expansão da moagem das usinas já existentes e instalação de novos projetos *greenfields*.

As usinas existentes foram divididas em dois grupos: novas (projetos implementados a partir de 2006) e tradicionais. A premissa para o aumento da moagem através da renovação do canavial e aumento de produtividade foi adotada para o grupo de usinas tradicionais. Além disso, individualmente para cada Estado produtor, foi considerada para as usinas pequenas uma margem máxima de expansão da moagem.

Essa premissa foi adotada distintamente para os Estados, pois a capacidade de expansão do cultivo da cana pode ser limitada.

Para as usinas consideradas novas foi estipulado um teto máximo médio de crescimento da moagem a partir da capacidade de processamento de uma usina estabilizada.

Com esses três passos chegou-se a uma estimativa de moagem de cana que não supriria toda a demanda necessária. Assim, verificou-se a necessidade da instalação de novos projetos *greenfields*.

Foi considerado que esses novos projetos se instalariam nas regiões de expansão compreendidas nos Estados de Mato Grosso, Goiás, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais. A distribuição da taxa de expansão em cada um desses Estados foi realizada a partir da expansão observada nos últimos anos e a alocação entre os municípios produtores foi realizada mantendo a mesma participação apresentada na safra 2010/2011.

Não foram determinados novos municípios para a instalação desses novos projetos, pois seria uma decisão subjetiva, sem embasamento e geraria a criação de uma nova matriz de origens. Além disso, o objetivo principal é a observação dos fluxos gerados a partir da possibilidade de exploração dos modais alternativos ao rodoviário, dada a expansão da infraestrutura prevista no setor de transporte pelo Governo Federal, inclusive as pertencentes ao Plano de Aceleração do Crescimento I e II, e as projetadas pela iniciativa privada e não a alocação de instalação para novas usinas. A próxima seção descreve as obras do que serão utilizadas na estimativa dos cenários futuros no modelo.

3.2.1 Investimentos privados e públicos em infraestrutura logística e o Plano de Aceleração do Crescimento I e II

No dia 22 de janeiro de 2007 através do decreto nº 6.025 o governo Federal institui o Programa de Aceleração do Crescimento que conforme o artigo primeiro tem por objetivo constituir medidas de estímulo ao investimento privado, ampliação dos investimentos públicos em infraestrutura (BRASIL, 2007).

Conforme o decreto o conjunto de investimentos foi dividido em três eixos: infraestrutura logística que envolve a construção e ampliação de rodovias, ferrovias, portos, hidrovias e aeroportos; infraestrutura energética que corresponde à

geração e transmissão de energia elétrica, produção, exploração e transporte de petróleo, gás natural e combustíveis renováveis; e, infraestrutura social e urbana que corresponde ao saneamento, habitação, metros, trens urbanos, o projeto “luz para todos” e os recursos hídricos.

Dentre os três segmentos implantados pelo PAC, para esta tese, o mais importante é o de infraestrutura e são as obras previstas nele que serão consideradas no modelo otimização nas estimativas do cenário futuro.

Na primeira fase do PAC foram investidos aproximadamente R\$ 40 bilhões em cerca de 1.500 ações que englobaram obras, manutenção e projetos nas rodovias (4.731 km e R\$ 27,7 bilhões), marinha marcante (218 embarcações e 2 estaleiros – R\$ 11,2 bilhões), ferrovias (356 km, R\$ 1,14 bilhão), portos (4 empreendimentos – R\$ 123,7 milhões) e hidrovias (3 terminais – R\$ 8,3 milhões) (MINISTÉRIO DO TRANSPORTE, 2012).

Em 2010 foi estabelecida através de uma ação de Estado a segunda fase do plano (PAC II) que tinha por objetivo manter o legado do planejamento dos investimentos necessários ao crescimento econômico permanente do país, garantir a previsibilidade dos investimentos que deverão ser feitos no médio prazo e fornecer subsídios para o orçamento de 2011 (MINISTÉRIO DO TRANSPORTE, 2012).

O período de investimentos do PAC II compreende 2011 a 2014. Para essa nova fase do projeto foi subdividido os três eixos de atuação e criou-se o PAC Transportes com o intuito de consolidar e ampliar a rede logística, através da interligação dos modais, garantindo qualidade e segurança.

Segundo o Ministério dos Transportes (2012) o PAC prevê a construção de mais de estradas de ferros que englobam a Nova Transnordestina, Ferronorte, a Norte-Sul e a Integração Oeste-Leste. No setor hidroviário contemplam-se os projetos de recuperação e adequação de oito corredores e nessas obras incluem dragagens, derrocamentos, sinalização, ampliação de terminais de carga, recuperação de portos fluviais e implantação de barragens e eclusas.

O projeto da Ferrovia Norte-Sul (EFNS) incorpora o traçado que sai de Belém/PA e chega a Panorama/SP e quando concluída a FNS terá 3.100 km de extensão. O grande objetivo dessa ferrovia é promover a integração nacional interligando as regiões Norte e Nordeste ao Sul e Sudeste do país através da conexão com 5.000 km de malha (VALEC, 2010a).

Dentro do projeto PAC I e II a malha foi dividida entre o trecho norte e o trecho sul, sendo que o primeiro contempla o traçado de Açailândia/MA até Palmas/TO com 719 km de extensão e custo de R\$ 1,65 bilhão foi concluída em 2010 durante o PAC I. O segundo trecho compreenderia de Palmas/TO até Estrela do Oeste/SP com 1.536 km de extensão e custo previsto de R\$ 3,37 bilhões. Na estimativa da do modelo de otimização considerou-se o traçado apresentado pela concessionária da ferrovia de 3.100 km (BRASIL, 2011).

A ferrovia Nova Transnordestina terá 1.728 km de extensão e ligará os portos de Suape/PE e Pecém/CE até Eliseu Martins/PI. O custo estimado da obra é de R\$ 5,3 bilhões e está prevista no PAC II com previsão de conclusão em dezembro de 2014 e a empresa concessionária é a TLSA (BRASIL, 2011). O projeto da ferrovia, em uma segunda etapa, contempla a conexão com a EFNS.

A Ferronorte, ferrovia operada pela Concessionária América Latina Logística, atualmente permite a movimentação de cargas entre Alto Araguaia/MT e Santos/SP, sendo que seu contrato de concessão considera projeto de extensão da ferrovia até Rondonópolis/MT, sendo o trajeto de 260 km e custo estimado de R\$ 780 milhões. (BRASIL, 2011). No entanto, o projeto total da ALL prevê que os trilhos cheguem à Cuiabá/MT.

A Ferrovia Oeste-Leste ligará as cidades de Ilhéus/BA a Figueirópolis/TO conectando-se à EFNS, atingindo e terá 2.675 km de extensão com investimentos previstos de R\$ 6 bilhões (VALEC, 2010b). Segundo, Brasil (2011), a obra está prevista no PAC II e compreende a primeira parte da obra que liga os municípios baianos de Ilhéus a Barreiras. Na estimativa do modelo considerou-se o traçado completo da ferrovia.

Outro projeto ferroviário relevante trata-se da Ferrovia de Integração Centro-Oeste (FICO). Essa ferrovia é a primeira parte do projeto da construção da Ferrovia Transcontinental (EF-354) que prevê a ligação do litoral norte do estado do Rio de Janeiro até Boqueirão da Esperança no Acre com percurso total de 4.400 km. O trajeto passará pelos municípios de Muriaé, Ipatinga e Paracatu em Minas Gerais, Brasília no Distrito Federal, Uruaçu em Goiás, Cocalinho, Riberião Castanheira e Lucas do Rio Verde no Mato Grosso, Vilhena e Porto Velho em Rondônia e Rio Branco e Cruzeiro do Sul no Acre. Para fins de modelagem, considerou-se o trecho entre Vilhena/RO até a EFNS, cujo processo de licenciamento ambiental já está em andamento.

Dessa forma, a partir dessas obras de infraestrutura nas ferrovias ocorrerá uma ligação entre diversas malhas ferroviárias, sendo que a ferrovia Nova Transnordestina se conectará com os portos e a EFNS. Além disso, a ferrovia Norte-Sul se ligará a partir de Vilhena/RO com a Ferrovia Integração Centro-Oeste, em Ilhéus/BA com a Oeste-Leste e em Santa Fé do Sul/SP com a malha paulista da ALL. O traçado dessa maneira configurado foi utilizado na estimativa do modelo futuro apresentado no último cenário considerado.

Além da ferrovia o PAC I e II prevê obras para as hidrovias. Na hidrovia do Rio São Francisco estão previstas obras de dragagem de Meleiro e Limoeiro, além de outros quatro pontos considerados críticos. Na hidrovia Paraguai-Paraná estão previstas obras de dragagem e derrocamento que possuem custo estimado de R\$ 20 milhões.

Para a hidrovia Tietê-Paraná estão previstas obras de ampliação de vão no leito do rio, proteção dos pilares da ponte, dragagem do canal de Igarçu, implantação de barragens e eclusas (Santa Maria da Serra e Anhembi), implantação de terminais (Araçatuba e Artemis) e implantação da central de controle operacional (BRASIL, 2011).

Além disso, como já apresentado anteriormente, o sistema logístico Logum, pretende integrar a hidrovia ao sistema dutoviário da Petrobras e investirá cerca de R\$ 415 milhões para a construção de barcaças e empurradores para transportar etanol. Até 2015 serão construídos 20 comboios com 80 barcaças e 20 empurradores em 4 centros coletores no Estado de São Paulo (Presidente Epitácio, Aparecida do Taboado, Araçatuba e Anhembi) que poderão captar 4 milhões de metros cúbicos de etanol por ano.

Na dutovia, dois grandes projetos foram considerados nas estimativas do modelo futuro da tese. O primeiro é o da Unidutoque contempla investimentos por volta de 2,9 bilhões de reais, tem início das atividades previstos para 2013 e projeto de escoamento de 16,6 bilhões de litros de etanol por ano.

O projeto possui 600 km de extensão e passará dentro de 46 municípios no Estado de São Paulo, envolvendo quatro terminais coletores nas cidades de Serrana, Botucatu, Anhembi e Santa Bárbara d'Oeste. Além disso, dois terminais de distribuição para o mercado interno em Paulínia e Caieiras no Estado de São Paulo e um terminal de exportação na Baixada Santista, onde operará um porto *offshore* (UNIDUTO, 2010).

O segundo projeto é o previsto pela Transpetro e está estimado em US\$ 2 bilhões com traçado que ligará Senador Canedo (GO) ao terminal de Ilha D'Água (RJ) e ao porto de São Sebastião (SP). Além disso, está previsto um ramal secundário que fará a conexão, com a hidrovía Tietê-Paraná, conectando os quatro ramais com o município de Paulínia.

Estima-se que o projeto completo fique pronto em janeiro de 2016. Serão 11 centros coletores de etanol (4 na hidrovía e os demais na dutovía) com 1.300 km de dutos. A tancagem total será de 772 milhões de litros por dia com capacidade de movimentação total de escoamento em 2020 de 20,8 bilhões de litros.

Dessa forma, esses foram os projetos de infraestruturas ferroviário, hidroviário e dutoviário inseridos na modelagem de estimativa para os fluxos de açúcar e etanol na safra 2020/2021.

3.2 Modelo matemático proposto

A captação da carga a partir da sua origem e o envio para o seu destino através de uma rede de transporte foi estimada considerando-se um modelo linear de otimização, que tem por objetivo a minimização das emissões de gases de efeito estufa e a minimização do custo de transporte.

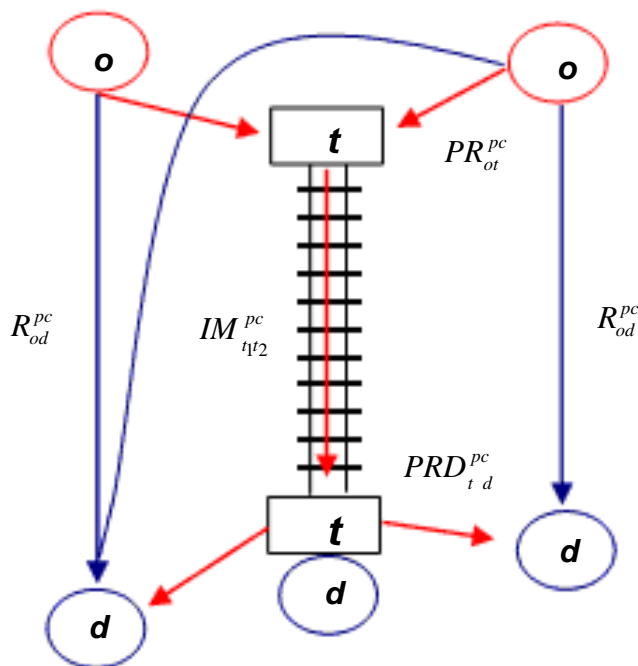
Tradicionalmente, utiliza-se o custo do frete como variável de custo da função; entretanto, nesse caso, outra função objetivo será utilizada considerando o custo ambiental e, para tanto, utiliza-se as emissões de CO₂ para os diferentes modais de transportes.

A simulação dos fluxos origem-destino do açúcar e do etanol, minimizando as emissões de CO₂, foi fundamentada pelo modelo *MinimumCostFlowProblem* (Modelo de Fluxo de Custo Mínimo) apresentado por Ahuja (1993)¹⁰ e que foi adaptado por ESALQ-LOG (2009) na estimativa de minimização do custo do frete utilizando a multimodalidade para agroindústria no Brasil. A função objetivo de minimização do custo de transporte e as restrições apresentadas por esse trabalho foram fundamentadas pelo modelo adaptado.

A função objetivo que minimiza as emissões de CO₂ apresentadas por esse modelo foi ajustada pela autora a partir da equação do modelo fundamentado pelo

¹⁰ AHUJA, R.K.; MAGNANTI, T.L.; ORLIN, J.B. **Network flows**. New Jersey: Prentice Hall, 1993. 846p.

ESALQ-LOG (2009). Ou seja, foi desenvolvida uma função objetivo que contemplasse a minimização das emissões de gases de efeito estufa tomando como referência a original que minimiza o custo de transporte. A lógica associada ao modelo matemático desenvolvido segue o esquema apresentado pela Figura 12.



Fonte: ESALQ-LOG (2009, p.47).

Figura 12 – Esquema representativo do Modelo de Fluxo de Custo Mínimo

A Figura 12 ilustra um esquema de otimização de fluxos de rede, em que cada nó dessa rede pode representar uma região de origem ou uma região de demanda ou, ainda, um terminal de transbordo. Os arcos representam os modais de transporte disponíveis para o escoamento da carga (ESALQ-LOG, 2009).

Para essa estimativa de escoamento dos produtos derivados do setor sucroenergético, os nós são os municípios que possuem usinas, bases de distribuição, portos e os municípios centróides que compõem a demanda de açúcar das diversas microrregiões brasileiras.

Nesse modelo os arcos são constituídos pelos modais rodoviário, ferroviário, hidroviário e dutoviário disponíveis em 2010 assim como aqueles previstos pelas obras do PAC I e PAC II.

Cada parâmetro apresentado pela Figura 12 refere-se a um nó da rede, sendo os fluxos definidos por:

o : centróide da origem da carga;

d : centróide destino da carga;

t : terminais de transbordo da carga entre os modais de transporte.

Para a estrutura matemática do modelo são definidos três tipos de terminais de transferência:

t_1 – terminal de transbordo, determinado como terminal de carregamento, corresponde à origem do fluxo da carga num dado trecho ferroviário, dutoviário ou hidroviário;

t_2 – terminal de transbordo, denominado terminal de descarregamento, refere-se a um determinado destino do fluxo de carga num dado trecho ferroviário, dutoviário ou hidroviário;

b – base de distribuição dos nós da rede que representam as bases de distribuição de combustível. No caso do etanol, é necessário que após a carga sair da usina, passe por um terminal de distribuição antes de chegar aos postos de distribuição no varejo.

O modelo matemático proposto possui as seguintes variáveis:

R_{od}^{pc} : fluxo rodoviário do produto p originado a partir do centro gerador de carga o com destino ao centro de atração de carga d , vinculado ao canal de comercialização c (mercado de exportação ou doméstico);

PR_{ot}^{pc} : fluxo do produto p , na ponta rodoviária entre o centro gerador de carga o e o terminal de transferência de carga t , vinculado ao canal de comercialização c ;

$IM_{t_1t_2}^{pc}$: fluxo intermodal do produto p (através do modal ferroviário, hidroviário e/ou dutoviário) entre o terminal de transferência de carga de carregamento t_1 e o terminal de transferência de carga de descarregamento t_2 , vinculado ao canal de comercialização c .

PRD_{td}^{pc} : fluxo do produto p , na ponta rodoviária entre o terminal de transferência de carga t com destino ao centro de atração de carga d , vinculado ao canal de comercialização c .

O objetivo central do modelo proposto por esse trabalho é o de romper com a abordagem tradicional de estimação de minimização dos custos de transporte ao considerar as questões relacionadas ao meio-ambiente na sua estimativa. Assim, além de estimar o custo econômico, ou seja, o custo de transporte, será também estimado o custo ambiental, ou seja, a redução das emissões de gases de efeito estufa.

Dessa forma, o modelo procura minimizar as emissões de CO₂ medida em tCO₂/TKU no deslocamento das cargas com origem em *o* e destino no centróide *d*. A somatória dos fluxos $IM_{t_1 t_2}^{pc}$ corresponde ao volume de carga captável pelas alternativas de transporte intermodal.

Como já enfatizado, a fundamentação lógica do modelo ocorre através da utilização do modelo validado pelo ESALQ-LOG (2009) para a estimativa do custo econômico, sendo que uma adaptação desse modelo foi realizada pela a autora para o caso da estimativa de minimização das emissões de CO₂. A equação (1) apresenta a função objetivo para a minimização do custo ambiental no transporte de carga.

Função objetivo: minimização das emissões de gases de efeito estufa total expresso por:

$$ET = \sum_{i \in P} \sum_{j \in O} (t_{12}) \sum_{k \in C} \sum_{l \in D} (R_{12} t_{12}^{pc} \times E_{12} d^{1p}) + \sum_{i \in P} \sum_{j \in O} \sum_{k \in C} \sum_{l \in D} PR_{12} t_{12}^{pc} \times$$

em que:

ET total da emissão de CO₂; e

E corresponde ao valor da emissão de CO₂ para cada trecho da rota.

O modelo terá como critério a minimização das emissões de CO₂, através da minimização de ET. Para o outro cenário proposto, o modelo será solucionado adotando como função objetivo a equação que representa CT, ou seja, adotando como critério a minimização do custo total de transporte. Dessa forma será possível verificar o impacto decorrente da minimização das emissões de CO₂ no custo total de transporte e, posteriormente, o impacto da minimização dos custos de transporte nas emissões de CO₂.

Em outras palavras, pretende-se verificar o impacto ambiental nos custos econômicos e o impacto econômico nos custos ambientais, comparando-os em quatro situações.

Na primeira pretende-se captar o quanto o setor atualmente emite de CO₂ e o quanto custa o transporte de açúcar e etanol no Brasil. Nesse cenário se restringirá o total escoado pelos modais alternativos ao modal rodoviário a partir das quantidades por movimentadas na safra 2010/2011.

No segundo cenário será liberada a quantidade escoada pelas ferrovias e hidrovia, procurando-se verificar a alocação dos fluxos gerada pelo modelo com o intuito de minimizar as emissões e os custos de escoamento. Será traçado um paralelo entre esses dois cenários com o intuito de se verificar o impacto do aumento da utilização de ferrovia e hidrovia nas emissões e no custo de transporte.

No terceiro cenário será feita uma projeção de oferta e de demanda para 2020/2021 e se estimará como os fluxos de transporte para essa quantidade de carga responde ao modelo ambiental e econômico no caso das obras de infraestrutura do PAC não serem concluídas.

No quarto e último cenário será considerado que todos os projetos de infraestrutura de transporte previstos pelo PAC estarão prontos e poderão ser utilizados em sua plena capacidade para a quantidade carga estimada para a safra 2020/2021. Pretende-se traçar um comparativo com o cenário anterior everificar os possíveis ganhos econômicos e ambientais com a inserção dessas novas rotas de escoamento. Espera-se que o modelo aloque os fluxos de maneira a se utilizar a intermodalidade mais intensamente e que haja tanto benefícios econômicos e principalmente ganhos no âmbito ambiental.

A equação (2) apresenta a equação de minimização para o custo logístico.

$$CT = \sum_p \sum_o \sum_d \sum_c R_{od}^{pc} \times F_{od}^p + \sum_p \sum_o \sum_{t_1} \sum_c PR_{ot}^{pc} \times F_{ot}^p + \sum_p \sum_{t_1} \sum_{t_2} \sum_c [(IM)_{t_1 t_2}^{pc} \times F_{t_1 t_2}^p + TT_t] + \sum_p \sum_{t_2} \sum_d \sum_c [(PRD)_{td}^{pc} \times F_{td}^p + TT_t] \quad (2)$$

em que:

CT custo total de transporte em reais;

TT corresponde às tarifas cobradas nos terminais de transbordo; e

F corresponde ao valor de frete para cada trecho da rota;

Tanto o modelo de minimização dos custos quanto de minimização das emissões de CO₂ são restringidos pelas expressões matemáticas (equações ou inequações) que seguem:

A equação (3) garante que a soma dos fluxos de cargas com origem em um dado centróide corresponde à produção do centróide da carga, ou seja, a oferta global do produto naquela localidade. Assim, a somatória dos fluxos rodoviários do produto p originados a partir do centro gerador da carga o , considerando todos os canais de comercialização c (exportação e mercado doméstico) e direcionados ao centro de atração de carga, acrescido do somatório dos fluxos rodoviários do produto p pelo centro gerador da carga o e deslocado até o terminal de transferência, deve ser igual à oferta do produto p pelo centro gerador da carga o (definida por OF).

$$\sum_d \sum_c R_{od}^{pc} + \sum_t \sum_c PR_{ot}^{pc} = OF_o^{pc} \quad (3)$$

Alguns centróides podem exercer a função de terminal portuário, tendo uma ligação direta com o mercado internacional. Dessa forma, é necessário que a quantidade exportada seja acrescentada como demanda naquela localidade.

A equação (4) determina que a soma dos fluxos de um determinado produto que chega a um dado destino não excede a demanda e a quantidade exportada pelo referido centróide. Dessa forma, a somatória dos fluxos rodoviários do produto p originados a partir dos centros de origem da carga o com destino ao centro de atração d considerando os canais de comercialização c , somados aos fluxos do produto p originados a partir dos terminais de transferência de carga com destino ao centro de atração de carga d , em todos os canais de comercialização c , deve ser igual à demanda do produto p realizada através do centro de atração de carga d (definida por DEM) acrescido da exportação do produto p realizada através do centro de atração de carga d (definida por EXP).

$$\sum_o \sum_c R_{od}^{pc} + \sum_t \sum_c PRD_{td}^{pc} = DEM_d^p + EXP_d^p \begin{matrix} \text{d} \\ \text{p} \end{matrix} \quad (4)$$

A expressão (5) determina que a quantidade a ser exportada pelos centróides pertencentes a um determinado estado não excede a quantidade total exportada por esse estado definida por EXP . Assim, a somatória dos fluxos rodoviários do produto p originados a partir dos centróides de oferta de carga o que pertençam a um determinado estado uf , associado ao canal de comercialização que representa os fluxos direcionados à exportação ($c_{exportação}$) e direcionados aos centróides de atração de carga considerados portos (d_{portos}), adicionados ao somatório dos fluxos rodoviários do produto p originados do centróide de oferta de carga o , que pertençam a um determinado estado uf , também associados ao canal de comercialização que representa os fluxos de exportação e direcionados aos terminais de transferência de carga, deve ser menor ou igual a exportação do produto p apresentada pela unidade estadual uf .

$$\sum_{o \in o_{uf}} \sum_{d \in d_{portos}} R_{od}^{pc} + \sum_{o \in o_{uf}} \sum_t PR_{ot}^{pc} \leq EXP_{uf}^p \left\{ \begin{array}{l} \forall p \\ \forall uf \\ c \equiv c_{exportação} \end{array} \right. \quad (5)$$

A restrição apresentada pela expressão (6) garante que a quantidade exportada por um porto é maior ou igual à quantidade recebida através dos fluxos rodoviários que seguem da origem da carga até o porto, acrescido dos fluxos rodoviários da carga originados de terminais de transbordo e tendo como demanda a exportação. Então, a somatória dos fluxos rodoviários do produto p , originados a partir dos centróides o , associados ao canal de comercialização correspondente ao mercado de exportação ($c_{exportação}$) e direcionados para um dado porto de atração de carga d , adicionado ao somatório dos fluxos rodoviários do produto p , originados a partir dos terminais de transferência de carga, associados ao canal de comercialização correspondente ao mercado de exportação e enviados para o mesmo destino de atração de carga d , deve ser maior ou igual à quantidade do produto p exportada através daquele porto, definida por EXP .

A restrição do tipo maior ou igual permite a captação de um volume maior de carga caso ocorra expansão da demanda ou da oferta em estimativas para fluxos futuros de cargas.

$$\sum_o R_{od}^{pc} + \sum_t PRD_{td}^{pc} \geq EXP_d^p \left\{ \begin{array}{l} \forall p \\ \forall d \in d_{portos} \\ c \equiv c_{exportação} \end{array} \right. \quad (6)$$

A equação (7) garante que os fluxos rodoviários de uma dada carga que seguiram da sua origem a um terminal de transbordo 1, acrescido do fluxo intermodal da mesma com origem em um outro terminal de transbordo 2 e destino ao terminal 1 deve ser igual aos fluxos de carga que partiram de uma dada origem para o terminal de transbordo 2 somados aos fluxos rodoviários com origem no terminal 2 e direcionados aos centróides de atração da carga.

Ou seja, os fluxos rodoviários do produto p , associados ao canal de comercialização c , com origem nos centróides de oferta de carga e direcionados para um determinado terminal de transferência do tipo transbordo de carregamento t_1 , somado aos fluxos intermodais do produto p , vinculados ao mesmo canal de comercialização c , que partiram de terminais de transferência do tipo transbordo de descarregamento t_2 , direcionados para os terminais de transferência t_1 devem ser igual ao somatório dos fluxos do produto p , no mesmo canal de comercialização c , que partiram dos terminais de carregamento em direção a um dado terminal de descarregamento t_2 , mais os fluxos rodoviários do produto p originados a partir do terminal de descarregamento t_2 e direcionados aos centróides de atração de carga.

$$\sum_o PR_{ot_1}^{pc} + \sum_{t_2} IM_{t_2t_1}^{pc} = \sum_{t_2} IM_{t_2t_1}^{pc} + \sum_o PRD_{t_2d}^{pc} \begin{matrix} \nabla p \\ \nabla c \\ \nabla t \end{matrix} \quad (7)$$

A identificação do fluxo intermodal é feita através do resultado obtido pela variável $IM_{t_1t_2}^{pc}$ que se refere ao fluxo intermodal do produto p , através do modal ferroviário, hidroviário e/ou dutoviário, entre o terminal de transferência de carga t_1 e o terminal de transferência de carga t_2 , vinculado ao canal de comercialização c . É possível também identificar os centróides geradores de carga captável pelas alternativas intermodais e quantidade de carga gerada em cada centróide e os principais pontos de transbordo para o embarque em modais alternativos ao rodoviário.

No caso específico do etanol, o modelo determina que todo o fluxo que tem como destino os centróides no mercado consumidor doméstico tenha como origem um terminal de transferência, ou seja, as bases de distribuição. Dessa forma, o modelo não permite que o etanol chegue aos postos de combustíveis no varejo sem antes passar por uma base. Para o caso das rotas de exportação, os fluxos podem ser transportados diretamente dos centróides de origem (usinas) para os centróides de destino (terminais portuários).

Em decorrência dessa particularidade, o modelo foi adaptado ao adotado para o açúcar e as equações de (8) a (10) apresentam as restrições específicas para o caso do etanol.

$$\sum_{t_2 \in b} PRD_{t_2 d}^{pc} = DEM_d^p \begin{cases} \forall d \\ p \equiv etanol \\ c \equiv c_{doméstico} \end{cases} \quad (8)$$

$$\sum_o R_{od}^{pc} \sum_{t_2} PRD_{t_2 d}^{pc} = EXP_d^p \begin{cases} \forall d \in d_{portos} \\ p \equiv etanol \\ c \equiv c_{exportação} \end{cases} \quad (9)$$

$$\sum_{d \in d_{portos}} \sum_{o \in uf} R_{od}^{pc} \sum_{d \in d_{portos}} \sum_{t_2} PRD_{t_2 d}^{pc} = EXP_{uf}^p \begin{cases} \forall uf \\ p \equiv etanol \\ c \equiv c_{exportação} \end{cases} \quad (10)$$

Esse modelo matemático de otimização proposto por esta Tese foi processado com o uso do solver de programação linear Cplex, através do *software General Algebraic Modeling System – GAMS*. O arquivo de entrada para a estimativa do modelo está disponível no Anexo B. O tempo de compilação dos dados foi de 94,29 segundos, o de geração 20,75 segundos e o de execução 68,16 segundos.

3.3 Dados

Os dados referentes ao valor das emissões de CO₂ em t/TKU para a hidrovia, ferrovia e rodovia são os valores considerados pela Agência Nacional de Transporte Aquaviário (ANTAQ) apresentados por Oliva (2010); os referentes à

dutovia foram disponibilizados pela Transpetro (2011)¹¹. A Tabela 8 apresenta os valores de emissões considerados para cada modal de transporte.

Tabela 8 – Quantidade de emissões de CO₂ para cada modal de transporte em kg/TKU

Modal de transporte	CO ₂ (kg/TKU)
Rodovia	1,64
Ferrovias	0,481
Hidrovia	0,334
Dutovia	0

Fonte: elaborado pela autora.

Os valores dos fretes rodoviários foram obtidos a partir dos dados do Sistema de Informação de Fretes SIFRECA da ESALQ/USP disponibilizados pelo ESALQ-LOG (2010). No entanto, a base de dados coletada e disponibilizada pela base de dados não contempla todas as rotas necessárias para a estimativa do modelo proposto por esta tese. Dessa forma, foi realizada uma estimativa através de um modelo de regressão linear utilizando o Método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO). Na estimativa, a unidade de medida do valor do frete para açúcar é em R\$/t e para o etanol em R\$/m³ relacionado com a distância percorrida.

Para a estimativa foi utilizado os modelos teóricos descrito nas equações (11) e (12):

$$Y = \alpha + \beta X + \varepsilon \quad (11)$$

$$\ln Y = \alpha + \beta \ln X + \varepsilon \quad (12)$$

em que:

Y é o frete rodoviário praticado em 2010 em R\$/t para o açúcar e R\$/m³ para o etanol;

α e β são os coeficientes de intercepto e angular da regressão;

X é a distância rodoviária medida em km;

ε representa o vetor de erro aleatório.

¹¹TRANSPETRO. **Emissões de CO₂ no escoamento por dutovia**. Comunicação Institucional da Transpetro. Contato: faletranspetro@petrobras.com.br. Acesso em: 27 jan de 2011.

O modelo de regressão estimado para fretes apresenta um melhor ajustamento quando se divide as equações em duas classes de distâncias, menores que 300 km de distância e acima desse valor.

Para o caso do açúcar, as duas equações obtidas são apresentadas nas equações (13) e (14), sendo respectivamente, rotas menores que 300 km e rotas acima dessa distância.

$$Y = 10,63 + 0,1485 X \quad (13)$$

(7,205) (22,204) - teste t a 1% de significância

$$R^2 = 0,69 \quad F = 493,003$$

$$Y = 39,21 + 0,071 X \quad (14)$$

(82,175) (108,650)- teste t a 1% de significância

$$R^2 = 0,85 \quad F = 11804,84$$

Para o caso do etanol, as duas equações obtidas são apresentadas nas equações (15) e (16), sendo respectivamente, rotas menores que 300 km e rotas acima dessa distância.

$$\ln Y = 1,3900 + 0,3828 \ln X \quad (15)$$

(3,323) (40,986) - teste t a 1% de significância

$$R^2 = 0,67 \quad F = 1679,83$$

$$\ln Y = 0,4939 + 0,6038 \ln X (16)$$

(9,958) (77,92) - teste t a 1% de significância

$$R^2 = 0,72 \quad F = 6071,57$$

Para a estimativa dos valores dos fretes ferroviários foram utilizadas as tarifas sugeridas pela ANTT (2010f) a partir de um simulador de frete e para o transporte dutoviário a estimativa baseou-se nas tarifas cobradas pela Transpetro para o transporte de combustíveis na malha dutoviária operada pela empresa.

O frete praticado no modal hidroviário foi estimado a partir dos valores de mercado atualmente praticados para o transporte de cargas na Hidrovia Tietê-Paraná e na Hidrovia do Madeira, disponibilizados pelo ESALQ-LOG (2010).

As distâncias utilizadas na estimativa dos valores de frete foram geradas pelo *software* Transcad mediante a malha rodoviária georeferenciada. Nesses três casos as estimativas foram baseadas a partir de um momento de frete em R\$/t.km para o caso do açúcar e em R\$/m³km para o etanol, considerando faixas de distâncias semelhantes.

Ressalta-se que por dificuldades de mensuração e até por sair do foco do trabalho, os fretes relativos entre os modais de transporte foram mantidos constantes entre o cenário atual e o cenário futuro,

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo estimado foi processado para quatro cenários, para cada um dos produtos. Portanto, açúcar e etanol foram tratados separadamente, considerando para cada um deles a minimização das emissões de CO₂ e o impacto no custo de transporte, além da minimização do custo de transporte e o seu impacto nas emissões de CO₂. A Tabela 9 apresenta os detalhes de cada um dos cenários.

Tabela 9 – Descrição dos cenários adotados para a estimativa do modelo para o açúcar e para o etanol

(continua)

Cenários	Estimativa
Cenário 1	<u>Transporte atual</u> <ul style="list-style-type: none"> • Restrição do total embarcado pelo modal ferroviário e hidroviário considerando as quantidades em 2010; • Limitação do total embarcado nos modais ferroviários e hidroviários considerando a quantidade exportada por eles na safra 2010/2011.
Cenário 2	<u>Potencial do transporte atual</u> <ul style="list-style-type: none"> • Mantiveram-se as mesmas rotas ferroviárias, hidroviárias e portos de embarque observados na safra 2010/2011, mas sem a restrição na quantidade embarcada por eles; • O objetivo é traçar um comparativo com o cenário anterior e verificar o impacto do crescimento na utilização da intermodalidade.
Cenário 3	<u>Cenário futuro na via atual</u> <ul style="list-style-type: none"> • Considerou-se o total de carga de açúcar e etanol projetado para ser escoado na safra 2020/2021; • Foi utilizada a malha ferroviária e hidroviária atual sem nenhuma restrição de embarque;

Tabela 9 – Descrição dos cenários adotados para a estimativa do modelo para o açúcar e para o etanol

(conclusão)

Cenários	Estimativa
	<ul style="list-style-type: none"> O intuito é verificar o comportamento do custo de transporte e das emissões caso as obras de infraestrutura previstas no PAC I e II não estejam disponíveis para serem utilizadas.
Cenário 4	<p><u>Cenário Futuro</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Todas as obras de infraestrutura do PAC I e PAC II para ferrovias, hidrovias e dutovias estão prontas para serem utilizadas; Não há nenhuma restrição nas quantidades e nos fluxos.

Fonte: elaboração da autora.

4.1 Açúcar

4.1.1 Cenário 1 - Minimização das emissões e do custo para os fluxos de transporte atual com restrição da quantidade embarcada nos terminais de transbordo e nos portos

O cenário 1 pressupõe que o total de carga embarcado nos pontos de transbordo ferroviário e hidroviário tem limite de capacidade, com base no total que foi embarcado em 2010. Os principais resultados são apresentados na Tabela 10.

Ao se estimar o modelo, tendo como objetivo a minimização das emissões de CO₂, o resultado obtido apontou que serão emitidas 0,065 toneladas de CO₂ e gastos R\$ 67,00 para cada tonelada de açúcar transportado. Ao se minimizar o custo do transporte obtém-se um gasto de R\$ 65,00/t, mas emite-se 0,067 toneladas de CO₂ por cada tonelada transportada.

Esses resultados apontam que uma redução de 3,34% nas emissões de gases de efeito estufa aumenta os custos de transporte em 3,00%; por outro lado, uma redução de 2,91% dos custos de transporte através da minimização dos mesmos implica aumento das emissões de CO₂ em 3,45%. Utilizando o conceito de elasticidade de

substituição, a redução de 1% nas emissões de CO₂ aumenta o custo em 0,84%; no entanto, a redução de 1% no custo acresce as emissões no transporte de açúcar em 0,90%.

Tabela 10 - Principais resultados da estimativa para o embarque de açúcar na safra 2010/2011 no cenário 1, ou seja, com restrição de embarque na ferrovia e hidrovia

Função Objetivo	Minimização Emissões		Minimização Custo	
	Custo (A)	Emissões (B)	Custo (C)	Emissões (D)
Valor custo (R\$/t de açúcar)	66,92		64,97	
Valor emissões (tCO ₂ /t de açúcar)		0,065		0,067
Variação dos Resultados	(A-C)/C 3,00%	(B-D)/D -3,34%	(C-A)/A -2,91%	(D-B)/B 3,45%

Fonte: elaboração da autora. Nota: (A) valor do custo quando o objetivo é a minimização das emissões; (B) valor das emissões quando o objetivo é a minimização das emissões; (C) valor do custo quando o objetivo é a minimização do custo; (D) valor das emissões quando o objetivo é a minimização do custo.

Uma primeira análise dos resultados apresentados na Tabela 10 aponta que a minimização das emissões ocorre a partir da elevação do custo de transporte e que a minimização do custo de transporte leva ao aumento das emissões. Quando se prioriza as emissões é possível reduzir em 0,002 tCO₂/t de açúcar, elevando-se o custo em R\$ 1,95/t transportada.

A redução das emissões gera outras externalidades positivas como a inserção de novos mercados, a possibilidade de participar de projetos vinculados ao MDL e ao mercado voluntário de carbono, ajuda o país a conquistar suas metas voluntárias de redução das emissões e possibilita a conquista de novos mercados consumidores que buscam escolher produtos que tragam com isso a rotulagem de produto sustentável.

Outro ponto a ser destacado é que no país ocorre uma pequena distorção nos fretes praticados, principalmente nos fretes ferroviários que em muitos momentos não apresentam custo de transporte competitivo frente ao rodoviário. Em determinados períodos da safra pode-se verificar fretes férreos cobrados apenas com uma pequena

taxa de desconto frente aos observados pelos caminhões. Isso eleva o custo e pode gerar esse impacto quando se prioriza a utilização de modais menos poluentes.

A Tabela 11 apresenta as rotas intermodais entre os transbordos ferroviários e hidroviários e as quantidades desembarcadas de açúcar em mil toneladas para a minimização das emissões. A carga chega aos transbordos de origem após saírem dos municípios que possuem usinas pelo modal rodoviário. Após chegarem ao transbordo intermodal de descarregamento, a carga segue também por rodovia até o seu destino final.

O modelo sugere que 6.782 mil toneladas de açúcar que têm como destino o mercado internacional devam ser transportadas utilizando a intermodalidade, ou seja, 6.582 mil toneladas são transportadas por ferrovia do transbordo de embarque até o de desembarque e 200 mil toneladas entre transbordos hidroviários. Além dessa carga, 418 mil toneladas de açúcar que têm como destino o mercado interno também são transportadas por comboios férreos.

O açúcar que tem como destino o mercado internacional chega ao transbordo ferroviário de desembarque localizado nos portos de Santos em São Paulo e Paranaguá no Paraná, onde a carga será embarcada nos navios. O produto que é transportado pela hidrovía chega a Pederneiras e é levada por caminhões até o porto de Santos.

Para o açúcar que tem como destino o mercado doméstico, a carga saiu das usinas de caminhão até o transbordo ferroviário de Ourinhos em São Paulo. Desse ponto seguiu por ferrovia até Porto Alegre no Rio Grande do Sul a partir daí seguiu por rodovia para abastecer as microrregiões de destino (Rio Grande, Porto Alegre, Jaguarão, Pelotas, Camaquã, Charqueadas, Montenegro, Taquara, Caxias do Sul e Tramandaí).

Tabela 11 – Fluxo intermodal entre transbordos hidroviário e ferroviário e a quantidade escoada de açúcar no cenário 1 para a minimização das emissões

Trasbordo de Origem	Transbordo de Destino	Mercado	Mercado
		Externo (mil t)	Interno (mil t)
Ferrovia			
Araçatuba – SP	Santos – SP	1.593	
São José do Rio Preto – SP	Santos – SP	1.055	
Fernandópolis – SP	Santos – SP	881	
Tupã – SP	Santos – SP	379	
Chapadão do Sul – MS	Santos – SP	32	
Ourinhos – SP	Porto Alegre – RS		418
Maringá – PR	Paranaguá – PR	2.642	
Hidrovia			
São Simão – GO	Pederneiras – SP	200	
Total		6.781	418

Fonte: elaboração da autora.

Devido à restrição imposta ao modelo no total de 7.000 mil toneladas de açúcar escoado pela ferrovia e de 200 mil toneladas pela hidrovia, o modelo alocou o escoamento do restante do açúcar pelo modal rodoviário. Assim, o açúcar com destino ao mercado internacional foi carregado nas usinas e chegou aos portos diretamente pelo modal rodoviário, totalizando 20.733 mil de toneladas desse produto. Para o mercado doméstico seguiram pelo modal rodoviário 10.055 mil toneladas de açúcar, sendo que esse produto foi embarcado nas usinas e chegou aos municípios centróides das microrregiões destinos.

A Tabela 12 apresenta as rotas intermodais entre os transbordos ferroviários e as quantidades embarcadas em mil toneladas para a minimização do custo. O açúcar, que tem como destino o mercado internacional, segue de ferrovia até o porto onde a carga será embarcada, neste caso, Santos em São Paulo e Paranaguá no Paraná. O açúcar sai das usinas e segue de caminhão pelas rodovias até os pontos de transbordo ferroviário. A partir daí seguem de ferrovia até chegarem ao transbordo localizado nos portos.

O modelo sugere que 7.000 mil toneladas de açúcar que têm como destino o mercado internacional devam ser transportadas utilizando a ferrovia. Da mesma maneira que aconteceu quando o objetivo era a minimização das emissões de

CO₂, a restrição imposta ao modelo no total de 7.000 mil toneladas de açúcar limitou o volume a ser escoado pela ferrovia. Dessa forma, o modelo alocou o escoamento do restante do açúcar pelo modal rodoviário.

O açúcar com destino ao mercado internacional foi carregado nas usinas e chegou aos portos diretamente pelo modal rodoviário, tendo sido escoados 20.514 mil toneladas desse produto. Para o mercado doméstico a carga demandada, 10.473 mil toneladas de açúcar, seguiu pelo modal rodoviário, tendo sido embarcada nas usinas e chegado aos municípios centrais das microrregiões destinos.

Tabela 12 – Fluxo intermodal entre transbordos ferroviários e a quantidade escoada de açúcar no cenário 1 para a minimização dos custos

Transbordo de Origem	Transbordo de Destino	Mercado externo (mil t)
Ferrovia		
Maringá – PR	Paranaguá – PR	1.154
Rolândia – PR	Paranaguá – PR	403
Araçatuba – SP	Santos – SP	1.222
Jacarezinho – SP	Santos – SP	94
Ourinhos – SP	Santos – SP	146
Ipaussu – SP	Santos – SP	150
Jaú – SP	Santos – SP	143
Araraquara – SP	Santos – SP	325
Pradópolis – SP	Santos – SP	654
Serrana – SP	Santos – SP	302
Fernandópolis – SP	Santos – SP	369
São José do Rio Preto – SP	Santos – SP	1.360
Santa Adélia – SP	Santos – SP	675
Total		7.000

Fonte: elaboração da autora.

No contexto de se colocar uma restrição na quantidade embarcada, alguns resultados interessantes puderam ser observados. Quando se minimiza o custo de transporte, o modal hidroviário não é selecionado para o embarque de açúcar; entretanto, quando o objetivo é a minimização das emissões, esse modal é selecionado e

a quantidade prevista para o embarque é o limite da capacidade restrita informada ao modelo. Ou seja, o modelo sugere que 200.00 toneladas de açúcar saiam de Quirinópolis (GO) e Santa Helena (GO) pelo modal rodoviário, embarquem no terminal de transbordo hidroviário em São Simão (GO), siga por hidrovía até Pederneiras (SP) e de lá pelo modal rodoviário até o seu destino final, Porto de Santos.

Esse resultado demonstra que a hidrovía, por ser um pequeno emissor de CO₂, é uma alternativa viável, mas que possui uma demanda potencial, pois o modelo alocou a quantidade limite estipulada nas premissas.

Além disso, por questões de custo de transporte e necessidade de utilização de rodovias para pequenas distâncias para a captação de carga, não foi uma alternativa economicamente viável quando se priorizou os fretes. Para que esse modal possa ser utilizado de maneira mais intensa é necessário prioritariamente aumentar a sua competitividade com a prática de fretes mais competitivos e expansão dos pontos de transbordo, possibilitando a aplicação de uma maior quantidade de rotas e captação de carga.

O comparativo dos resultados obtidos nas duas funções objetivos para o cenário de fluxo limitado nos transbordos intermodais demonstra que existe uma demanda reprimida para o embarque de açúcar, tanto na ferrovia como na hidrovía. Uma expansão na capacidade de transporte pelos modais hidroviários e ferroviários poderia trazer benefício ambiental e econômico.

4.1.2 Cenário 2 - Minimização das emissões e do custo para os fluxos de transporte atual sem restrição da quantidade embarcada nos terminais de transbordo e nos portos

O cenário 2 pressupõe que não existe limite na quantidade de carga passível de ser embarcada nos terminais de transbordo ferroviário e hidroviário, tendo sido mantida a configuração existente dessas malhas, utilizadas para o embarque do açúcar no país. Para essa estimativa considerou-se no modelo apenas o afrouxamento da equação que utilização da intermodalidade. Dessa forma, não se limitou a quantidade máxima que cada modal de transporte poderia escoar.

O objetivo desse cenário é captar como seria a configuração ideal caso os modais de transporte disponíveis no país apresentasse competitividade e tivessem estrutura eficiente. Atualmente a utilização da intermodalidade no setor sucroenergético

para o escoamento da sua produção é baixa em decorrência de uma combinação de fatores.

Além do fato dos portos não possuírem uma capacidade de armazenamento suficiente e estrutura adequada para receber lotes muito grandes de carga, existe um grave problema de ligação entre o terminal e a ferrovia. Verifica-se, também, uma inadequação para a otimização do tempo de descarregamento do trem, pouca disponibilidade de fretes de retorno, problema de direito de passagem entre as concessionárias, falta de vagões e locomotivas e baixa qualidade das linhas férreas.

A Tabela 13 apresenta os principais resultados da estimativa para a minimização das emissões e a minimização do custo de transporte.

Tabela 13–Principais resultados da estimativa para o embarque de açúcar na safra 2010/2011 no cenário 2, ou seja, sem restrição de embarque na ferrovia e hidrovia

Função Objetivo	Minimização Emissões		Minimização Custo	
	Custo	Emissões	Custo	Emissões
	(A)	(B)	(C)	(D)
Valor custo (R\$/t de açúcar)	62,97		59,52	
Valor emissões (tCO ₂ /t)		0,042		0,045
Varição dos Resultados	(A-C)/C	(B-D)/D	(C-A)/A	(D-B)/B
	5,79%	-7,72%	-5,48%	8,36%

Fonte: elaboração da autora. Nota: (A) valor do custo quando o objetivo é a minimização das emissões; (B) valor das emissões quando o objetivo é a minimização das emissões; (C) valor do custo quando o objetivo é a minimização do custo; (D) valor das emissões quando o objetivo é a minimização do custo.

Inicialmente, estimou-se a minimização das emissões para o açúcar e o modelo apontou que com essa configuração atual de transporte e sem limite de embarque são emitidas 0,042 tCO₂ e são gastos R\$ 62,97 com transporte para cada tonelada de açúcar transportada. Ao se realizar a minimização do custo do transporte obtém-se um gasto R\$ 59,52/t, mas emite-se 0,045 tCO₂/t.

Esses resultados apontam que uma redução de 7,72% nas emissões de gases de efeito estufa aumenta o custo de transporte em 5,79%; por outro lado, com uma redução de 5,48% dos custos de transporte através da minimização dos mesmos aumenta-se as emissões de CO₂ em 8,36%. O impacto relativo é semelhante ao

encontrado no cenário 1, ou seja, a redução das emissões é positivamente mais impactante que a redução do custo do frete.

Quando se tem por objetivo a minimização das emissões é possível obter a redução de 0,004 tCO₂ por tonelada transportada de açúcar; por outro lado, há o aumento do custo de transporte de R\$ 3,45/t comparativamente quando se objetiva minimizar o custo.

No entanto, o aumento do custo gerado a partir da priorização da minimização das emissões poderia gerar ganhos diretos como o mercado de MDL e o Mercado Voluntário de Carbono e indiretos como a conquista de novos mercados, que beneficiam o país no cumprimento das suas metas de redução, na conquista de certificações no mercado internacional e a possibilidade de exportar para novos mercados consumidores. Além disso, deve-se considerar que a melhoria na competitividade do frete relativo praticado no mercado poderia reduzir o impacto do aumento do custo.

A Tabela 14 apresenta as rotas intermodais entre os transbordos ferroviários e hidroviários e as quantidades transportadas de açúcar em mil toneladas para a minimização das emissões. O açúcar saiu das usinas de caminhão e chegou aos pontos de transbordos ferroviários e hidroviário onde se deslocou utilizando a ferrovia ou hidrovía até os pontos de transbordo de descarregamento de destino.

Quando o objetivo da função é a minimização das emissões de 24.598 mil de toneladas de açúcar que têm como destino o mercado internacional, deve ser utilizada a ferrovia. Além disso, do açúcar que tem como destino o mercado interno, 3.553 mil toneladas são transportados pelo modal ferroviário e 404 mil pelo modal hidroviário.

O açúcar, que tem como destino o mercado internacional, segundo o modelo, segue de ferrovia até o porto onde a carga será embarcada, no caso, Santos/SP, Paranaguá/PR, Fortaleza/CE e Rio de Janeiro/RJ. O açúcar que foi descarregado no Guarujá/SP seguiu para o porto de Santos.

Tabela 14 – Fluxo intermodal entre os transbordos hidroviário e ferroviário e a quantidade escoada de açúcar para o cenário 2 na minimização das emissões

Transbordo de Origem	Transbordo de Destino	Mercado	Mercado
		Externo (mil t)	Interno (mil t)

Ferrovias

Maringá – PR	Paranaguá – PR	3.122	
Rolândia – PR	Paranaguá – PR	436	418
Ourinhos – SP	Paranaguá – PR	1.271	130
Araçatuba – SP	Santos – SP	832	10
Jaú – SP	Santos – SP	2.035	
Araraquara – SP	Santos – SP	1.036	
Pradópolis – SP	Santos – SP	2.115	
Ribeirão Preto – SP	Santos – SP	2.412	
Serrana – SP	Santos – SP	383	
Fernandópolis – SP	Santos – SP	894	35
Chapadão do Sul – MS	Santos – SP	28	
São José do Rio Preto – SP	Santos – SP	2.791	
Tupã – SP	Santos – SP	688	22
Mogi Guaçu – SP	Santos – SP	700	35
Santa Adélia – SP	Santos - SP	2.334	
Ituverava – SP	Santos – SP	2.501	
Orlândia – SP	Guarujá – SP	544	
São Joaquim da Barra – SP	Guarujá - SP	407	102
Araçatuba – SP	Campinas – SP		970
Campinas – SP	Rio de Janeiro – RJ	68	1.268
Ourinhos – SP	Porto Alegre – RS		564
Codó – MA	Fortaleza – CE	1	

Hidrovia

São Simão – GO	Pederneiras – SP		370
Porto Velho – RO	Santarém - PA		34

Total		24.598	3.958
-------	--	--------	-------

Fonte: elaboração da autora.

A carga que tem como destino o mercado doméstico foi escoada pela ferrovia até os pontos de transbordo localizados em Campinas/SP, Rio de Janeiro/RJ, Paranaguá/PR, Porto Alegre/RS, Guarujá/SP e Santos/SP, pela hidrovia do Madeira de Porto Velho/RO a Santarém/PA e pela Tietê-Paraná de São Simão/GO a Pederneiras/SP e seguiram por rodovia até as microrregiões de destino demandantes de açúcar.

Os demais fluxos de açúcar com destino ao mercado doméstico e internacional foram integralmente realizados pela rodovia, ou seja, o açúcar foi embarcado no caminhão no município de origem e foi descarregado diretamente no município centróide da microrregião ou porto de destino. Por esse modal foram escoados para o mercado internacional 2.918 mil toneladas de açúcar e para o mercado doméstico 6.515 mil toneladas.

A Tabela 15 apresenta as rotas intermodais entre os transbordos ferroviários e as quantidades desembarcadas em mil toneladas para a minimização do custo. O açúcar, que tem como destino o mercado internacional, segue de ferrovia até o porto onde a carga será embarcada, no caso, Santos em São Paulo e Paranaguá no Paraná. Uma pequena quantidade segue até o Guarujá e depois se desloca para o porto de Santos onde a carga seguirá para o mercado externo.

Sem a imposição do teto para o total embarcado, o modelo aloca 24.625 mil toneladas de açúcar para serem embarcadas utilizando intermodalidade, sendo que 96% desse volume têm como destino o mercado internacional. A carga de açúcar que tem como destino o mercado doméstico é desembarcada nos transbordos ferroviários de Paranaguá/PR, Santos/SP, Porto Alegre/RS e Rio de Janeiro/RJ e seguem para abastecer o mercado consumidor das microrregiões desses municípios.

O restante do açúcar foi alocado pelo modelo para o modal rodoviário, ou seja, foi carregado nas usinas e chegou ao seu destino diretamente pelas rodovias. Para o mercado internacional, seguiram dessa forma até os portos 3.771 mil toneladas de açúcar e para as microrregiões brasileiras o total de 9.592 mil toneladas.

É possível observar ao comparar os resultados obtidos quando o objetivo é a minimização das emissões e quando é a minimização do custo a questão da concentração da carga. Ao se focar nas questões ambientais, o modelo procura utilizar mais intensamente os modais menos poluentes, ferrovia e hidrovia e depois a carga é destinada para diversas regiões com distâncias curtas pelo modal rodoviário

Em contrapartida, ao se focar no custo, o modelo concentra a carga ferroviária de uma maneira que após desembarcar no transbordo procure não utilizar o modal rodoviário para curtas distâncias. Como pode ser observado nesse caso, ou o açúcar foi diretamente para o porto ou ficou nas microrregiões em que esses portos se localizam.

Tabela 15 – Fluxo intermodal entre transbordos ferroviários e a quantidade escoada de açúcar no cenário 2 para a minimização dos custos

Transbordos Origem	Transbordo Destino	Mercado	Mercado
		Internacional (mil t)	Doméstico (mil t)
Ferrovias			
Maringá – PR	Paranaguá – PR	2.387	
Rolândia – PR	Paranaguá – PR	1.638	25
Londrina – PR	Paranaguá – PR	66	
São José do Rio Preto – SP	Santos – SP	2.375	
Araçatuba – SP	Santos – SP	1.643	74
Jacarezinho – PR	Santos – SP	94	
Tupã – SP	Santos – SP	483	
Mogi Guaçu – SP	Santos – SP	33	
Ituverava – SP	Santos – SP	2.173	
Ipaussu – SP	Santos – SP	150	28
Jaú – SP	Santos – SP	1.985	
Araraquara – SP	Santos – SP	1.249	
Pradópolis – SP	Santos – SP	3.963	
Ribeirão Preto – SP	Santos – SP	847	
Serrana – SP	Santos – SP	302	
Fernandópolis – SP	Santos – SP	1.066	
Santa Adélia – SP	Santos – SP	2.778	
São Joaquim da Barra – SP	Guarujá – SP	510	
Ourinhos – SP	Porto Alegre – RS		223
Campinas – SP	Rio de Janeiro – RJ	0,47	533
Total		23.743	882

Fonte: elaboração da autora.

O modelo aloca as combinações de rotas dessa maneira em decorrência do modo como o preço do frete é formado, pois na sua composição existem custos fixos e variáveis. Em decorrência dos custos fixos, o frete é relativamente mais elevado em curtas distâncias que em distâncias mais longas, ou seja, em R\$/tkm o frete se torna maior quanto menor for a distância.

O parâmetro que mede as emissões é crescente e aumenta com a distância a ser percorrida; dessa forma, quando se quer minimizar as emissões, o modelo procura alocar a carga de uma forma que as distâncias maiores sejam feitas por modais menos poluentes e após chegar ao transbordo intermodal final, a carga é pulverizada pelas diversas regiões, principalmente para o mercado interno, em curtas distâncias pelo modal rodoviário.

Além disso, quando se prioriza a minimização do custo, o modelo procura utilizar as rotas com as menores distâncias de percurso, pois essas possibilitam a redução do montante a ser dispendido. A utilização da intermodalidade pode gerar um prolongamento do percurso, aumentando o seu valor de frete, quando comparado ao traçado rodoviário, o que explica a alocação realizada pela estimativa do modelo.

Esse comportamento do modelo ficou evidente no cenário 2, quando não ocorre limitação na capacidade de utilização da hidrovia e da ferrovia. Quando se minimiza frete, o modal hidroviário não é utilizado, pois apesar de ser um modal de transporte relativamente mais barato para transportar uma grande quantidade de carga, após chegar ao transbordo final, nesse caso, Pederneiras e Santarém, a carga teria que ser escoada pelo modal rodoviário. Essa combinação encareceria o custo de transporte e, com isso, não seria possível obter a menor alocação de custo possível.

No entanto, quando se pede para minimizar as emissões, o modelo utiliza tanto a hidrovia do Madeira para percorrer o trecho entre Porto Velho em Rondônia a Santarém no Pará, como a hidrovia Tietê-Paraná entre São Simão em Goiás e Pederneiras em São Paulo para abastecer o mercado interno. Após chegar a Santarém o açúcar foi carregado em caminhões e seguiu para quatro microrregiões de destino: Santarém/PA, Itacoatiara/AM, Paritins/AM e Oriximá/PA.

O açúcar que chegou de comboio hidroviário em Pederneiras seguiu por rodovia para onze microrregiões do Estado de São Paulo (Ourinhos, Jaú, Tatuí, Piracicaba, Araraquara, Itapeva, Bauru, Botucatu, São Paulo, Rio Claro e São Carlos), além da microrregião de Santo Antonio da Platina no Paraná.

Ademais, o modal ferroviário também foi utilizado para abastecer o mercado interno e o destino final não foi apenas a microrregião que possui portos. A carga seguiu para o Rio de Janeiro onde foi escoada por rodovia para vinte oito microrregiões localizadas nos Estados do Rio de Janeiro, Minas Gerais e Espírito Santo; em Porto Alegre no Rio Grande do Sul, que abasteceu o mercado de açúcar em

vinte duas microrregiões gaúchas; em Campinas, que escoou para cinco microrregiões consumidoras e no Guarujá que enviou para três microrregiões.

É importante salientar que a liberação no modelo da capacidade de escoamento nos modais ferroviários e hidroviários trouxe um incremento na movimentação usando a intermodalidade em mais de 20 milhões de toneladas. Dos modestos 7 milhões de toneladas impostos ao modelo no cenário 1, chegou-se a 28 milhões de toneladas sem restrição de embarque. Isso demonstra que uma configuração de transporte mais equilibrada priorizaria a utilização mais intensa das ferrovias e hidrovias. No entanto, enfatiza-se que isto não ocorre no Brasil, pois como descrito anteriormente, o país possui diversas limitações estruturais e de infraestrutura que impedem o uso mais intenso da intermodalidade.

A não imposição da quantidade a ser embarcada utilizando mais de um modal de transporte proporcionou uma redução tanto nas emissões de CO₂ quanto no custo, em ambas as estimativas (minimização dos custos e minimização das emissões), comparativamente aos resultados apresentados no Cenário 1. A Tabela 16 apresenta as informações dessa constatação.

A utilização mais intensa da ferrovia e da hidrovia, quando se pretende minimizar as emissões de CO₂, proporciona a redução nas emissões em 0,0608 tCO₂/t de açúcar transportado comparativo dos dois cenários. Além disso, é possível diminuir o custo do transporte em R\$ 3,95/t.

Ao se alterar o objetivo para a minimização do custo de transporte, também é possível se obter ganho econômico e ambiental com o uso mais intenso da intermodalidade. Conforme a alocação realizada pelo modelo é possível reduzir o custo de transporte em R\$ 5,45/t e diminuir as emissões de CO₂ em 0,022/t.

Apesar do *trade off* observado nas estimativas entre custo e emissões, fica evidente que o incentivo a expansão do escoamento através de mais de um modal de transporte possibilita ganhos tanto ambientais como econômicos. Considerando o escoamento de 38 milhões de toneladas de açúcar, percebe-se que é possível reduzir, em torno de, 900 mil a 2,3 milhões de toneladas de CO₂ em uma única safra. Esse resultado demonstra que a retirada dos caminhões das rodovias brasileiras e o uso mais intenso da intermodalidade podem proporcionar uma redução dos gastos com logística e uma redução das emissões de gases de efeito estufa para o escoamento do açúcar.

Caso o Brasil apresente-se uma relação de preços de fretes rodoviário e ferroviários mais competitiva, portos com capacidade de armazenamento suficiente e

estrutura adequada para receber lotes maiores de carga, melhor adequação para o *transit time* e estrutura de escoamento mais consistente, permitiria que esses resultados já pudessem ser encontrados corriqueiramente.

Tabela 16 – Comparação entre os resultados apresentados no Cenário 1 e no Cenário 2 para ambas estimativas – minimização das emissões e minimização dos custos de transporte

Função Objetivo	Cenário	Valor
Minimização Emissões		
	1	Custo: R\$66,92/t Emissões:0,065 t CO ₂ /t
	2	Custo: R\$62,97/t Emissões:0,042 t CO ₂ /t
Minimização do Custo		
	1	Custo:R\$ 64,97/t Emissões: 0,067 tCO ₂ /t
	2	Custo: R\$ 59,52/t Emissões:0,045 tCO ₂ /t

Fonte: elaboração da autora.

A redução nas emissões pode favorecer o setor sucroenergético, pois além da possibilidade de entrar com projetos classificados como AM0090 (descritos na metodologia desta tese e inseridos no processo de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo previsto no Protocolo de Quioto), pode-se ainda participar do Mercado Voluntário de Carbono, bem como melhorar a imagem do açúcar no mercado internacional, conquistando certificações e selo de produto sustentável.

Os cenários 1 e 2 apresentados traçaram um comparativo entre o que realmente ocorre e o potencial a ser transportado para o escoamento do açúcar no país. O cenário 3 traz uma estimativa do que poderá ocorrer com o transporte desse produto na safra 2020/2021 se não houver nenhuma alteração na atual configuração da malha ferroviária e hidroviária.

4.1.3 Cenário 3 – Minimização das emissões e do custo para a oferta e a demanda interna e externa por açúcar para a safra 2020/2021 considerando a atual infraestrutura de transporte

O cenário 3 utiliza os dados referentes à oferta e à demanda futura de açúcar, entretanto o escoamento será realizado pela atual malha de transporte disponível. Esse cenário, traçado dessa maneira, tem o objetivo de verificar como ficará o escoamento da produção em 2020, caso as obras de infraestrutura previstas pelo governo federal e as que estão inseridas no PAC I e II, além das obras realizadas pela iniciativa privada não fiquem disponíveis para serem utilizadas. Assim, poderá se traçar um comparativo com o Cenário 4, a ser apresentado posteriormente, que considera que todas as obras de infraestrutura foram realizadas.

A Tabela 17 apresenta os principais resultados da estimativa para a minimização das emissões e a minimização do custo de transporte. A estimativa para a minimização das emissões de CO₂ para o açúcar apontou que em 2020, com essa configuração atual de transporte serão emitidas 0,042 tCO₂ e gastos R\$ 61,87 por tonelada de açúcar transportado. Ao se minimizar o custo do transporte, obtém-se um gasto de R\$59,06/t, mas emite-se 0,046 tCO₂/t.

Tabela 17 - Principais resultados da estimativa para o embarque de açúcar na safra 2020/2021 para o cenário 3, ou seja, as obras de infraestrutura não estão disponíveis

Função Objetivo	Minimização Emissões		Minimização Custo	
	Custo (A)	Emissões (B)	Custo (C)	Emissões (D)
Valor custo (R\$/t de açúcar)	61,87		59,06	
Valor emissões (tCO ₂ /t)		0,042		0,046
Variação dos Resultados	(A-C)/C	(B-D)/D	(C-A)/A	(D-B)/B
	4,77%	-10,40%	-4,55%	11,61%

Fonte: elaboração da autora. Nota: (A) valor do custo quando o objetivo é a minimização das emissões; (B) valor das emissões quando o objetivo é a minimização das emissões; (C) valor do custo quando o objetivo é a minimização do custo; (D) valor das emissões quando o objetivo é a minimização do custo.

Esses resultados apontam que uma redução de 10,40% nas emissões de gases de efeito estufa aumenta o custo de transporte em 4,77%; por outro lado, uma

redução de 4,55% dos custos de transporte através da minimização dos mesmos implica aumento das emissões de CO₂ em 11,61%

A minimização das emissões permite a redução em 0,005 tCO₂/t de açúcar transportado, alinhada a um aumento de R\$ 2,81/t no custo de transporte. A partir do conceito de elasticidade verifica-se que a redução de 1% nas emissões de CO₂ eleva o custo de transporte em 0,46%; e a redução em 1% no custo acresce as emissões no transporte de açúcar em 0,40%.

A Tabela 18 apresenta as rotas intermodais entre os transbordos ferroviários e hidroviários e as quantidades transportadas de açúcar em mil toneladas para a minimização das emissões. O açúcar saiu das usinas de caminhão e chegou aos pontos de transbordos ferroviários e hidroviário de onde se deslocou utilizando a ferrovia ou hidrovia até os pontos de transbordo de descarregamento de destino.

Quando o objetivo da função é a minimização das emissões, 30.642 mil toneladas de açúcar que têm como destino o mercado internacional devem ser transportadas utilizando a ferrovia. Além disso, do açúcar que tem como destino o mercado interno, 2.553 mil toneladas são transportadas pelo modal ferroviário e 955 mil toneladas pelo modal hidroviário.

Como a quantidade de açúcar a ser transportada cresceu 11,4 milhões de toneladas da safra 2010/2011 para a safra 2020/2021, o modelo alocou o deslocamento do açúcar para um número maior de pontos de transbordo, comparativamente ao observado no cenário 2, mesmo tendo sido mantidas as mesmas rotas ferroviárias e hidroviárias.

A carga que tem como destino o mercado internacional seguiu por ferrovia até chegar aos pontos de transbordo localizados nos portos de Paranaguá no Paraná, Santos em São Paulo. A carga que teve como destino o transbordo ferroviário localizado no Guarujá em São Paulo seguiu para o porto de Santos.

O açúcar que será consumido no mercado doméstico e foi transportado por ferrovia e pela hidrovia e que chegou aos pontos de transbordo foi deslocado pela rodovia para as microrregiões demandantes da carga espalhadas em regiões com localização próxima ao ponto de desembarque ferroviário.

Tabela 18 – Fluxo intermodal entre transbordos hidroviário e ferroviário e a quantidade escoada de açúcar escoado no cenário 3 para a minimização das emissões

Transbordo de Origem	Transbordo de Destino	Mercado	Mercado
		Externo (mil t)	Interno (mil t)
Ferrovias			
Maringá – PR	Paranaguá – PR	1.942	
Rolândia – PR	Paranaguá – PR	1.404	422
Ourinhos – SP	Paranaguá – PR	1.442	
Londrina – PR	Paranaguá – PR	40	
Araçatuba – SP	Santos – SP	2.402	
Chapadão do Sul – MS	Santos – SP	702	
Jacarezinho – PR	Santos – SP	397	
Ipaussu – SP	Santos – SP	831	
Jaú – SP	Santos – SP	1.359	130
Araraquara – SP	Santos – SP	563	
Pradópolis – SP	Santos – SP	416	
Ribeirão Preto – SP	Santos – SP	460	
Serrana – SP	Santos – SP	1.177	
Fernandópolis – SP	Santos – SP	1.599	
São José do Rio Preto – SP	Santos – SP	5.024	
Tupã – SP	Santos – SP	1.219	
Mogi Guaçu – SP	Santos – SP	1.634	
Ituverava – SP	Santos – SP	3.643	
Santa Adélia – SP	Santos – SP	3.316	
São Joaquim da Barra – SP	Guarujá – SP	240	
Orlândia – SP	Guarujá – SP	833	127
Araçatuba – SP	Campinas – SP		334
Ourinhos – SP	Porto Alegre – RS		737
Campinas – SP	Rio de Janeiro – RJ		804
Hidrovia			
São Simão – GO	Pederneiras – SP		955
Total		24.598	3.958

Fonte: elaborado pela autora.

Os demais fluxos de açúcar com destino ao mercado doméstico e internacional foram integralmente realizados pela rodovia, ou seja, o açúcar foi

embarcado no caminhão no município de origem e foi descarregado diretamente no município centróide da microrregião destino ou porto de embarque. Por esse modal foram escoados para o mercado internacional 5.757 mil toneladas de açúcar e para o mercado doméstico 9.491 mil toneladas.

A Tabela 19 apresenta as rotas intermodais entre os transbordos ferroviários e as quantidades desembarcadas em mil toneladas para a minimização do custo. O açúcar, que tem como destino o mercado internacional, segue de ferrovia até o porto onde a carga será embarcada, neste caso, Santos em São Paulo e Paranaguá no Paraná. Uma pequena quantidade segue até o Guarujá e depois se desloca para o porto de Santos onde a carga seguirá para o mercado externo.

Para a oferta e demanda projetadas para 2020/2021, o modelo apresenta como resultado que 27.192 mil toneladas de açúcar com destino ao mercado externo serão transportadas por ferrovia e 1.228 mil toneladas que têm como destino o mercado interno serão escoadas por ferrovia e hidrovia.

A carga de açúcar que tem como destino o mercado doméstico é desembarcada nos transbordos ferroviários de Paranaguá/PR, Santos/SP, Porto Alegre/RS e Rio de Janeiro/RJ e seguem para abastecer o mercado consumidor das microrregiões envolvidas. O açúcar que chega de comboio hidroviário a Pederneiras segue pelo modal rodoviário para abastecer mercados localizados nas microrregiões paulistas de Jaú, Araraquara, Bauru, Botucatu, São Paulo e Rio Claro.

O restante do açúcar foi alocado pelo modelo para o modal rodoviário, ou seja, foi carregado nas usinas e chegou ao seu destino diretamente pelas rodovias. Para o mercado internacional seguiram dessa forma até os portos 9.208 mil toneladas de açúcar e para as microrregiões brasileiras um total de 11.771 mil toneladas.

Tabela 19 – Fluxo intermodal entre transbordos ferroviários e a quantidade escoada de açúcar para o cenário 3 na minimização dos custos

Transbordos Origem	Transbordo Destino	Mercado	Mercado
		Internacional (mil t)	Doméstico (mil t)
Ferrovias			
Maringá – PR	Paranaguá – PR	1.397	
Rolândia – PR	Paranaguá – PR	2.427	21
Londrina – PR	Paranaguá – PR	33	
São José do Rio Preto – SP	Santos – SP	6.103	
Tupã – SP	Santos – SP	700	
Araçatuba – SP	Santos – SP	2.742	
Chapadão do Sul – MS	Santos – SP	146	
Jacarezinho – PR	Santos – SP	510	
Ourinhos – SP	Santos – SP	63	
Ipaussu – SP	Santos – SP	1.450	
Jaú – SP	Santos – SP	1.439	
Araraquara – SP	Santos – SP	1.711	
Pradópolis – SP	Santos – SP	681	
Ribeirão Preto – SP	Santos – SP	1.150	
Serrana – SP	Santos – SP	491	
Fernandópolis – SP	Santos – SP	1.408	
Mogi Guaçu – SP	Santos – SP	1.006	
Ituverava – SP	Santos – SP	1.317	
Santa Adélia – SP	Santos – SP	2.178	
São Joaquim da Barra – SP	Guarujá – SP	240	
Ourinhos – SP	Porto Alegre – RS		281
Campinas – SP	Rio de Janeiro – RJ		637
Hidrovia			
São Simão – GO	Pederneiras – SP		289
Total		27.192	1.228

Fonte: elaboração da autora.

Com a expansão da quantidade de açúcar a ser transportada, em ambas as estimativas foi utilizado o modal hidroviário no trecho São Simão em Goiás a Pederneiras em São Paulo. A diferença é que a quantidade alocada quando se

minimizou as emissões chegou a ser três vezes superior. Esse fato pode ser explicado pela quantidade de carga a ser transportada pela rodovia, posteriormente. Como descrito anteriormente, os custos fixos apresentados pelo modal rodoviário poderiam encarecer o transporte para uma quantidade mais expressiva de açúcar, além do fato de que a utilização mais intensa da intermodalidade pode aumentar o trajeto a ser percorrido, o que também implica elevação dos custos.

A malha atualmente desenhada concentra-se mais na Região Sudeste e na Região Sul do país, mas a maior parte da expansão da produção de açúcar, como foi descrito no momento da estimativa da previsão no capítulo 3 desta tese, ocorrerá nas áreas de expansão localizadas nos Estados de Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul.

O melhor aproveitamento logístico para o transporte de açúcar ocorreria com a expansão da infraestrutura de transporte prevista para ser realizada pelos Planos de Aceleração do Crescimento I e II. Dessa forma, o cenário 4 trará uma estimativa para a qual considera-se que todas as obras estão prontas e disponíveis para serem utilizadas.

Pretende-se, dessa forma, traçar um comparativo com o cenário 3 e verificar se a partir desse novo traçado é possível reduzir os custos ambientais e econômicos dispendidos com o escoamento do açúcar.

4.1.4 Cenário 4 - Minimização das emissões e do custo para os fluxos de transporte considerando a utilização de todas as obras de infraestrutura previstas no PAC I e PAC II

O cenário 4 pressupõe que todas as obras de infraestrutura do PAC para ferrovia e hidrovia estão prontas e disponíveis para serem utilizadas no escoamento da produção de açúcar. A estimativa levará em consideração a produção e a demanda estimada para a safra 2020/2021 e um comparativo com o cenário 3 será traçado. Espera-se que com a inserção de mais vias para escoamento, diminua-se o custo logístico e ambiental para o transporte do açúcar. A Tabela 20 apresenta os principais resultados da estimativa para a minimização das emissões e a minimização do custo de transporte.

Inicialmente estimou-se a minimização das emissões de CO₂ para o açúcar e esse apontou que se todas as obras do PAC I e do PAC II estivessem prontas e sendo utilizadas para o escoamento da produção de açúcar, na safra 2020/2021 seriam

emitidos 0,034 tCO₂ e gastos R\$ 54,42 por cada tonelada de açúcar transportado. Para o caso do objetivo ser a minimização do custo de transporte, seriam gastos R\$ 51,81/t e emitidos 0,038 tCO₂/t.

Tabela 20 - Principais resultados da estimativa para o embarque de açúcar na safra 2020/2021, no cenário 4, ou seja, com todas as obras de infraestrutura disponíveis

Função Objetivo	Minimização Emissões		Minimização Custo	
	Custo (A)	Emissões (B)	Custo (C)	Emissões (D)
Valor custo (R\$/t de açúcar)	54,42		51,81	
Valor emissões (tCO ₂ /t)		0,034		0,038
Variação dos Resultados	(A-C)/C	(B-D)/D	(C-A)/A	(D-B)/B
	5,04%	-9,77%	-4,80%	10,83%

Fonte: elaboração da autora. Nota: (A) valor do custo quando o objetivo é a minimização das emissões; (B) valor das emissões quando o objetivo é a minimização das emissões; (C) valor do custo quando o objetivo é a minimização do custo; (D) valor das emissões quando o objetivo é a minimização do custo.

Esses resultados apontam que uma redução de 9,77% nas emissões de gases de efeito estufa aumenta o custo de transporte em 5,05%; por outro lado, uma redução de 4,81% nos custos de transporte através da minimização dos mesmos aumenta as emissões de CO₂ em 10,82%. Utilizando o conceito de elasticidade de substituição, a redução em 1% nas emissões de CO₂ aumenta o custo em 0,52%, no entanto, a redução em 1% no custo acresce as emissões no transporte de açúcar em 0,44%.

Assim como observado nos cenários 1, 2 e 3, no cenário 4 a redução das emissões ocorreu mediante o aumento do custo de transporte. A redução de 0,004 tCO₂/t de açúcar transportado gera um aumento de R\$ 2,61/t.

A Tabela I.A¹² apresentada no Anexo A descreve as rotas intermodais entre os transbordos ferroviários e hidroviários e as quantidades desembarcadas em mil toneladas para a minimização das emissões.

O açúcar saiu das usinas através do modal rodoviário e chegou aos pontos de transbordo ferroviário e hidroviário, onde a carga foi escoada por esses

¹² A Tabela foi inserida no Anexo, pois o modelo alocou 114 rotas intermodais para o escoamento do açúcar quando o objetivo é a minimização das emissões.

modais até um ponto de transbordo destino. No caso do mercado doméstico, o modelo alocou 5.482 mil toneladas de açúcar utilizando mais de um modal de transporte.

Para o mercado internacional, o modelo alocou 30.496 mil toneladas de açúcar, sendo que essas foram transportadas por ferrovia até Paranaguá/PR, Santos/SP e São Luiz/MA. Uma pequena parte da carga chegou a Curitiba/PR e depois foi enviada a Itajaí/SC por rodovia; também no Guarujá/SP, que seguiu para Santos/SP e a Tubarão/SC que foi transportada via rodovia para Imbituba/SC.

A partir dos resultados apresentados no modelo verifica-se que novas rotas ferroviárias e hidroviárias foram utilizadas. Especificamente, para o caso das hidrovias, Tietê-Paraná e Hidrovia do Madeira, apresentaram novas rotas, além dos trechos tradicionais São Simão a Pederneiras e Porto Velho a Santarém, respectivamente. Além disso, a expansão das hidrovias advinda das obras de infraestrutura propostas pelo governo federal trouxe a possibilidade de escoar açúcar pela Hidrovia do Rio São Francisco através dos terminais localizados em Januária/MG e em Juazeiro/BA.

Os demais fluxos de açúcar com destino ao mercado doméstico e internacional foram integralmente realizados pela rodovia, ou seja, o açúcar foi embarcado no caminhão no município de origem e foi descarregado diretamente no município centróide da microrregião ou porto de destino. Por esse modal foram escoados para o mercado internacional 5.904 mil toneladas de açúcar e para o mercado doméstico 7.517 mil toneladas.

Ao se minimizar o custo de transporte o modelo aloca o açúcar que utilizará a intermodalidade em seu escoamento conforme a Tabela II.A¹³ localizada no Anexo A. Foi estipulado pelo modelo que, para o mercado internacional, 29.801 mil toneladas de açúcar seriam transportadas pelo modal ferroviário e para o mercado doméstico 2.500 mil toneladas pelo modal ferroviário e hidroviário (2.327 e 173 mil, respectivamente).

O açúcar com destino ao mercado internacional foi por ferrovia até os portos de Paranaguá/PR, Santos/SP e Fortaleza/CE. O que se pode verificar, como reportado nos outros cenários, é a alocação realizada pelo modelo quando se compara a minimização das emissões e dos custos de transporte. Mais uma vez o modelo procurou alocar as cargas de uma forma que minimizasse o uso do modal rodoviário para

¹³A Tabela foi inserida no Anexo, pois o modelo alocou 99 rotas intermodais para o escoamento do açúcar quando o objetivo é a minimização do custo.

distâncias curtas e não prolongassem os trajetos. Esse comportamento é contrário ao observado ao se minimizar as emissões.

O restante do açúcar foi alocado pelo modelo para o modal rodoviário, ou seja, foi carregado nas usinas e chegou ao seu destino diretamente pelas rodovias. Para o mercado internacional seguiram dessa forma até os portos 6.599 mil toneladas de açúcar e para as microrregiões brasileiras um total de 10.500 mil toneladas.

O principal ponto a se destacar desse cenário é a utilização dos novos modais de transportes a partir do investimento em infraestrutura previstos pelo PAC I e II. O Cenário 3 foi traçado utilizando-se a mesma quantidade de açúcar a ser transportada pelo Cenário 4, com a diferença que no anterior as vias utilizadas para o escoamento são as mesmas apresentadas atualmente.

A Tabela 21 apresenta um comparativo entre os principais resultados apresentado neste e no cenário anterior. A possibilidade de se utilizar mais vias intermodais para o escoamento da produção proporcionou uma queda de 0,008 tCO₂ e de R\$ 7,25/t para cada tonelada de açúcar transportado quando a função objetivo era a minimização do custo e de 0,008 tCO₂/t e de R\$ 7,45/t quando se minimiza as emissões.

Tabela 21 -Comparação entre os resultados apresentados no Cenário 3 e no Cenário 4 para ambas estimativas – minimização das emissões e minimização dos custos de transporte

Função Objetivo	Cenário	Valor
Minimização Emissões		
	Cenário 3	Custo: R\$ 61,87/t Emissões: 0,042 tCO ₂ /t
	Cenário 4	Custo: R\$ 54,42/t Emissões: 0,034 tCO ₂ /t
Minimização do Custo		
	Cenário 3	Custo: R\$ 59,06/t Emissões: 0,046 tCO ₂ /t
	Cenário 4	Custo: R\$ 51,81/t Emissões: 0,038 tCO ₂ /t

Fonte: elaboração da autora.

Assim, as obras de infraestrutura poderão gerar benefícios econômicos e ambientais para os produtores de açúcar, pois esses poderão conquistar créditos de

carbono e comercializá-los no mercado de carbono. Além disso, poderão conquistar novos mercados consumidores, pois o produto terá uma marca sustentável e, por fim, contribuir para que o Brasil cumpra suas metas voluntárias de redução das emissões de gases de efeito estufa.

A economia tanto de CO₂ como em termos monetários geradas a partir da expansão da malha férrea e hidroviária poderão gerar em menos de 3 anos um incremento de aproximadamente 1,1 milhão de toneladas de CO₂ e 1,1 bilhão de reais apenas para o escoamento do açúcar, considerando que as 49,4 milhões de toneladas que serão transportadas.

É importante destacar que a produção de quase 38,0 milhões de toneladas de açúcar na safra 2010/2011 gastou e emitiu em média, considerando as duas funções objetivo e o total embarcado nos transbordos intermodais, 2,5 bilhões de reais e 2,5 milhões de toneladas de CO₂.

Para a safra 2020/2021 espera-se que sejam transportados 49,4 milhões de toneladas de açúcar. Caso as obras não estejam aptas de serem utilizadas e não houver restrições de uso da intermodalidade, a quantidade de emissões e gastos previstos pelo modelo, em média, para ambos os casos de minimização ficará em torno de 2,2 milhões de toneladas de CO₂ e de 2,9 bilhões.

Em contrapartida, caso todas as obras do PAC I e II fiquem em plenas condições de uso para exploração, o modelo aloca as rotas de maneira que, na média, seja emitido e gasto algo em torno de 1,7 milhões de toneladas de CO₂ e R\$ 2,5 bilhões, respectivamente.

A maior disponibilidade da malha ferroviária e hidroviária no país possibilitará o escoamento de um incremento de 11,4 milhões de toneladas de açúcar, com o mesmo custo de transporte apresentado em 2010/2011 e emitindo, aproximadamente 800 mil toneladas de CO₂ a menos.

Ressalta que esses resultados foram obtidos mesmo considerando fretes relativos entre os modais de transporte constantes ao longo do tempo e sem alterações na questão da competitividade entre eles. Esta suposição foi considerada, pois a estimativa de novos fretes relativos fugira ao escopo do trabalho e não teriam base científica para a sua consideração.

Este resultado ocorre, principalmente, pelo fato de aproximadamente 70% da carga de açúcar ser direcionada para a exportação. As vias férreas, pelo seu

traçado, possibilitam que as cargas sejam mais concentradas e utilizem mais intensamente o modal, sem precisar também da utilização da malha rodoviária para a distribuição da carga entre as microrregiões de destino final.

A melhoria na infraestrutura de transporte no país é um ponto importante para redução dos custos incorridos na comercialização do açúcar, além dos benefícios gerados nas questões ambientais.

Ademais, como o setor sucroenergético também tem gastos econômicos e emite CO₂ no escoamento do etanol, espera-se que o impacto gerado pela inserção de novas vias de escoamento também seja expressiva para esse segmento e intensifique o debate sobre a importância do setor de transporte e o meio ambiente.

A próxima seção apresenta os custos econômicos e ambientais que recaem sobre o etanol e serão descritos com os mesmos procedimentos e cenários apresentados para o açúcar.

4.2 Etanol

Os resultados obtidos para o etanol foram semelhantes aos apresentados para o açúcar na seção 4.1. Dessa forma, a descrição das considerações para o produto energético da cana-de-açúcar será realizada de forma mais sucinta. O modelo, ao alocar os fluxos no procedimento de minimização das emissões e no de minimização dos custos, segue o mesmo padrão apresentado para o caso do açúcar.

Quando o objetivo é a minimização dos custos, o modelo aloca o escoamento da produção de uma forma que não ocorra prolongamentos das distâncias a serem percorridas. O uso mais intenso da intermodalidade propicia a redução das emissões, mas pode levar a um incremento no total de quilômetros a serem percorridos e gerar uma elevação no custo de transporte.

Ao se focar no custo, o modelo concentra a carga ferroviária de tal maneira que após desembarcar no transbordo procura não utilizar o modal rodoviário para essas curtas distâncias. O modelo aloca as combinações de rotas dessa maneira em decorrência do modo como o preço do frete é formado, pois na sua composição existem custos fixos e custos variáveis. Os custos fixos do frete são relativamente mais elevados nas menores distâncias que em distâncias maiores.

Quando o objetivo é a minimização dos custos, o modelo aloca o escoamento da produção de tal forma que distâncias rodoviárias pequenas curtas não

ocorram; assim, a produção quando é escoada pelo modal ferroviário ou hidroviário, normalmente segue diretamente para o transbordo que fica no porto de destino para o caso da carga seguir para o mercado internacional, ou nos municípios de destino para as movimentações domésticas.

O parâmetro que mede as emissões aumenta com a distância a ser percorrida. Dessa forma, quando se deseja minimizar as emissões, o modelo procura distribuir a carga de uma forma que as distâncias maiores sejam feitas por modais menos poluentes e após chegar ao transbordo intermodal final, a carga é pulverizada pelas diversas regiões, principalmente para o mercado interno, em pequenas curtas através do modal rodoviário.

Além disso, como já enfatizado, os fretes relativos entre os modais de transporte foram mantidos constantes em todos os cenários, pois estimativas de novos fretes fugiram do escopo do trabalho.

4.2.1 Cenário 1 - Minimização das emissões e do custo para os fluxos de transporte atual com restrição da quantidade embarcada nos terminais de transbordo e nos portos

O cenário 1, como explicitado anteriormente para o açúcar, pressupõe que o total de etanol embarcado nos pontos de transbordo ferroviário e hidroviário tem limite de capacidade, com base no total que foi embarcado em 2010, ou seja, em 2010 a ferrovia embarcou 2,5 bilhões de litros de etanol e a hidrovía 200 milhões de litros. Os principais resultados são apresentados na Tabela 22.

A estimação do modelo tendo como objetivo a minimização das emissões de CO₂ apontou que na configuração atual da malha de transporte brasileira são gastos R\$ 43,72 e emite-se 0,057 tCO₂ por cada m³ de etanol transportado. Se os embarcadores priorizassem a minimização dos custos de CO₂ seriam emitidos 0,060 tCO₂/m³ ao custo de R\$ 41,77/m³.

Tabela 22 - Principais resultados da estimativa para o embarque de etanol na safra 2010/2020, para o cenário 1, ou seja, com restrição de embarque na ferrovia e hidrovía

Função Objetivo	Minimização Emissões		Minimização Custo	
	Custo (A)	Emissões (B)	Custo (C)	Emissões (D)
Valor custo (R\$/m ³ de etanol)	43,72		41,77	
Valor emissões (tCO ₂ /m ³)		0,057		0,060
	(A-C)/C	(B-D)/D	(C-A)/A	(D-B)/B
Varição dos Resultados	4,67%	-4,97%	-4,46%	5,23%

Fonte: elaboração da autora. Nota: (A) valor do custo quando o objetivo é a minimização das emissões; (B) valor das emissões quando o objetivo é a minimização das emissões; (C) valor do custo quando o objetivo é a minimização do custo; (D) valor das emissões quando o objetivo é a minimização do custo.

Esses resultados apontam que uma redução de 4,97% nas emissões de gases de efeito estufa aumenta os custos de transporte em 4,67%; por outro lado, uma redução de 4,46% dos custos de transporte através da minimização dos mesmos aumenta as emissões de CO₂ em 5,23%. Essas porcentagens relativas indicam que, proporcionalmente, a priorização do custo de transporte gera impacto superior ao obtido pela minimização das emissões, ou seja, quando se prioriza a redução do frete, o impacto nas emissões é superior ao impacto que esta causa no custo.

A minimização das emissões, de acordo com o modelo, aponta uma redução de 0,003 tCO₂/m³; por outro lado, o aumento ocorrido no custo de transporte é de R\$ 1,95/m³.

A Tabela 23 apresenta as rotas intermodais entre os transbordos ferroviários e hidroviários e as quantidades desembarcadas de etanol em milhões de litros para a minimização das emissões. A carga chega aos transbordos de origem após saírem dos municípios que possuem usinas pelo modal rodoviário. Após chegarem ao transbordo intermodal de descarregamento a carga segue também por rodovia até o seu destino final, exceto os portos e bases de distribuição que são interligados aos terminais ferroviários.

O modelo aloca as rotas de transporte utilizando a capacidade máxima de escoamento utilizada em 2010, ou seja, sugere que 2.500 milhões de litros de etanol utilizem a ferrovia e 200 milhões de litros a hidrovia. Assim, para o mercado internacional, o modelo deslocou para ferrovia a quantia de 219 milhões de litros e para o mercado interno foram alocados 2.281 milhões de litros pela ferrovia e 200 milhões de litros para a hidrovia.

O etanol, que tem como finalidade abastecer o mercado externo, segue por ferrovia de Maringá até Paranaguá(ambos no Estado de Paraná) e de lá até o porto para ser embarcado nos navios rumo ao mercado internacional.

Já o etanol, que ficou para abastecer o mercado consumidor interno após ser transportado pela ferrovia e hidrovia, teve como destino final as bases de distribuição localizadas nos municípios de Fortaleza/CE, São Luís/MA, Betim/MG, Teresina/PI, São Paulo/SP e Paulínia/SP.

Tabela 23 – Fluxo intermodal entre transbordos hidroviário e ferroviário para o etanol no cenário 1 para a minimização das emissões

Trasbordo de Origem	Trasbordo de Destino	Mercado Externo (milhões de litros)	Mercado Interno (milhões de litros)
Ferrovia			
Chapadão do Sul – MS	Paulínia – SP		132
Uberaba – MG	Paulínia – SP		223
Governador Valadares – MG	Betim – MG		630
Maringá – PR	Paranaguá – PR	219	
Araçatuba – SP	Paulínia – SP		286
Andradina – SP	Paulínia – SP		486
Joaquim Nabuco – PE	Fortaleza – CE		36
Joaquim Nabuco – PE	São Luís – MA		205
Joaquim Nabuco – PE	Teresina – PI		2
Costa Rica – MS	Paulínia – SP		176
Aliança - PE	Fortaleza – CE		105
Hidrovia			
São Simão - GO	Pederneiras – SP		200
Total		219	2.481

Fonte: elaboração da autora.

Devido à restrição imposta, o modelo alocou o escoamento do restante do etanol pelo modal rodoviário. Assim, a carga que tem com destino o mercado internacional foi carregada nas usinas e chegou aos portos diretamente pelo modal

rodoviário, totalizando 1.687 milhões de litros. Para o mercado doméstico seguiram pelo modal rodoviário 22.843 milhões de litros, sendo que esse etanol foi embarcado nas usinas e chegou às bases de distribuição.

A Tabela 24 apresenta as rotas intermodais entre os transbordos ferroviários e as quantidades embarcadas em milhões de litros para a minimização do custo. O etanol sai das usinas e segue de caminhão pelas rodovias até os pontos de transbordo ferroviário. O trajeto é realizado utilizando as linhas férreas até chegar aos portos ou às bases de distribuição de destino.

Tabela 24 – Fluxo intermodal entre transbordos ferroviários e a quantidade escoada de etanol no cenário 1 para a minimização dos custos

Trasbordo de Origem	Transbordo de Destino	Mercado Internacional (milhões de litros)	Mercado Doméstico (milhões de litros)
Ferrovia			
Chapadão do Sul – MS	Paulínia – SP		132
Jacarezinho – PR	Araucária – PR		242
Araraquara – SP	Paulínia – SP		469
Uberaba – MG	Paulínia – SP		223
Maringá – PR	Paranaguá – PR	51	
Araçatuba – SP	Paulínia – SP		509
Ribeirão Preto – SP	Paulínia – SP		458
Pradópolis – SP	Paulínia – SP		276
Joaquim Nabuco – PE	Fortaleza – CE		9
Aliança - PE	Fortaleza – CE		132
Total		51	2.449

Fonte: elaboração da autora.

Como no caso das emissões foi colocada uma restrição de 2.500 milhões de litros de etanol a ser transportado utilizando a ferrovia, o modelo alocou a capacidade máxima de exploração dessa via. O etanol, que tem como destino o mercado internacional, segue de ferrovia até Paranaguá no Paraná onde a carga será embarcada.

Como ocorreu para o açúcar no cenário 1 e para o etanol na minimização das emissões desse atual cenário, o restante da carga a ser embarcada foi transportada pelo modal rodoviário.

O etanol, que tem como destino mercado internacional, saiu das usinas e foi diretamente para os portos pelo modal rodoviário. Segundo o modelo foi alocado para serem transportados dessa forma 1.854 milhões de litros desse produto. Já para o caso do mercado interno, 22.875 milhões de litros de etanol saíram das usinas e foram diretamente por rodovia para as bases de distribuição espalhadas pelos municípios brasileiros.

Assim como ocorreu no cenário 1 para o açúcar, a restrição imposta na quantidade embarcada para o etanol também apresentou resultados interessantes e importantes a serem destacados.

Quando se minimiza o custo de transporte o modal hidroviário não é selecionado para o embarque de etanol; entretanto, quando o objetivo é a minimização das emissões, esse modal é considerado e a quantidade prevista para o embarque é o limite da capacidade restrita informada ao modelo. Ou seja, o modelo sugere que 200.000 toneladas de açúcar saiam de Quirinópolis (GO) e Santa Helena (GO) pelo modal rodoviário, embarquem no terminal de transbordo hidroviário em São Simão (GO), sigam por hidrovía até Pederneiras (SP) e de lá pelo modal rodoviário até o seu destino final, que é a base de distribuição localizada no município de São Paulo.

Esse resultado demonstra que a hidrovía, por ser um pequeno emissor de CO₂, é uma alternativa viável e que possui uma demanda por carga potencial, pois o modelo alocou a quantidade limite estipulada nas premissas. Caso houvesse uma liberação nessa quantidade seria portanto de se esperar que mais etanol seja transportado por essa via.

Além disso, o modelo também determinou que fosse utilizado o limite máximo da ferrovia. Assim, o comparativo dos resultados obtidos nas duas funções objetivos para esse cenário de fluxo limitado nos transbordos intermodais demonstra que existe uma demanda reprimida para o embarque de etanol, tanto na ferrovia como na hidrovía. Uma expansão na capacidade de transporte pelos modais hidroviários e ferroviários poderia trazer benefícios tanto de cunho ambiental como econômico.

O cenário 2 utilizará as mesmas rotas de escoamento, mas a capacidade limitadora de transporte utilizando a ferrovia e a hidrovía será retirada. Como

explicitado no caso do açúcar, não limitou-se na estimativa do modelo um volume máximo de etanol a ser transportado.

O objetivo desse cenário é captar a configuração ideal para o transporte de etanol tanto em termos ambientais como econômicos, caso houvesse infraestrutura necessária para a utilização eficiente das malhas já disponíveis. Problemas estruturais como armazenagem, vagão, formação do preço do frete, diferenças de bitola, quebras de contrato e frete de retorno inibem o uso mais intenso de outros modais alternativos ao rodoviário.

Espera-se com esse cenário que o modelo expanda a sua capacidade de alocação dos fluxos e um comparativo do atual com o potencial modelo de transporte possa ser traçado.

4.2.2 Cenário 2 - Minimização das emissões e do custo para os fluxos de transporte atual sem restrição da quantidade embarcada nos terminais de transbordo e nos portos

O cenário 2 pressupõe que não existe limite na quantidade de carga passível de ser embarcada nos terminais de transbordo ferroviário e hidroviário, mas manteve-se a configuração existente dessas malhas, utilizadas para o embarque do etanol brasileiro. A Tabela 25 apresenta os principais resultados da estimativa para a minimização das emissões e a minimização do custo de transporte.

Inicialmente estimou-se a minimização das emissões de CO₂ para o etanol e o modelo apontou que com essa configuração atual de transporte e sem limite de embarque são emitidas 0,050 tCO₂ e são gastos R\$ 45,04 por m³ de etanol transportado. Ao se minimizar o custo do transporte obtém-se um gasto de R\$ 40,77/m³ e emite-se 0,055 tCO₂/m³.

Esses resultados apontam que uma redução de 10,51% nas emissões de gases de efeito estufa aumenta o custo de transporte em 10,46%; por outro lado, uma redução de 9,47% dos custos de transporte através da minimização dos mesmos aumenta as emissões de CO₂ em 11,75%.

Tabela 25 - Principais resultados da estimativa para o embarque do etanol na safra 2010/2011, no cenário 2, ou seja, sem restrição de embarque na ferrovia e na hidrovia

Função Objetivo	Minimização Emissões		Minimização Custo	
	Custo (A)	Emissões (B)	Custo (C)	Emissões (D)
Valor custo (R\$/m ³ de etanol)	45,04		40,77	
Valor emissões (tCO ₂ /m ³)		0,050		0,055
Variação dos Resultados	(A-C)/C	(B-D)/D	(C-A)/A	(D-B)/B
	10,46%	-10,54%	-9,47%	11,79%

Fonte: elaboração da autora. Nota: (A) valor do custo quando o objetivo é a minimização das emissões; (B) valor das emissões quando o objetivo é a minimização das emissões; (C) valor do custo quando o objetivo é a minimização do custo; (D) valor das emissões quando o objetivo é a minimização do custo.

Como já verificado nos cenários do açúcar, a redução das emissões ocorre a partir da elevação do custo de transporte; assim, para esse cenário 2 é possível se reduzir as emissões em 0,006 tCO₂/m³ ao custo de R\$ 4,26/m³.

A Tabela 26 apresenta as rotas intermodais entre os transbordos ferroviários e hidroviários e as quantidades transportadas de etanol em milhões de toneladas para a minimização das emissões. O etanol saiu das usinas de caminhão e chegou aos pontos de transbordo ferroviário e hidroviário, de onde se deslocou utilizando a ferrovia ou hidrovia, respectivamente, até os portos de embarque para o caso da carga ter como demanda o mercado internacional ou as bases de distribuição (para as que ficam no mercado doméstico).

Quando o objetivo da função é a minimização das emissões, 1.270 milhões de litros de etanol, que têm como destino o mercado internacional, devem ser transportados utilizando a ferrovia, sendo que os destinos são os portos de Santos em São Paulo e Paranaguá no Paraná. Além disso, do etanol que tem como destino as bases de distribuição do mercado doméstico, 10.008 milhões de litros foram alocados para a ferrovia e 818 milhões de litros à hidrovia.

A carga que tem como destino o mercado doméstico foi escoada pela ferrovia até os pontos de transbordo localizados em Paulínia/SP, Araucária/PR, Betim/MG, Fortaleza/CE, São Luís/MA e Teresina/PI e pela hidrovia Tiete Paraná de São Simão/GO até Pederneiras/SP.

Tabela 26 - Fluxo intermodal entre transbordos hidroviário e ferroviário e a quantidade escoada de etanol no cenário 2 para a minimização das emissões

Transbordo de Origem	Transbordo de Destino	Mercado	Mercado
		Externo (milhões de litros)	Interno (milhões de litros)
Ferrovias			
Chapadão do Sul – MS	Paulínia – SP		132
Jacarezinho – PR	Araucária – PR		430
Araraquara – SP	Paulínia – SP		672
Uberaba – MG	Paulínia – SP		684
Governador Valadares – MG	Betim – MG		1.939
Maringá – PR	Araucária – PR		229
Maringá – PR	Paranaguá – PR	219	
Araçatuba – SP	Paulínia – SP		509
Ourinhos – SP	Araucária – PR		262
Bauru – SP	Santos – SP	1.051	
Ribeirão Preto – SP	Paulínia – SP		1.096
São José do Rio Preto – SP	Paulínia – SP		2.329
Andradina – SP	Paulínia – SP		486
Pradópolis – SP	Paulínia – SP		332
Serrana - SP	Paulínia – SP		261
Santa Juliana – MG	Paulínia – SP		66
Joaquim Nabuco – PE	Fortaleza – CE		39
Joaquim Nabuco – PE	São Luís – MA		205
Costa Rica – MS	Paulínia – SP		233
Aliança – PE	Fortaleza – CE		101
Aliança – PE	Teresina – PI		3
Hidrovia			
São Simão – GO	Pederneiras – SP		818
Total		1.270	10.826

Fonte: elaboração da autora.

O etanol que chegou a Araucária/PR, Fortaleza/CE, São Luís/MA e Teresina/PI teve como destino as bases de distribuição localizadas nesses municípios. O etanol que chegou a Betim/MG foi alocado pelo modelo para abastecer a própria base de distribuição desse município, além de seguir para as bases localizadas em Juiz de Fora/MG e Duque de Caxias/ RJ. Algo semelhante ocorreu com o etanol que foi estabelecido para ir de ferrovia até Paulínia, pois além deste abastecer a sua própria base, parte da carga seguiu por rodovia para São Paulo e Campinas.

O etanol que foi transportado pela hidrovia chegou a Pederneiras/SP e seguiu por rodovia até as bases localizadas nos municípios paulistas de Araraquara, Ourinhos e Bauru.

Os demais fluxos de etanol com destino ao mercado doméstico e internacional foram integralmente realizados pela rodovia, ou seja, o etanol foi embarcado no caminhão no município de origem e foi descarregado diretamente no município que possui uma base de distribuição ou porto de destino. Por esse modal foram escoados para o mercado internacional 635 milhões de litros de etanol e para o mercado doméstico 14.498 milhões de litros.

A Tabela 27 apresenta as rotas intermodais entre os transbordos ferroviários e as quantidades desembarcadas em milhões de litros para a minimização do custo. O etanol, que tem como destino o mercado internacional, segue de ferrovia até o porto onde a carga será embarcada (neste caso, Santos em São Paulo e Paranaguá no Paraná).

Sem a imposição do teto para o total embarcado o modelo aloca 6.084 milhões de litros de etanol para serem embarcados utilizando intermodalidade, sendo que 84,9% desse volume têm como destino o mercado doméstico.

O etanol, que tem como destino o mercado doméstico e foi alocado pelo modelo para ser transportado pela ferrovia, acaba tendo como transbordo ferroviário de destino as bases de distribuição localizadas no mesmo município. Após a carga chegar por ferrovia, não é deslocada pela rodovia para bases de distribuição próximas como ocorre no modelo para a minimização das emissões, isto é, a carga que chega a Fortaleza/CE, São Luís/MA, Betim/MG, Araucária/PR e Paulínia/SP ficam nas respectivas bases de distribuição dos municípios. O etanol, que é transportado por hidrovia, chega a Pederneiras em São Paulo e tem como destino a base localizada no município de Bauru no mesmo estado.

O restante da carga de etanol a ser transportada foi alocado pelo modelo para o modal rodoviário, ou seja, foi carregado nas usinas e chegou ao seu destino diretamente pelas rodovias. Para o mercado internacional seguiram dessa forma até os portos 989 milhões de litros de etanol e para as microrregiões brasileiras um total de 20.157 milhões de litros.

Tabela 27 – Fluxo intermodal entre transbordos ferroviários e a quantidade escoada de etanol no cenário 2 para a minimização dos custos

Transbordos Origem	Transbordo Destino	Mercado Internacional (milhões de litros)	Mercado Doméstico (milhões de litros)
Ferrovias			
Chapadão do Sul – MS	Paulínia – SP		132
Jacarezinho – PR	Araucária – PR		242
Araraquara – SP	Paulínia – SP		469
Uberaba – MG	Paulínia – SP		223
Governador Valadares – MG	Betim – MG		82
Maringá – PR	Paranaguá – PR	219	
Araçatuba – SP	Paulínia – SP		509
Bauru – SP	Santos – SP	698	
Ribeirão Preto - SP	Paulínia – SP		1.096
São José do Rio Preto – SP	Paulínia – SP		1.367
Andradina – SP	Paulínia – SP		307
Pradópolis – SP	Paulínia – SP		332
Joaquim Nabuco – PE	Fortaleza – CE		139
Aliança – PE	Fortaleza – CE		2
Aliança – PE	São Luís – MA		130
Hidrovia			
São Simão - GO	Pederneiras – SP		140
Total		917	5.167

Fonte: elaboração da autora.

A liberação da capacidade de escoamento pelo modal ferroviário e hidroviário trouxe um incremento na movimentação usando a intermodalidade para mais de 10 milhões de litros de etanol na minimização das emissões e 5 milhões de litros na minimização dos custos.

Dos modestos 2,5 milhões de litros impostos ao modelo no cenário 1, chegou-se a 12,10 milhões de litros sem restrição de embarque. Isso demonstra que a demanda para o uso mais intensivo da ferrovia existe, mas falta infraestrutura e incentivos para tornar essa opção mais atrativa para o embarcador.

Além disso, a não imposição da quantidade a ser embarcada utilizando mais de um modal de transporte, proporcionou uma redução tanto nas emissões de CO₂ quanto nos custos, em ambas as estimativas, exceto para o custo que apresenta uma pequena elevação entre o cenário 1 e 2 quando se objetiva a minimização das emissões. A Tabela 28 apresenta as informações dessa constatação.

A utilização mais intensa da ferrovia e da hidrovia, quando se pretende minimizar as emissões de CO₂, proporciona a redução nas emissões em 0,007 tCO₂/m³, no comparativo dos dois cenários. Por outro lado, o custo de transporte eleva-se em R\$ 1,32/m³.

Ao se alterar o objetivo para a minimização do custo de transporte, é possível se obter ganho econômico e ambiental com o uso mais intenso da intermodalidade. Conforme a alocação realizada pelo modelo é possível reduzir o custo de transporte R\$ 1,00/m³ e diminuir as emissões em 0,005 tCO₂/m³.

O comparativo dos resultados do Cenário 1 com o Cenário 2 evidencia que a retirada mais intensa dos caminhões das rodovias brasileiras e o uso mais intenso da intermodalidade, podem proporcionar uma redução das emissões de gases de efeito estufa para o escoamento do etanol mesmo quando o objetivo central não é as emissões.

A procura por minimizar as emissões pode favorecer o setor sucroenergético, pois além da possibilidade de entrar com projetos no processo de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo previsto no Protocolo de Quioto, pode-se ainda participar do Mercado Voluntário de Carbono, bem como intensificar a imagem positiva do etanol no mercado internacional, conquistando certificações e o selo de produto sustentável. O etanol, que em seu ciclo já corresponde a 90% menos de emissões que a gasolina, poderia obter resultados ainda mais expressivos.

Tabela 28– Comparação entre os resultados apresentados no Cenário 1 e no Cenário 2 para o etanol em ambas estimativas – minimização das emissões e minimização dos custos de transporte

Função Objetivo	Cenário	Valor
Minimização Emissões		
	Cenário 1	Custo: R\$43,72/m ³ Emissões: 0,057 tCO ₂ /m ³
	Cenário 2	Custo: R\$45,04/m ³ Emissões: 0,050 tCO ₂ /m ³
Minimização do Custo		
	Cenário 1	Custo: R\$41,77/m ³ Emissões: 0,060 tCO ₂ /m ³
	Cenário 2	Custo: R\$40,77/m ³ Emissões: 0,055 tCO ₂ /m ³

Fonte: elaboração da autora.

Após ter sido traçado um panorama do atual cenário de transporte de etanol no país e um comparativo entre o que realmente ocorre e o potencial a ser transportado, o cenário 3 traz uma estimativa do que poderá ocorrer com o transporte de etanol na safra 2020/2021 se nada for alterado na configuração da malha ferroviária e hidroviária e os dutos não comecem a operar em larga escala.

4.2.3 Cenário 3 – Minimização das emissões e do custo para a oferta e a demanda interna e externa de etanol para a safra 2020/2021 considerando a atual infraestrutura de transporte

O cenário 3 utiliza os dados referentes à oferta e à demanda futura de etanol. Entretanto, o escoamento será realizado pela atual malha de transporte disponível. Esse cenário traçado dessa maneira tem o objetivo de verificar como ficará o escoamento da produção em 2020, caso as obras de infraestrutura o PAC I e II não estejam disponíveis para serem utilizadas. Assim, poderá se traçar um comparativo com o Cenário 4, a ser apresentado posteriormente, que considera que todas as obras de infraestrutura foram realizadas.

A Tabela 29 apresenta os principais resultados da estimativa para a minimização das emissões e a minimização do custo de transporte. A estimativa para a minimização das emissões de CO₂ apontou que, em 2020, com essa configuração atual de transporte, serão emitidos 0,064 tCO₂, e gastos R\$ 60,31 por m³ de etanol transportado. Ao se minimizar o custo do transporte, obtém-se um gasto R\$ 55,36/m³ mas emite-se 0,074 tCO₂/m³.

Tabela 29 - Principais resultados da estimativa para o embarque do etanol na safra 2020/2021, no cenário 3, ou seja as obras de infraestrutura não estão disponíveis

Função Objetivo	Minimização Emissões		Minimização Custo	
	Custo (A)	Emissões (B)	Custo (C)	Emissões (D)
Valor custo (R\$/m ³ de etanol)	60,31		55,36	
Valor emissões (tCO ₂ / m ³)		0,064		0,074
Variação dos Resultados	(A-C)/C	(B-D)/D	(C-A)/A	(D-B)/B
	8,95%	-13,81%	-8,21%	16,03%

Fonte: elaboração da autora. Nota: (A) valor do custo quando o objetivo é a minimização das emissões; (B) valor das emissões quando o objetivo é a minimização das emissões; (C) valor do custo quando o objetivo é a minimização do custo; (D) valor das emissões quando o objetivo é a minimização do custo.

Esses resultados apontam que uma redução de 13,81% nas emissões de gases de efeito estufa aumenta o custo de transporte em 8,95%; por outro lado, uma redução de 8,21% dos custos de transporte através da minimização dos mesmos aumenta as emissões de CO₂ em 16,03%. Relativamente, o impacto das emissões de CO₂ no resultado final é superior ao gerado pelo custo, dependendo do modelo de gestão para o escoamento a ser adotado, ou seja, se é priorizada a minimização dos custos ou das emissões.

A partir da minimização das emissões é possível se obter a redução de 0,01 tCO₂ por m³ de etanol, em detrimento do aumento do custo de transporte em R\$ 4,95/m³ quando se objetiva minimizar o custo.

A Tabela 30 apresenta as rotas intermodais entre os transbordos ferroviários e hidroviários e as quantidades transportadas de etanol em milhões de litros para a minimização das emissões. O etanol foi retirado das usinas e seguiu por caminhão até o transbordo ferroviário e hidroviário, onde se deslocou por esses respectivos modais até o ponto de descarregamento.

Quando o objetivo da função é a minimização das emissões, 33.917 milhões de litros de etanol que têm como destino o mercado doméstico foram alocados pelo modelo para utilizar a intermodalidade. Desse total, 30.381 milhões de litros de etanol utilizaram as linhas férreas e 3.536 milhões de litros desse produto foram escoados pelas águas. Além disso, 14.855 milhões de litros da carga que tem como destino o mercado internacional chegaram aos portos através da ferrovia.

A carga que tem como destino o mercado internacional seguiu por ferrovia até chegar aos pontos de transbordos localizados nos portos de Paranaguá no Paraná, Santos em São Paulo. Uma parte da carga que tem como destino o transbordo ferroviário de Paulínia seguiu de caminhão para o porto de Santos.

O etanol que tem o Brasil como mercado consumidor e foi alocado para ser transportado por ferrovia e pela hidrovia chegou aos pontos de transbordo e foi escoada pela rodovia para as bases de distribuição espalhadas em municípios próximos ao ponto onde a mudança de modal foi realizada.

A carga que chegou a Araucária no Paraná, além de abastecer a própria base de distribuição, enviou etanol através da rodovia para mais treze bases de distribuição localizadas no próprio Estado e em Santa Catarina.

O produto que desembarcou no transbordo ferroviário localizado em Canoas no Rio Grande do Sul abasteceu a base de distribuição desse município e mais três bases localizadas também na Região Metropolitana de Porto Alegre.

Após chegar ao transbordo ferroviário de Paulínia o etanol abasteceu a base de distribuição localizada nesse município e através do modal rodoviário a carga foi levada para mais onze bases espalhadas em municípios do Estado de São Paulo.

Uma parte da carga que chegou a Santos, segundo os resultados apontados pelo modelo, tem como intuito abastecer o mercado interno e por isso, foi alocada para ir por rodovia até a base de distribuição localizada em Cubatão. O restante do etanol que foi transportado pela ferrovia teve como destino as bases de distribuição localizadas no próprio município do transbordo ferroviário.

Tabela 30 – Fluxo intermodal entre transbordos hidroviário e ferroviário e a quantidade escoada de etanol no cenário 3 para o cenário de minimização das emissões

		(continua)	
Transbordo de Origem	Transbordo de Destino	Mercado Externo (milhões de litros)	Mercado Interno (milhões de litros)
Ferrovias			
Santa Juliana - MG	Betim – MG		2.402
Uberaba – MG	Tubarão – SC		3
Uberaba – MG	Paulínia – SP	130	2.584
Andradina – SP	Paulínia – SP		2.228
Araçatuba – SP	Paulínia – SP		1.432
Araraquara – SP	Paulínia – SP		970
Ourinhos – SP	Araucária – PR		1.568
Ourinhos – SP	Santa Maria – RS		4
Ourinhos – SP	Rio Grande – RS		53
Ourinhos - SP	Canoas – RS		960
Ourinhos – SP	Ijuí – RS		68
Ourinhos – SP	Cruz Alta – RS		8
Ourinhos – SP	Passo Fundo – RS		78
Pradópolis – SP	Paulínia – SP		2.230
Ribeirão Preto – SP	Paulínia – SP		3.793
Serrana – SP	Paulínia – SP		434
Jacarezinho – PR	Araucária – PR		741
Maringá – PR	Araucária – PR		946
Maringá – PR	Paranaguá – PR	9.103	0
Chapadão do Sul – MS	Paulínia – SP	1	1.283
Londrina – PR	Araucária – PR		5
Bauru – SP	Santos – SP	5.608	484
São José do Rio Preto – SP	Paulínia – SP	13	4.619
Costa Rica – MS	Paulínia – SP		3.006
Codó – MA	São Luís – MA		481
Hidrovia			
São Simão – GO	Pederneiras – SP		3.527

Tabela 30 – Fluxo intermodal entre transbordos hidroviário e ferroviário e a quantidade escoada de etanol no cenário 3 para o cenário de minimização das emissões

		(conclusão)	
Transbordo de Origem	Transbordo de Destino	Mercado Externo (milhões de litros)	Mercado Interno (milhões de litros)
Porto Velho - RO	Santarém – PA		10
Total		14.855	33.917

Fonte: elaborado pela autora.

O produto derivado da cana-de-açúcar que foi alocado para seguir parte do seu trajeto pela hidrovía do Madeira (Porto Velho a Santarém) e pela hidrovía Tietê – Paraná (São Simão a Pederneiras) chegou a Santarém para abastecer a base localizada nessa cidade e a Pederneiras onde foi escoada pela rodovia para três bases de distribuição paulistas localizadas próximas a esse transbordo.

Os demais fluxos de etanol com destino ao mercado doméstico e internacional foram integralmente realizados pela rodovia, ou seja, o produto foi embarcado no caminhão no município de origem e foi descarregado diretamente na base de distribuição ou porto de destino. Por esse modal, foram escoados para o mercado internacional 145 milhões de litros de etanol e para o mercado doméstico 25.583 milhões de litros.

A Tabela 31 apresenta as rotas intermodais entre os transbordos ferroviários e as quantidades transportadas em milhões de litros para a minimização do custo. O etanol, que tem como destino o mercado internacional, segue de ferrovia até o porto onde a carga será embarcada, neste caso, Santos em São Paulo e Paranaguá no Paraná.

Para a oferta e demanda projetada para 2020/2021 o modelo apresenta como resultado que 14.473 milhões de litros de etanol com destino ao mercado externo sejam escoados por ferrovia e 14.095 que têm como destino o mercado interno sejam transportados por ferrovia e hidrovía (13.223 e 872 milhões de litros, respectivamente).

O etanol que tem como destino o mercado doméstico e, conforme os resultados do modelo foi alocado para ser transportado por ferrovia, chega aos pontos de transbordo para abastecer as bases de distribuição localizadas nesses municípios.

Assim, não ocorre deslocamento desse etanol, em distâncias rodoviárias curtas, como apontou o modelo para o caso da minimização das emissões.

O etanol que chega de comboio hidroviário a Pederneiras segue pelo modal rodoviário para abastecer a base de distribuição localizada na cidade paulista de Bauru.

Tabela 31 – Fluxo intermodal entre transbordos ferroviários e a quantidade escoada de etanol no cenário 3 para a minimização dos custos

Transbordos Origem	Transbordo Destino	Mercado Internacional (milhões de litros)	Mercado Doméstico (milhões de litros)
Ferrovias			
Joaquim Nabuco – PE	Fortaleza – CE		35
Santa Juliana – MG	Betim – MG		645
Santa Juliana – MG	Tubarão – SC		3
Uberaba – MG	Paulínia – SP		1.545
Andradina – SP	Paulínia – SP		718
Araçatuba – SP	Paulínia – SP		887
Araraquara – SP	Paulínia – SP		157
Pradópolis – SP	Paulínia – SP		1.248
Ribeirão Preto – SP	Paulínia - SP		2.193
Serrana – SP	Paulínia – SP		434
Jacarezinho – PR	Araucária – PR		916
Maringá – PR	Paranaguá – PR	8.355	
Chapadão do Sul – MS	Paulínia – PR		1.066
Londrina – PR	Araucária – PR		1.355
Bauru – SP	Santos – SP	6.118	
São José do Rio Preto – SP	Paulínia – SP		1.722
Costa Rica – MS	Paulínia – SP		299
Hidrovia			
São Simão – GO	Pederneiras – SP		872
Total		14.473	14.095

Fonte: elaboração da autora.

O restante do etanol a ser ofertado e demandado pelo mercado doméstico e internacional foi alocado pelo modelo para ser escoado pelo modal rodoviário, ou seja, foi embarcado nas usinas e chegou ao seu destino diretamente pelas rodovias. Para o mercado externo seguiram dessa forma até os portos 527 milhões de litros e para as bases de distribuição brasileiras 45.405 milhões de litros.

Como ocorreu no caso do açúcar, a expansão da quantidade de etanol a ser transportada trouxe uma exploração maior das hidrovias, sendo que além da hidrovia Tietê-Paraná, o modelo alocou fluxos para a hidrovia do Madeira, para o modelo que leva em consideração as emissões.

A diferença nas estimativas é que quando se prioriza as emissões a quantidade de etanol que utiliza os comboios hidroviários para se deslocar ultrapassa em mais de três vezes a quantidade alocada quando o objetivo central é o custo. Esse fato pode ser explicado pela quantidade de carga a ser transportada pela rodovia, posteriormente. Como descrito anteriormente, os custos fixos apresentados pelo modal rodoviário poderiam encarecer o transporte para uma quantidade mais expressiva de etanol.

Esse fato também é verificado nos resultados para a ferrovia no modelo que prioriza os custos, pois após a carga chegar ao transbordo de destino não foi realizado deslocamento de etanol para municípios vizinhos, ou seja, os fluxos foram planejados de forma tal que as rotas curtas que encarecem o custo de transporte não fossem utilizadas.

O melhor aproveitamento logístico para o transporte de etanol ocorreria com a expansão da infraestrutura de transporte prevista para ser realizada pelos Planos de Aceleração do Crescimento I e II, iniciativa privada e governo federal. Dessa forma, o cenário 4 trará uma estimativa para a qual considera-se que todas as obras estão prontas e disponíveis para serem utilizadas.

Pretende-se, dessa forma, traçar um comparativo com o cenário 3 e verificar se a partir desse novo traçado é possível reduzir os custos ambientais e econômicos observados com o escoamento do etanol.

4.2.4 Cenário 4 - Minimização das emissões e do custo para os fluxos de transporte considerando a utilização de todas as obras de infraestrutura previstas no PAC I e PAC II

Como já descrito na apresentação do cenário 4 para o açúcar, este pressupõe que todas as obras de infraestrutura previstas pela iniciativa privada, pelo governo federal e as inseridas no PAC para ferrovia, hidrovía e dutovia estão prontas e disponíveis para serem utilizadas no escoamento da produção de etanol.

A estimativa levará em consideração a produção e a demanda projetada para a safra 2020/2021 e um comparativo com o cenário 3 será traçado. Espera-se que com a inserção de mais vias para escoamento, diminua o custo logístico e ambiental para o transporte desse produto. A Tabela 32 apresenta os principais resultados da estimativa para a minimização das emissões e a minimização do custo de transporte.

Tabela 32 - Principais resultados da estimativa para o etanol na safra 2020/2021, no cenário 4, ou seja, com todas as obras de infraestrutura disponíveis

Função Objetivo	Minimização Emissões		Minimização Custo	
	Custo (A)	Emissões (B)	Custo (C)	Emissões (D)
Valor custo (R\$/m ³ de etanol)	51,10		45,04	
Valor emissões (tCO ₂ / m ³)		0,038		0,040
Variação dos Resultados	(A-C)/C	(B-D)/D	(C-A)/A	(D-B)/B
	13,45%	-23,05%	-11,85%	29,96%

Fonte: elaboração da autora. Nota: (A) valor do custo quando o objetivo é a minimização das emissões; (B) valor das emissões quando o objetivo é a minimização das emissões; (C) valor do custo quando o objetivo é a minimização do custo; (D) valor das emissões quando o objetivo é a minimização do custo.

Inicialmente, estimou-se a minimização das emissões de CO₂ para o etanol e esse apontou que, se todas as obras do PAC I e do PAC II estivessem prontas e sendo utilizadas para o escoamento da produção na safra 2020/2021, seriam emitidas 0,038tCO₂ e gastos R\$ 51,10 por m³ de etanol transportado. Para o caso do objetivo ser a minimização do custo de transporte, seriam gastos R\$ 45,04/m³ e emitidas 0,040 tCO₂/m³.

Esses resultados apontam que uma redução de 23,05% nas emissões de gases de efeito estufa aumenta o custo de transporte em 13,45%; por outro lado, uma redução de 11,85% nos custos de transporte através da minimização dos mesmos aumenta as emissões de CO₂ em 29,96%.

Quando se tem por objetivo a minimização das emissões é possível obter a redução de 0,002tCO₂/m³ com o escoamento da produção de etanol, em detrimento ao aumento do custo de transporte em R\$ 6,06/m³.

Os resultados obtidos nas estimativas dos cenários evidenciou a possibilidade da participação em projetos vinculados ao MDL e ao mercado voluntário de carbono, ajudar o país a conquistar suas metas voluntárias de redução das emissões e possibilitar a conquista de novos mercados consumidores que buscam escolher produtos com certificação de sustentabilidade.

Ademais, não se pode deixar de reportar novamente que o fato dos fretes praticados nos diferentes modais não apresentar um claro sistema de formação de preço competitivo impede que os modais apresentem os valores factíveis para serem praticados no mercado. Isso eleva o custo e pode gerar aumentos nos gastos quando se prioriza a utilização de modais menos poluentes.

A Tabela III.A¹⁴ apresentada no Anexo A descreve as rotas intermodais entre os transbordos ferroviários e dutoviários e as quantidades transportadas de etanol em milhões de litros toneladas para a minimização das emissões.

O etanol saiu das usinas através do modal rodoviário e chegou aos pontos de transbordo ferroviário e dutoviário, onde a carga foi escoada por esses modais até um ponto de transbordo destino. Para o mercado doméstico o modelo alocou 43.123 milhões de litros e para o mercado internacional 14.856 milhões de litros, ou seja, 57.981 milhões de litros de etanol são determinados para serem transportados utilizando mais de um modal de transporte.

O etanol que tem como destino o mercado externo foi alocado de uma forma que quase toda a carga chegue a Santos através de dutos. Segundo o modelo, 14.483 milhões de litros desse produto irão sair de Uberaba/MG, Senador Canedo/GO, Paulínia/SP, Anhembi/SP e Ribeirão Preto/SP e ser descarregado diretamente no porto santista. O restante do etanol designado para ser transportado por linhas férreas, 373 milhões de litros, serão transportados para o porto Paranaguá no Paraná e Recife em Pernambuco.

O etanol que ficará no mercado interno e foi alocado pelo modelo para usar a intermodalidade também seguirá por dutos e ferrovia contabilizando, respectivamente, 4.427 milhões de litros e 38.697 milhões de litros.

A dutovia é utilizada para o etanol abastecer a base de distribuição localizada em Paulínia no interior do Estado de São Paulo. Conforme a Tabela III.A no Anexo A, a carga que chega a esse município tem como origem os pontos de

¹⁴A Tabela foi inserida no Anexo, pois o modelo alocou 91 rotas intermodais para o escoamento do açúcar quando o objetivo é a minimização das emissões.

transbordos dutoviários localizados em Ribeirão Preto em São Paulo e Senador Canedo em Goiás.

A ferrovia foi utilizada para o transporte desse produto e desembarcou em trinta e sete pontos ferroviários distintos espalhados pelo país e abastecendo setenta e duas bases de distribuição. Ressalta-se que desse total, trinta e cinco bases estão localizadas nos municípios que são os transbordos ferroviários destino da carga.

Os demais fluxos de etanol com destino ao mercado doméstico e internacional foram integralmente realizados pela rodovia, ou seja, o produto foi embarcado no caminhão no município de origem e foi descarregado diretamente na base de distribuição ou no porto, dependendo da sua finalidade. Por esse modal foram escoados para o mercado internacional 144 milhões de litros de etanol e para o mercado doméstico 16.376 milhões de litros.

Ao se minimizar o custo de transporte o modelo aloca o etanol que utilizará a intermodalidade em seu escoamento conforme a Tabela IV.A¹⁵ localizada no Anexo A. Foi estipulado pelo modelo que para o mercado internacional 14.856 milhões de litros de etanol fossem transportados pelo modal ferroviário e para o mercado doméstico 27.716 milhões de litros pelo modal ferroviário e dutoviário, sendo 25.654 milhões de litros pelo primeiro e 2.062 milhões de litros pelo segundo.

O etanol com destino ao mercado internacional e que utiliza as ferrovias como opção de transporte, deve sair do país através dos portos de Recife em Pernambuco, Paranaguá no Paraná e Santos em São Paulo.

O produto que tem como objetivo abastecer o mercado doméstico chegou através das ferrovias em trinta pontos de transbordo ferroviário e foi escoado para quarenta e duas bases de distribuição, sendo que dessas vinte nove se localizam nos municípios onde a carga chegou pelos transbordos ferroviários.

O restante do etanol foi alocado pelo modelo para o modal rodoviário, ou seja, foi carregado nas usinas e chegou ao seu destino diretamente pelas rodovias. Para o mercado internacional seguiram dessa forma até os portos 144 milhões de litros de etanol e para as bases de distribuição que abastecem o mercado interno 31.784 milhões de litros.

O etanol que foi alocado para seguir por rodovia em ambas as estimativas desse cenário percorreu distâncias que o fizeram abastecer o mercado interno do próprio

¹⁵A Tabela foi inserida no Anexo, pois o modelo alocou 85 rotas intermodais para o escoamento do açúcar quando o objetivo é a minimização do custo.

estado de origem da produção ou estados de destino próximos a essas origens. Não se observou o deslocamento de longas distâncias como de fato ocorre, atualmente na prática. Dessa forma, pode-se observar que o modelo em sua estimativa libera o fluxo de cargas para as rodovias em rotas ou trechos que não possuem uma alternativa intermodal viável para a minimização dos custos e/ou das emissões.

A Tabela 33 apresenta um comparativo entre os principais resultados apresentados pelo Cenário 3 e 4. A possibilidade de se utilizar uma maior quantidade de vias intermodais para o escoamento da produção do etanol proporcionou uma queda de R\$ 9,21/m³ na minimização das emissões e R\$ 10,32/m³ na minimização dos custos. Quando se considera como ponto chave as emissões foi possível reduzir em 0,026 tCO₂/m³; de outra forma, tem-se a redução de 0,034 tCO₂/m³ quando se minimiza os custos, ou seja, o ganho ambiental é evidente.

Cabe destacar também que o fato de não se alterar os fretes relativos entre os modais de transporte, pode ter inibido o deslocamento ainda maior das rotas rodoviárias para a intermodalidade, principalmente quando o objetivo é a minimização dos custos. Os possíveis ganhos de competitividade advindos das melhorias na infraestrutura podem intensificar ainda mais os resultados apontados pelo modelo.

Tabela 33-Comparação entre os resultados apresentados no Cenário 3 e no Cenário 4 para ambas estimativas – minimização das emissões e minimização dos custos de transporte

Função Objetivo	Cenário	Valor
Minimização Emissões	Cenário 3	Custo: R\$60,31/m ³ Emissões: 0,064 tCO ₂ /m ³
	Cenário 4	Custo: R\$51,10 m ³ Emissões: 0,038 tCO ₂ /m ³
	Cenário 3	Custo: R\$55,36 m ³ Emissões: 0,074 tCO ₂ /m ³
	Cenário 4	Custo: R\$45,04 m ³ Emissões: 0,040 tCO ₂ /m ³
Minimização do Custo		

Fonte: elaboração da autora.

Além da possibilidade de se conquistar créditos de carbono e comercializá-los no mercado, os produtores de açúcar e etanol poderão conquistar novos mercados consumidores, pelo fato dos derivados da cana-de-açúcar ser escoado de uma forma sustentável, buscando sempre o equilíbrio entre o abastecimento e o meio-ambiente.

O etanol que em todo o seu ciclo consegue economizar até 90% das emissões de CO₂ e é internacionalmente reconhecido como um combustível avançado. Nos EUA o etanol brasileiro recebe um prêmio por possuir uma capacidade de mitigação maior que o etanol de milho por eles produzido. A possibilidade de se reduzir ainda mais as emissões no ciclo produtivo do derivado da cana-de-açúcar poderão incrementar ainda mais o valor desse prêmio pago, bem como a conquista de novos mercados consumidores.

Outro ponto favorável à adoção de práticas sustentáveis e à exploração mais intensa da utilização de modais menos poluentes é a possibilidade de se contribuir para que o Brasil cumpra suas metas voluntárias de redução das emissões de gases de efeito estufa.

A economia tanto de emissão de CO₂ como em termos monetários, geradas a partir da expansão da malha férrea, aquática e dutoviária poderão determinar em menos de 3 anos um incremento de aproximadamente 5,5 milhões de toneladas de CO₂ e 2,2 bilhões de reais, respectivamente, para o escoamento de 74,5 milhões de m³ de etanol.

Ao se agregarmos os valores obtidos para o açúcar será possível se atingir a meta em 3 anos de 6,6 milhões de toneladas de CO₂ e R\$ 3,3 bilhões. Em termos monetários esta seria uma economia com a logística que teria como ponto direto uma melhoria na competitividade dos produtos, sem levar em consideração os benefícios que um transporte mais sustentável traria para a sociedade e para a imagem do setor.

Além disso, a redução das emissões prevista pelo setor sucroenergético para 2020 é de 112 milhões de toneladas. A mitigação anual de 2,2 milhões de toneladas de CO₂ obtida a partir da transferência de modalidade para o escoamento de açúcar e do etanol equivaleriam a quase 2% dessa meta.

É importante destacar que a produção de quase 26,4 bilhões de litros de etanol na safra 2010/2011 gastou e emitiu em média, considerando as duas funções

objetivo e total embarcado nos transbordos intermodais, R\$ 1,16 bilhões e 1,6 milhões de toneladas de CO₂.

Para a safra 2020/2021 espera-se que sejam transportados quase três vezes mais carga de etanol, totalizando 74,5 bilhões de litros. Caso as obras não estejam aptas de serem utilizadas, mas não houver restrições de uso da intermodalidade, a quantidade de emissões e gastos previstos pelo modelo, em média, para ambos os casos de minimização, ficará em torno de 5,1 milhões de toneladas de CO₂ e R\$ 4,3 bilhões ou seja, a carga a ser escoada aumenta em quase três vezes, mas o custo e as emissões em quase cinco e quatro vezes, respectivamente.

Em contrapartida, caso todas as obras do PAC I e II fiquem em plenas condições de uso para exploração, o modelo aloca as rotas de maneira que na média emita-se e gaste-se algo em torno de 3,3 milhões de toneladas de CO₂ e R\$ 3,6 bilhões, ou seja, o custo e as emissões aumentam quase que na mesma proporção da quantidade embarcada. A proporção desses valores (emissão e custo) em tonelada transportada, em ambas as safras, seriam praticamente os mesmos.

Diferentemente do açúcar, em que a expansão das obras do PAC proporcionou uma redução das emissões totais em 2020/2021 comparativamente ao atual cenário, verificou-se uma elevação nesse total para o etanol. Este fato pode ser explicado pelo fato de apenas 20% da produção projetada para essa safra ser escoada para os portos. Como 80% desta carga fica no mercado interno, por mais que o modelo agregue as rotas de forma a maximizar as emissões e/ou custo logístico, os deslocamentos pelo modal rodoviário terão que ser utilizados, ou em curtas distâncias como alocado pelo modelo de emissões após deslocar pela ferrovia, ou em trajetos ferroviários mais condensados como no caso dos custos.

Os resultados encontrados em ambos os produtos do setor sucroenergético apontam que a melhoria na infraestrutura de transporte no país é um ponto importante para redução dos custos incorridos na comercialização do açúcar e do etanol, além dos benefícios gerados nas questões ambientais. Entretanto, deve ser evidenciado que não basta, apenas, as obras ficarem prontas, é necessário que haja incentivos ao embarcador para o uso de modais alternativos ao rodoviário.

Além da infraestrutura estar disponível para ser utilizada é indispensável que sejam adotadas medidas que tragam segurança para que os embarcadores optem por esse tipo de transporte. É preciso ainda que sejam resolvidos problemas mais

estruturais como os de diferença de bitola, falta de vagões para o embarque e direito de passagem entre as concessionárias das linhas férreas.

Não se pode desconsiderar também que os valores dos fretes relativos entre os modais de transporte respeitem as suas especificidades e sejam competitivos com a realidade do mercado, além possibilitar que os produtores e compradores tenham segurança de que a carga chegará ao seu destino sem extravios e nos prazos estipulados. Sem a melhoria desses fatores não haverá ampliação da malha intermodal que fará com que seu uso se torne mais intenso.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Desde o início da década de noventa, o mundo tem intensificado a discussão em torno do aquecimento global e as suas consequências para a atmosfera e a qualidade de vida no planeta. O tema sustentabilidade tornou-se corriqueiro nos encontros e reuniões entre os líderes mundiais e anualmente ocorre a Conferência das Partes (COP) onde os países realizam discussões para determinar metas de redução das emissões e possíveis procedimentos para tentar mitigar os seus efeitos.

Na COP realizada no ano de 2007 foi assinado o Protocolo de Quioto que dividiu o planeta em dois blocos, os países do Anexo I e os não-Anexo I. Foram estabelecidos três mecanismos de mitigação das emissões, sendo que para as economias de transição, na qual o Brasil se insere, estabeleceu-se o processo de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. Os países pertencentes ao bloco dos anexos poderiam comprar créditos de carbono a partir dos projetos apresentados pelos países que foram classificados como de transição.

Dentre os vilões das emissões de gases de efeito estufa que ocasionam o efeito do aquecimento global encontra-se o dióxido de carbono (CO₂), que é um dos componentes das emissões geradas pelo setor de transporte. No Brasil, esse setor é o segundo maior consumidor de energia, atrás apenas da indústria.

Dentre os modais que compõem o setor de transporte, o rodoviário é o que apresenta a maior participação nas emissões de gases de efeito estufa, principalmente porque é muito dependente de combustíveis fósseis (gasolina e diesel).

A relevância do setor sucroenergético para a economia do país é indiscutível, pois os seus dois principais produtos, açúcar e etanol, em 2010 geraram 50 bilhões de reais em receita e quase 14 milhões de dólares em divisas internacionais. O açúcar, separadamente, é o principal produto da pauta e considerando os complexos agroindustriais fica apenas atrás da soja. O país exporta 70% da sua produção e abastece, aproximadamente, 53% do mercado mundial de açúcar. As projeções mais conservadoras mantêm essa mesma proporção para a safra 2020/2021, o que corresponde a uma exportação da ordem de 36,4 milhões de toneladas.

A produção de etanol tomou um novo fôlego após o lançamento dos carros flex em 2003 e hoje já participa com 45% do total de combustível consumido no Ciclo Otto. Espera-se que essa frota atinja 86% do total e a demanda pelo combustível renovável atinja quase 60 bilhões de litros. Isso sem considerar o mercado externo que

possui programas de incentivo ao uso de etanol de cana-de-açúcar. Apenas o programa RFS americano estipula um consumo de 13,2 bilhões de litros para o ano 2020.

Dada essa importância e o volume de produção a ser comercializado, o setor de transporte se revela como um importante segmento que pode aumentar ou diminuir a competitividade dos produtos dependendo de como o seu escoamento é praticado e, paralelamente, emitir elevada quantidade de CO₂, pois a maior parte da carga é muito dependente do modal rodoviário.

Em 2010, de toda a produção escoada, aproximadamente 18% do açúcar e 9% do etanol utilizaram as ferrovias para atingir o seu mercado consumidor. Esse baixo consumo das vias menos poluentes eleva a quantidade de dióxido de carbono emitido pelo setor. A priorização pela utilização de modais menos poluentes poderia gerar uma redução das emissões de dióxido de carbono na atmosfera e, paralelamente, reduzir o custo de transporte.

A possibilidade de o produto se tornar mais sustentável pode gerar projetos que poderiam compor o processo de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, participação nos Mercados Voluntários de Carbono, obter certificações de produto sustentável e contribuir para que o país atinja as suas metas voluntárias de mitigação das emissões.

Considerando esses fatores, esta tese procurou estimar o impacto nas emissões de CO₂ a partir da utilização da intermodalidade para os produtos derivados da cana-de-açúcar. Paralelamente, foi estimado o custo de transporte para o caso da priorização da questão ambiental e o quanto a minimização do frete afeta as emissões desse setor no deslocamento dos seus produtos.

Para atingir esses objetivos foram traçados quatro cenários para cada um dos produtos, sendo que no primeiro fez-se um panorama da situação atual de transporte, com restrição na quantidade embarcada em 2010. No segundo retirou-se essa restrição para se verificar o potencial da captação de carga para a intermodalidade. O intuito desse cenário é captar a distribuição das rotas que poderiam ser empregadas no país caso não houvesse problemas estruturais e de infraestrutura que impede o seu uso mais intenso na atualidade. No terceiro foi considerada a quantidade de açúcar e etanol estimada para a safra 2020/2021, mas sendo escoadas na atual malha de transporte, com o intuito de se verificar o impacto caso as obras de infraestrutura previstas não fiquem prontas. E no último cenário tirou-se essa restrição da malha e assumiu-se que todas as malhas ferroviárias, dutoviárias e hidroviárias estivessem prontas para serem utilizadas.

A priorização da redução das emissões de CO₂, não necessariamente implica que o modelo busque a composição de rotas que possibilitem a minimização dos custos. Da mesma maneira, a potencialização da redução do custo não garante uma alocação mais eficiente do transporte, considerando suas emissões.

Essa característica foi evidente nos quatro cenários para os dois produtos. A redução das emissões de CO₂ ocorreu em detrimento da elevação no custo de transporte. Quando o modelo se preocupa com as emissões, a carga é concentrada nos modais menos poluentes e, posteriormente, é distribuída para os mercados consumidores que observam distâncias curtas, em relação ao transbordo intermodal de destino.

Apesar de poluir menos, esses trechos curtos estão associados a valores de fretes relativos maiores em função dos custos fixos envolvidos. Além disso, a utilização mais intensa da intermodalidade pode aumentar a distância percorrida, gerando um acréscimo no custo de transporte.

Além disso, a fixação dos fretes relativos entre os modais de transporte pode ter inibido ainda mais uma distribuição no uso da intermodalidade. Como a estimativa de uma aumento de competitividade entre os modais através de uma alteração dos preços praticados fugiria do escopo do trabalho e seria realizada de maneira involuntário, optou-se por mantê-los na mesma proporção em todos os cenários.

Entretanto, o ponto chave da discussão é o comparativo entre os cenários, onde é possível verificar qual o impacto da liberação da utilização de uma maior quantidade de carga e da utilização de uma malha com maior quilometragem e pontos de transbordo.

A economia tanto de CO₂ como em termos monetários geradas a partir da expansão da malha férrea e hidroviária proporciona em menos de 3 anos um incremento nos ganhos ambientais e econômicos de aproximadamente 1,1 milhão de toneladas de CO₂ e R\$ 1,1 bilhão apenas para o escoamento do açúcar, respectivamente, considerando a carga de 49,4 milhões de toneladas a ser transportada na safra 2020/2021.

No caso do etanol a questão da concentração das cargas e distribuição para curtas distâncias se torna ainda mais relevante pelo fato de mais de 90% da carga ficar no mercado interno e ter as bases de distribuição como ponto de destino. Quando se minimiza as emissões, o modelo aloca o descarregamento da carga em um

determinado ponto de transbordo e desse é deslocada para outros centros localizados em municípios vizinhos. No entanto, quando se minimiza o custo, o modelo aloca o etanol de uma forma que, em geral, ele fique na base de distribuição localizada no mesmo município de descarregamento.

Para a safra 2020/2021, a possibilidade de se utilizar as obras de infraestrutura previstas pelo governo federal e pela iniciativa privada pode gerar em menos de 3 anos um incremento no ganho ambiental e econômico de aproximadamente 5,5 milhões de toneladas de CO₂ e de R\$ 2,2 bilhões, respectivamente, para o escoamento do etanol.

Os dois principais produtos do setor sucroenergético poderão assim contribuir com a redução de 6,6 milhões de toneladas de CO₂ no curto espaço de 3 anos, além de reduzir os custos dos transportes em R\$ 3,3 bilhões nesse mesmo período.

A redução das emissões prevista pelo setor sucroenergético para 2020 é de 112 milhões de toneladas. A mitigação anual de 2,2 milhões de toneladas de CO₂ obtida a partir da transferência de modalidade para o escoamento de açúcar e do etanol equivaleriam a quase 2% dessa meta. Esses valores corroboram a importância da utilização de uma malha de transporte mais limpa e equilibrada e como o setor sucroenergético pode contribuir ainda mais com isso, considerando que dentre os seus princípios já possui as iniciativas limpas e sustentáveis como principal destaque.

Em seu ciclo de produção, o etanol consegue reduzir em até 90% suas emissões quando comparado a gasolina que é seu principal concorrente e recebe prêmio ao ser comercializado no mercado internacional, pela sua capacidade de mitigação quando comparado ao etanol fabricado de milho.

A possibilidade de redução das emissões através da mudança de modalidade de transporte está inserida no Protocolo de Quioto e é classificada como AM0090. Os agentes do setor sucroenergético podem enviar projetos dessa natureza para no Mercado de Desenvolvimento Limpo. Além disso, podem participar do Mercado Voluntário de Carbono e intensificar a imagem positiva do setor no mercado internacional, conquistando certificações e o selo de produto sustentável.

Os resultados encontrados nesse trabalho apontam que a melhoria na infraestrutura de transporte no país é um ponto importante para redução dos custos incorridos na comercialização do açúcar e do etanol, além dos benefícios gerados nas questões ambientais. Entretanto, deve ser evidenciado que não basta, apenas, as obras

ficarem prontas, é necessário que haja incentivos ao embarcador para o uso de modais alternativos ao rodoviário.

A disponibilidade para o uso da infraestrutura é apenas um ponto dentro de todo o sistema logístico apresentado pelo Brasil. Além de se verificar as possíveis rotas a serem utilizadas, o embarcador considera questões de ordem mais pontuais como *transit time*, garantias de recebimento, extravios, cumprimento de contratos, disponibilidade de transporte e preços competitivos e de ordem estrutural como diferença de bitola, falta de vagões para o embarque e direito de passagem entre as concessionárias das linhas férreas. Sem a solução desses quesitos não há expansão de infraestrutura que torne a matriz de transporte nacional mais sustentável.

A decisão do embarcador leva em consideração todos esses quesitos apontados. Cabe aos governantes, concessionárias e autoridades do setor definir o caminho ao qual ele deve caminhar. Que o uso mais intenso da intermodalidade só traz benefícios é evidente e comprovado, o que é necessário é torná-lo uma alternativa viável de uma forma que o seu uso se torne corriqueiro e habitual.

Os resultados apontados por este trabalho levam em conta a decisão de apenas um agente de mercado. Nesse sentido, recomenda-se que configurações regionais sejam realizadas para estudos mais específicos. Trabalhos que procurem detalhar as especificidades da malha de transporte de cada região podem gerar benefícios econômicos e ambientais, ainda mais abrangentes para a nação brasileira.

REFERÊNCIAS

ACKERMAN, F.; STANTON, E.A. **Climate risks and carbon prices: revising the social cost of carbon**. Somerville: Stockholm Environment Institute, 2011. 25p.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTE AQUAVIÁRIO. **Estatística da navegação interior - 2010**. Brasília, 2011a. 109p.

_____. **Transporte de carga na hidrovia do rio Madeira- 2010**. Brasília, 2011b. 12p.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTE TERRESTRE. **Números do setor**. Brasília, 2004. 46p.

_____. **América Latina logística - Malha Paulista**. Disponível em:
<http://www.antt.gov.br/relatorios/ferroviario/concessionarias2009/3_ALLMP2009.pdf>. Acesso em: 01 jul.2010a.

_____. **América Latina logística - Malha Sul**. Disponível em:
<http://www.antt.gov.br/relatorios/ferroviario/concessionarias2009/4_ALLMS2009.pdf>. Acesso em: 01 jul.2010b.

_____. **Concessões ferroviárias**. Disponível em:
<<http://www.antt.gov.br/concessaofer/apresentacaofer.asp>>. Acesso em: 29 jun.2010c.

_____. **Ferrovias Centro-Atlântica**. Disponível em:
<http://www.antt.gov.br/relatorios/ferroviario/concessionarias2009/7_FCA2009.pdf>. Acesso em: 30 jun.2010d.

_____. **MRS logística**. Disponível em:
<http://www.antt.gov.br/relatorios/ferroviario/concessionarias2009/11_MRS2009.pdf>. Acesso em: 30 jun.2010e.

_____. **Simulador tarifário**. Disponível em:
<<http://www.antt.gov.br/concessaofer/concessionariasfer.asp>>. Acesso em: 01 out. 2010f.

_____. **Evolução do transporte ferroviário** Disponível em:
<<http://www.antt.gov.br/relatorios/ferroviario/concessionarias2010/index.asp>>. Acesso em: 20 nov. 2011.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. **Dados estatísticos**. Disponível em:
<www.anp.gov.br>. Acesso em: 15 ago. 2011.

ANGELO, L.B. **Custos logísticos de transferência de produtos: estudos realizados**. Florianópolis: Gelog, 2005. 19p.

BANCO MUNDIAL. **Estudo de baixo carbono para o Brasil**. Washington, 2010. 32p.

BARBOSA, M.M.R.C. **O sistema hidroviário nacional: potencialidades e perspectivas**. Brasília: ANTAQ, 2007. 62 diapositivos: color.

BARTHOLOMEU, D.B. **Quantificação dos impactos econômicos e ambientais decorrentes do estado de conservação das rodovias brasileiras**. 2006. 165p. Tese: (Doutorado em Economia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

BAUER, J.; BEKTAS, T.; CRAINIC, T.G. **Minimizing greenhouse gas emissions in intermodal freight transport**: an application to rail service design. Québec: Cirretel, 2009. 26p. Disponível em: <<https://www.cirrelt.ca/DocumentsTravail/CIRRELT-2009-44.pdf>>. Acesso em: 27 dez. 2010.

BOLSA DE MERCADORIAS E FUTUROS; FINACIADORA DE ESTUDOS E PROJETOS; BANCO MUNDIAL. **Levantamento de oportunidades concretas de projetos de baixo carbono no Brasil**. Brasília, 2011. 242p.

BRANCO, J.E.H. **Estimativa de demanda de carga captavel pela estrada de ferro Norte-Sul**. 2007. 160 p. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

BRASIL. Decreto 473, de 10 março de 1992. Dispõe sobre inclusão, no Programa Nacional de Desestatização (PND), da Rede Ferroviária Federal S.A. (RFFSA), da Agef Rede Federal de Armazéns Gerais Ferroviários S.A. e da Valec Engenharia, Construções e Ferrovias S.A. **Diário Oficial**, Brasília, 10 mar. 1992. p.1.

_____. Decreto 2.502, de 18 fevereiro de 1998. Autoriza a incorporação da Ferrovia Paulista S.A. - FEPASA pela Rede Ferroviária Federal S.A. - RFFSA e dá outras providências. **Diário Oficial**, Brasília, 18 fev. 1998. p.1.

_____. Decreto 3.411, de 12 abril de 2000. Regulamenta a Lei nº 9.611, de 19 de fevereiro de 1998, que dispõe sobre o Transporte Multimodal de Cargas, altera os Decretos nºs 91.030, de 5 de março de 1985, e 1.910, de 21 de maio de 1996, e dá outras providências. **Diário Oficial**, Brasília, 13 abr. 2000. p.1.

_____. Decreto 6.025, de 22 janeiro de 2007. Institui o Programa de Aceleração do Crescimento - PAC, o seu Comitê Gestor, e dá outras providências. **Diário Oficial**, Brasília, 22jan. 2007. Edição extra.

_____. Decreto 7.390, de 9 dezembro de 2010. Regulamenta os artigos 6º, 11º e 12º da Lei no 12.187, de 29 de dezembro de 2009, que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC, e dá outras providências. **Diário Oficial**, Brasília, 10 dez. 2010. p.4.

_____. Lei n. 8.031, de 12 de abril de 1990. Cria o Programa Nacional de Desestatização, e dá outras providências. **Diário Oficial**, Brasília, 13 abr. 1990.

_____. Lei n. 8.987, de 13 de fevereiro de 1995. Dispõe sobre o regime de concessão e permissão da prestação de serviços públicos previsto no artigo 175 da Constituição Federal, e dá outras providências. **Diário Oficial**, Brasília, 13 fev. 1995.

_____. Lei n. 9.611, de 19 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre o Transporte Multimodal de Cargas e da outras providências. **Diário Oficial**, Brasília, 19 fev. 1998.

_____. Lei n. 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências. **Diário Oficial**, Brasília, 29 dez. 2009. Edição extra.

_____. Ministério da Ciência e Tecnologia. Coordenação Geral de Mudanças Globais de Clima. **Comunicação nacional inicial do Brasil à convenção quadro das Nações Unidas sobre mudança do clima**. Brasília, 2004. 276p.

_____. Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional**. Brasília, 2011. 267p.

_____. **Status atual das atividades de projeto no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) no Brasil e no mundo**. Brasília, 2011. 12p.

_____. **Ferrovias: Resultados 2011**. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/pac/relatorios/pac-2/2o-balanco-2011/2o-balanco-ferrovias/view>>. Acesso em: 01 mai. 2012.

_____. Ministério dos Transportes. **Mapa das expansão ferroviária**. Disponível em: <www.transportes.gov.br>. Acesso em: 01 out. 2011.

BRITO FILHO, F.A. **A logística hidroviária: planejamento público e investimentos previstos**. Brasília: ANTAQ, 2009. 35 diapositivos: color.

BUSSINGER, F. Ampliar ferrovias para reduzir emissões de CO2. **Revista Ferroviária**, São Paulo, 22 jan. 2010. Disponível em: <<http://www.revistaferroviaria.com.br/index.asp?InCdNewsletter=5158&InCdUsuario=30035&InCdMateria=9691&InCdEditoria=1>>. Acesso em: 25 jan. 2010.

CAIXETA FILHO, J.V. Introdução: a competitividade do transporte no agribusines brasileiro. In: CAIXETA FILHO, J.V.; GAMEIRO, A.H. **Transporte e logística em sistemas agroindustriais**. São Paulo: Atlas, 2001a. cap.1, p. 11-20.

_____. Particularidades das modalidades de transporte. In: CAIXETA FILHO, J.V.; GAMEIRO, A.H. **Transporte e logística em sistemas agroindustriais**. São Paulo: Atlas, 2001b. cap.3, p. 62-65.

CANEPA, E.M. Economia da poluição. In: MAY, P.H.; LUSTOSA, M.C.; VINHA, V. **Economia do meio ambiente: teoria e prática**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003. cap. 2, p.61 – 80

CASTRO, N. **Intermodalidade, intramodalidade e o transporte delonga distância no Brasil**. Brasília: IPEA, 1995. 25p. (Texto para Discussão, 367).

CASTRO, N. Privatização e regulação dos transportes no Brasil. In: CAIXETA FILHO, J.V.; MARTINS, R.S. **Gestão logística do transporte de cargas**. São Paulo: ATLAS, 2001. cap.1. p. 32-55.

CENTRO DE ESTUDOS EM LOGÍSTICA. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO. **Transporte de cargas no Brasil: ameaças e oportunidades para o desenvolvimento do país.** Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2002. 200p.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES. **Transporte de cargas no Brasil: ameaças e oportunidades para o desenvolvimento do país; diagnóstico e plano de ação.** Rio de Janeiro, 2009. 200 diapositivos: color.

CONTADOR, C.R. **Projetos sociais: avaliação e prática.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008. 375p.

COSTA, P.M. Créditos de absorção de CO₂: uma breve história da evolução dos mercados. **Revista Silvicultura.** Rio de Janeiro, n. 76, p. 24-33, 1998.

CRUZ, T.R.P.D.V. **Causas e consequências da limitação de cabotagem no transporte de cargas pela costa brasileira.** 2007. 145p. Dissertação: (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. **Hidroviás.** Disponível em: <<https://gestao.dnit.gov.br/hidroviás/hidroviás-interiores/hidroviás-interiores>>. Acesso em: 07 jul. 2010a.

_____. **Histórico.** Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/ferrovias/historico>>. Acesso em: 29 jun. 2010b.

_____. **Plano Nacional de Viação 2009.** Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/plano-nacional-de-viacao/pnv-1994-2009>>. Acesso em: 15 out. 2011.

FRANCO, R.A.R.; FUJIMOTO, R.K. **Guia de atuação do setor público no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) e no mercado de carbono.** São Paulo: BM&F, 2011. 78p.

GOEBEL, D. **A competitividade externa e a logística doméstica.** Rio de Janeiro: BNDES, 2009. 83p.

GRUPO DE PESQUISA E EXTENSÃO EM LOGÍSTICA AGROINDUSTRIAL - ESALQ-LOG. **Modelo matemático de otimização logística para o transporte multimodal de safras agrícolas pelo corredor Centro-Oeste.** Piracicaba, 2009. 343p.

_____. **SIFRECA: Sistema de Informações de Fretes.** Disponível em: <<http://sifreca.esalq.usp.br/sifreca/pt/index.php>>. Acesso em: 02 dez. 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sistema IBGE de Recuperação Automática.** Disponível em: <www.sidra.ibge.gov.br>. Acesso em: 02 jul. 2010.

KROHN, O.; LEDBURY, M.; SCHWARZ, H. **Railways and the environment:** building on the railways' environmental strengths. Bruxelas: Community of European Railway and Infrastructure Companies (CER),2009. 36 p.

LIAO, C.H.; TSENG, P.; LU C. Comparing carbon dioxide emissions of trucking and intermodal container transport in Taiwan. **Transportation Research**.Part D, London, v. 14, p. 493-496, 2009.

LMC INTERNACIONAL. **Sugar and sweeteners quarterly**. Report: Second quarter 2011. Oxford, 2011. 79p.

LUSTOSA, M.C.J.; CANEPA, E.M.; YOUNG, C.E.F. Política ambiental. In: MAY, P.H.; LUSTOSA, M.C.; VINHA, V. **Economia do meio ambiente:** teoria e prática. Rio de Janeiro: Elsevier: 2003.cap. 5, p. 135-153.

MATTOS, L.B.R. **A importancia do setor de transportes na emissão de gases do efeito estufa - o caso do município do Rio de Janeiro**. 2001. 222p. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energetico) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

MEIRA FILHO, L.G.; MACEDO, I.C. Contribuição do etanol para a mudança do clima. In: SOUZA, E.L.L.; MACEDO, I.C. **Etanol e bioeletricidade:** a cana-de-açúcar no futuro da matriz energética. São Paulo: Luc Projetos de Comunicação, 2010. cap. 3, p. 76-97

MILANEZ, A.Y.; NYKO, D.; GARCIA, J.L F.; XAVIER, C.E.O. Logística para o etanol: situação atual e desafios futuros. **BNDES Setorial**, Brasília, n.31, p. 49-98, 2010.

MINISTÉRIO DO TRANSPORTE. Plano de aceleração do crescimento. Disponível em:<<http://www.transportes.gov.br/conteudo/38169>>. Acesso em: 30 abr. 2012.

MONTEIRO, A.B.F.D.C.; MARTINS, W.C.; RODRIGUES, F.H. O processo de decisão do modal no transporte de carga. In: CAIXETA FILHO, J.V.; MARTINS, R.S. **Gestão logística do transporte de cargas**. São Paulo: ATLAS, 2001. cap.10, p. 229-257.

MOTTA, R.S. **A regulação das emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. Brasília: IPEA, 2010. 23p. (Texto para Discussão, 1492).

NAZARIO, P. **Intermodalidade:** importância para a logística e estágio atual no Brasil. Disponível em: < inforum.insite.com.br/arquivos/2490/Intermodalidade.doc>. Acesso em: 8 out. 2009.

OJIMA, A.L.R.O. **Análise da movimentação logística e competitividade da soja brasileira:** uma aplicação de um modelo de equilíbrio espacial de programação quadrática. 2004. 89p. Dissertação: (Mestrado em Engenharia Elétrica) -Faculdade de EngenhariaElétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

OLIVA, J.A.B. **Custo Brasil: infraestrutura portuária transporte hidroviário interior como solução logística e ambiental.** Piracicaba: ANTAQ, 2010. 30 diapositivos: color.

OLIVEIRA, A.M.K.; CAIXETA, J.V. Potencial da logística ferroviária para exportação de açúcar em São Paulo: recomendações de localização para armazéns intermodais. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 45, n. 4, p. 823-853, out./dez. 2007.

OLIVEIRA, J.C.V. **Análise do transporte de soja, milho e farelo de soja na Hidrovia Tietê-Paraná.** 1996. 154p. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

ONU, R.T. **Estudo da viabilidade do transporte marítimo de contêineres por cabotagem na costa brasileira.** 2001. 151p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. Sea Fairer - Maritime transport and CO2 emissions. **OECD Observer**, Paris, n. 267, p. 58-59, May/June 2008.

PAN, S.; BALLOT, E.; FONTANE, F. **The reduction of greenhouse gas emissions from freight transport by polling supply chains.** London: International Journal of Production Economics, 2010. Mimeo.

PLANO NACIONAL DE LOGÍSTICA E TRANSPORTE. **Planejamento estratégico dos transportes no Brasil: um caso de sucesso mundial.** Brasília: Ministério dos Transportes, 2011. 96 diapositivos: color.

PROCANA. **Anuário da Cana 2010.** São Paulo, 2011. 460p.

RIBEIRO, S.K.; COSTA, C.V.; DAVID, E.G.; REAL, M.V.; D'AGOSTO, M.A. **Transporte e mudanças climáticas.** Rio de Janeiro: Mauad, 2000. 107p.

RODRIGUES, P.R.A. **Introdução aos sistemas de transporte no Brasil e à logística internacional.** 3. ed. São Paulo: Aduaneiras, 2003. 180p.

SANTANA NETO, J.V. **A lei 8.630/93 e a modernização portuária no Brasil: um estudo dos impactos da privatização da operação portuária na movimentação da carga containerizada no porto de Salvador.** 2005. 141p. Dissertação: (Mestrado Profissional em Administração) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2005.

STANLEY, M.P.; HAMILTON, K.; MARCELLO, T.; SJARDIN, M. **Back to the Future: state of the voluntary carbon market 2011.** Washington: Bloomberg New Energy Finance, 2011. 79p.

SÃO PAULO. Secretaria de Transportes. **Hidrovia Tiête Paraná.** Disponível em: <<http://www.transportes.sp.gov.br/v20/hidrovia.asp>>. Acesso em: 14 jul. 2010.

SECRETARIA DE COMÉRCIO EXTERIOR. **Dados estatísticos**. Disponível em: <<http://aliceweb.desenvolvimento.gov.br/>>. Acesso em: 02 fev. 2011.

SETTEN, A M. **Infraestrutura logística de exportação de açúcar e etanol no Centro-Sul do Brasil**. 2010. 123p. Dissertação (Mestrado Profissional em Agroenergia) - Fundação Getulio Vargas, São Paulo, 2010.

SOUZA, R.A.D.; PRATES, H, F. **O processo de desestatização da RFFSA: principais aspectos e primeiros resultados**. Brasília: BNDES,1997. 18p.

SUZUKI, Y. A new truck-routing approach for reducing fuel consumption and pollutants emission. **Transportation Research**.Part D, London,v. 16, p. 73-77, 2011.

THOMAS, J. **Desenvolvimento da cabotagem no Brasil**. São Paulo: Aliança Navegação e Logística, 2005. 17 diapositivos: color.

THOMAS, J.M.; CALLAN, S.J. **Economia ambiental: aplicações, políticas e teoria**. Tradução de A.C. Lot e M.R.G. Passos. São Paulo: Cengage Learning, 2010. 556p.

TRANSPETRO. **Dutovia**. Disponível em: <http://www.transpetro.com.br/TranspetroSite/appmanager/transpPortal/transpInternet?_nfpb=true&_nfls=false>. Acesso em: 14 jul. 2010.

UNIÃO DA INDUSTRIA DA CANA-DE-AÇÚCAR. **Dados estatísticos**. Disponível em: <www.unica.com.br>. Acessado em: 10 set. 2011.

UNIDUTO. **Dutovias**. Disponível em: <<http://www.uniduto.com.br/>> Acesso em: 14 jul. 2010.

UNIFE. **More rail = Less CO₂: UNIFE contribution to the discussion on the future of transport**. Bruxelas, 2009. 51p.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. **Report of the Conference of the Parties on its sixteenth session, held in Cancun from 29 November to 10 December 2010**. Cancun, 2011. 31p.

VALEC. **Ferrovias Norte-Sul**. Disponível em: <<http://www.valec.gov.br/ferrovia.htm>> Acesso em: 05 jul. 2010a.

_____. **Ferrovias Oeste-Leste**. Disponível em: <<http://www.valec.gov.br/oeste-leste.htm>> Acesso em: 05 jul 2010b.

VEHVILÄINEN, A. Towards integrated policies. **OECD Observer**, Paris,n. 267, p. 48, May/June 2008.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Intermodalidade x Multimodalidade

Um destaque a ser feito é com relação aos conceitos de intermodalidade e multimodalidade, muito presentes na literatura logística e abordados na descrição da utilização de mais de um modal de transporte, é o fato de não possuírem o mesmo significado e de não existir um consenso na literatura sobre a definição de cada um deles.

Segundo Nazário (2009), a diferença entre os termos não é apenas semântica, mas possuem características bem definidas no contexto da evolução da utilização de mais de um modal de transporte de carga. O autor divide o processo do desenvolvimento dos conceitos em três etapas, sendo a primeira o início da movimentação com mais de um modo de transporte, mas com baixa eficiência na transferência.

Nasegunda etapa ocorre uma melhoria na integração dos modais com o processo de containerização e com a utilização de equipamentos de movimentação nos terminais e de outros instrumentos especializados na transferência de cargas de um modal para o outro, o que facilita o transbordo das cargas.

Nessa etapa o termo intermodalidade é tratado no seu sentido operacional, ou seja, a simples junção do uso de mais de um modal de transporte. No ano de 1993 ocorreu na Europa a *EuropeanConferenceofMinistersofTransport* que definiu o conceito de intermodalidade como o movimento de bens em uma única unidade de carregamento, que usa sucessivos modais de transporte sem manuseio dos bens na mudança de um modal para o outro.

No ano de 1995, David Lowe lançou o livro *Intermodal FreightTransportation* que apresentou a definição para intermodalidade¹⁶ como sendo o transporte porta-a-porta através de mais de um modal com a utilização de serviços de transbordo e a responsabilidade de um único operador através de um único documento. Para o caso da utilização de contêineres, a carga não é removida dessa embalagem, e alterando-se apenas o modal a ser utilizado. Essa definição caracterizou-se como a última etapa do processo onde ocorre a total integração da cadeia logística de

¹⁶ Essa tese utilizará o termo intermodalidade e seguirá o entendimento norte-americano de que o termo é a terceira etapa do processo de integração dos modais.

transporte e emite-se um único documento para todos os modais utilizados no processo, as operações de transferência e a movimentação porta-a-porta.

No Brasil o conceito de multimodalidade é definido na terceira etapa e seguiu a linha européia de raciocínio, ou seja, emite-se um único documento para todos os modais a serem utilizados no trajeto da carga. Esse conceito foi inserido no ano de 1998 através da Lei 9.611 de 19 de fevereiro e foi regulamentado pelo decreto n.º 3.411 em 12 de abril de 2000. A Lei aplicou o conceito de multimodalidade através da instituição de um único responsável da utilização de mais de um modal de transporte durante todo o percurso da carga. Assim, foi instituída a figura do Operador de Transporte Multimodal (OTM) que é o responsável pela emissão do único documento (SANTANA NETO, 2005).

O OTM é a denominação de uma pessoa jurídica que fica responsável pelo transporte da carga desde o ponto de partida até o ponto final, através da utilização de mais de um modal transporte, sendo permitida a utilização de serviços de terceiros. A partir da utilização desse documento insere-se a utilização do serviço porta-a-porta independente do modal com apenas um único conhecimento de transporte (ONU, 2001).

Segundo a ANTT (2004), os serviços prestados pelo OTM são: transporte, serviço de coleta, unitização, desunitização, movimentação, armazenagem e entrega da carga ao destinatário, além dos serviços burocráticos envolvidos durante o trajeto de origem e destino como a consolidação e desconsolidação documental das cargas.

O principal objetivo da criação do OTM é reduzir os custos logísticos e o tempo de transito da carga. Entretanto, duas questões fundamentais para alcançar esse objetivo ficaram pendentes: a tributação do ICMS e o seguro da carga. O local da tributação do ICMS ainda não ficou definido, se é taxado no local de despacho ou no local de destino da carga, e a regulamentação da apólice do seguro (ONU, 2001).

O ICMS varia de acordo com o modal de transporte e o Estado. O ISS incide em cada município no qual ocorre o carregamento e o transbordo. Dessa forma, esse processo gera débitos e créditos que reduzem a produtividade do OTM e a utilização de mais de um modal de transporte (CRUZ, 2007).

A viabilização do Operador de Transporte Multimodal, segundo Girard (2005)¹⁷ *apud* Cruz (2007) trará uso eficiente da capacidade disponível da matriz de

¹⁷ GIRARD, O. **Visão estratégica e econômica da multimodalidade**. São Paulo: Trevisan Consultoria Estratégia, 2005.

transporte, melhor utilização das tecnologias de informação e infraestrutura das atividades de apoio, ganhos de escala e negociações de transporte e redução dos custos indiretos.

ANEXOS

ANEXO A

Tabela I.A – Fluxo intermodal entre transbordos hidroviário e ferroviário e a quantidade escoada de açúcar no cenário 4 para o cenário de minimização das emissões

(continua)

Transbordo Origem	Transbordo Destino	Mercado Externo (mil t)	Mercado Interno (mil t)
Ferrovias			
Dourados – MS	Paranaguá - PR	437	
Maracaju – MS	Paranaguá - PR	7	
Maracaju – MS	Bagé - RS		15
Maracaju – MS	Tubarão - SC	10	
Maracaju – MS	Canoas - RS		28
Maringá – PR	Curitiba - PR	6	
Maringá – PR	Paranaguá - PR	1.233	
Maringá – PR	Porto Alegre - RS		133
Rolândia – PR	Paranaguá - PR	531	
Presidente Prudente – SP	Curitiba - PR		454
Presidente Prudente – SP	Paranaguá - PR	705	
Presidente Prudente – SP	Ponta Grossa		105
Presidente Prudente – SP	Porto Alegre - RS		167
Presidente Prudente – SP	Araucária - PR		133
Jacarezinho – PR	Paranaguá - PR	1.022	
Adamantina – SP	Santos - SP	672	85
Araçatuba – SP	Santos - SP	2.205	
Chapadão do Sul – MS	Santos - SP	12	
Andradina – SP	Santos - SP	897	
Aparecida do Taboado – MS	Santos - SP	301	
São Simão – GO	Santos - SP	298	
Rio Verde – GO	Santos - SP	507	
Ourinhos – SP	Paranaguá - PR	796	33
Ourinhos – SP	Santos - SP	430	

Tabela I.A – Fluxo intermodal entre transbordos hidroviário e ferroviário e a quantidade escoada de açúcar no cenário 4 para o cenário de minimização das emissões

(continuação)

Transbordo Origem	Transbordo Destino	Mercado	Mercado
		Externo (mil t)	Interno (mil t)
Ipaussu – SP	Santos - SP	1.217	
Lençóis Paulista – SP	Santos - SP	314	
São Manuel – SP	Guarujá - SP	190	11
Jaú – SP	Santos - SP	632	45
Catanduva – SP	Santos - SP	1.746	
Itapetininga – SP	Paranaguá - PR	0	
Araraquara – SP	Santos - SP	493	
Pradópolis – SP	Santos - SP	209	
Pitangueiras – SP	Santos - SP	6	
Pitangueiras – SP	Cubatão - SP		116
Ribeirão Preto – SP	Santos - SP	215	
Serrana – SP	Santos - SP	1.064	
Fernandópolis – SP	Santos - SP	726	
Colômbia – SP	Santos - SP	1.626	
São Joaquim da Barra – SP	Santos - SP	363	
Uberaba – MG	Campinas - SP		46
Santa Juliana – MG	Betim - MG		95
Paracatu – MG	Ipatinga - MG		71
Paracatu – MG	São João da Barra - RJ		26
Lagoa da Prata – MG	Rio de Janeiro - RJ		112
Pedro Afonso – TO	Eliseu Martins - TO		4
Joaquim Nabuco – PE	Araripina - PE		17
Joaquim Nabuco – PE	Salgueiro - PE		15
Joaquim Nabuco – PE	Fortaleza - CE	7	275
Joaquim Nabuco – PE	Crato - CE		36
Joaquim Nabuco – PE	Missão Velha - CE		38

Tabela I.A – Fluxo intermodal entre transbordos hidroviário e ferroviário e a quantidade escoada de açúcar no cenário 4 para o cenário de minimização das emissões

(continuação)

Transbordo Origem	Transbordo Destino	Mercado	Mercado
		Externo (mil t.)	Interno (mil t)
Campo Grande – MS	Paranaguá - PR	79	
Vilhena – RO	Rio Branco - AC		13
Vilhena – RO	Cruzeiro do Sul - AC		4
Vilhena – RO	Porto Velho - RO		32
Rondonópolis – MT	Campo Grande - MS		13
Rondonópolis – MT	Santos - SP	17	
Rondonópolis – MT	Rio Grande - RS		47
Rondonópolis – MT	Porto Alegre - RS		37
Rondonópolis – MT	Ijuí - RS		65
Rondonópolis – MT	Cruz Alta - RS		67
Rondonópolis – MT	Canoas - RS		40
Itapeva – SP	Tubarão - SC		143
Bauru – SP	Santos - SP	131	
São José do Rio Preto – SP	Santos - SP	3.978	
Uberlândia – MG	Santos - SP	1.287	
Uberlândia – MG	Campinas - SP		127
Araxá – MG	Betim - MG		279
Catalão – GO	Campinas - SP		342
Brasília – DF	João Pinheiro - MG		12
Brasília – DF	Montes Claros - MG		32
Brasília – DF	Janaúba - MG		8
Brasília – DF	Brumado - BA		51
Brasília – DF	Ilhéus - BA		52
Brasília – DF	Caetité - BA		31
Brasília – DF	Betim - MG		20
Imperatriz – MA	Santa Inês - MA		43

Tabela I.A – Fluxo intermodal entre transbordos hidroviário e ferroviário e a quantidade escoada de açúcar no cenário 4 para o cenário de minimização das emissões

(continuação)

Transbordo Origem	Transbordo Destino	Mercado	Mercado
		Externo (mil t.)	Interno (mil t)
Tupã – SP	Santos - SP	360	
Mogi Guaçu – SP	Santos - SP	1.780	
Ituverava – SP	Santos - SP	614	
Goiânia – GO	Santos - SP	692	
Januária – MG	Juazeiro - BA		24
Guaíra – PR	Passo Fundo - RS		172
Guaíra – PR	Canoas - RS		84
Lucas do Rio Verde – MT	Campo Grande - MS		26
Lucas do Rio Verde – MT	Cascavel - PR		20
Lucas do Rio Verde – MT	Água Boa - GO		4
Lucas do Rio Verde – MT	Porangatu - GO		19
Lucas do Rio Verde – MT	Gurupi - TO		5
Lucas do Rio Verde – MT	Palmas - TO		20
Lucas do Rio Verde – MT	Guaraí - TO		16
Lucas do Rio Verde – MT	Marabá - PA		160
Lucas do Rio Verde – MT	Araguaína - MT		12
Lucas do Rio Verde – MT	Canarana - MT		8
Itirapina – SP	Rio de Janeiro - RJ		130
Rialma – GO	Santos - SP	136	
Rialma – GO	Barretos - SP		3
Rialma – GO	São João da Barra - RJ		196
Rialma – GO	Correntina - BA		9
Rialma – GO	Betim - MG		82
Uruaçu – GO	Barreiras - BA		22
Uruaçu – GO	Eliseu Martins - TO		2
Uruaçu – GO	Pedro Laurentino - PI		11

Tabela I.A – Fluxo intermodal entre transbordos hidroviário e ferroviário e a quantidade escoada de açúcar no cenário 4 para o cenário de minimização das emissões

(conclusão)

Transbordo Origem	Transbordo Destino	Mercado	Mercado
		Externo (mil t)	Interno (mil t)
Açailândia – GO	Codó - MA		22
Açailândia – GO	São Luís - MA	50	78
Açailândia – GO	Teresina - PI		106
Costa Rica – MS	Três Lagoas - MS		11
Santa Adélia – SP	Santos - SP	1.535	
Orlândia – SP	Santos - SP	960	
Arcos – MG	Rio de Janeiro - RJ		492
Hidrovia			
Andradina – SP	Pederneiras - SP		19
Januária – MG	Juazeiro - BA		24
Porto Velho – RO	Manaus - AM		173
Porto Velho – RO	Itacoatiara - AM		5
Apiacás– MT	Santarém - PA		32
Total		30.496	5.482

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela II.A – Fluxo intermodal entre transbordos hidroviário e ferroviário e a quantidade escoada de açúcar no cenário 4 para a minimização do custo de transporte

(continua)

Transbordo Origem	Transbordo Destino	Mercado	Mercado
		Externo (mil t)	Interno (mil t)
Ferrovias			
Dourados - MS	Paranaguá - PR	441	
Maracaju - MS	Paranaguá - PR	61	
Maringá - PR	Paranaguá - PR	1.145	
Rolândia - PR	Santos - SP	484	
Rolândia - PR	Canoas - RS		27
Presidente Prudente - SP	Paranaguá - PR	1.224	
Presidente Prudente - SP	Ponta Grossa - PR		37
Presidente Prudente - SP	Porto Alegre - RS		281
Presidente Prudente - SP	Canoas - RS		71
Adamantina - SP	Santos - SP	1.431	
Araçatuba - SP	Paranaguá - PR	1.342	
Chapadão do Sul - MS	Paranaguá - PR	12	
Andradina - SP	Santos - SP	918	
Aparecida do Taboado - MS	Santos - SP	831	
São Simão - GO	Santos - SP	298	
Rio Verde - GO	Santos - SP	523	
Jacarezinho - PR	Paranaguá - PR	2.044	33
Ourinhos - SP	Curitiba - PR		279
Ourinhos - SP	Tubarão - SC		74
Ipaussu - SP	Paranaguá - PR	399	
Lençóis Paulista - SP	Santos - SP	708	
São Manuel - SP	Paranaguá - PR	154	
Jaú - SP	Santos - SP	522	
Catanduva - SP	Santos - SP	6.653	78
Itapetininga - SP	Paranaguá - PR	273	

Tabela II.A – Fluxo intermodal entre transbordos hidroviário e ferroviário e a quantidade escoada de açúcar no cenário 4 para a minimização do custo de transporte

(continuação)

Transbordo Origem	Transbordo Destino	Mercado	
		Externo (mil t)	Interno (mil t)
Araraquara - SP	Santos - SP	498	
Pradópolis - SP	Santos - SP	5	
Pitangueiras - SP	Santos - SP	468	
Serrana - SP	Rio de Janeiro - RJ		491
Fernandópolis - SP	Santos - SP	182	
Colômbia - SP	Santos - SP	2.014	
São Joaquim da Barra - SP	Santos - SP	967	
Uberaba - MG	Santos - SP	56	
Santa Juliana - MG	Santos - SP	95	
Paracatu - MG	Muriaé - MG		9
Paracatu - MG	Ipatinga - MG		71
Paracatu - MG	Montes Claros - MG		2
Paracatu - MG	Governador Valadares - MG		14
Lagoa da Prata - MG	Rio de Janeiro - RJ		112
Pedro Afonso - TO	Estreito - RS		2
Pedro Afonso - TO	Teresina - PI		3
Joaquim Nabuco - PE	Salgueiro - PE		4
Joaquim Nabuco - PE	Fortaleza - CE	7	199
Joaquim Nabuco - PE	Crato - CE		27
Joaquim Nabuco - PE	Missão Velha - CE		11
Campo Grande - MS	Paranaguá - PR	76	
Cascavel - PR	Rio Grande - RS		31
Vilhena - RO	Rio Branco - AC		7
Vilhena - RO	Cruzeiro do Sul - AC		4
Vilhena - RO	Porto Velho - RO		18
Rondonópolis - MT	Campo Grande - MS		36

Tabela II.A – Fluxo intermodal entre transbordos hidroviário e ferroviário e a quantidade escoada de açúcar no cenário 4 para a minimização do custo de transporte

(continuação)

Transbordo Origem	Transbordo Destino	Mercado	
		Externo (mil t)	Interno (mil t)
Rondonópolis - MT	Santos - SP	75	
Itapeva - SP	Santos - SP	480	
Bauru - SP	Santos - SP	217	
Barretos - SP	Santos - SP	239	
Uberlândia - MG	Santos - SP	1.905	
Araxá - MG	Santos - SP	177	
Brasília - DF	Montes Claros - MG		6
Imperatriz - MA	Santa Inês - MA		15
Ijuí - RS	Paranaguá - PR	209	
Tupã - SP	Santos - SP	661	
Mogi Guaçu - SP	Santos - SP	547	
Goiânia - GO	Bagé - RS		7
Guaíra - PR	Rio Grande - RS		16
Guaíra - PR	Ijuí - RS		18
Guaíra - PR	Cruz Alta - RS		7
Guaíra - PR	Passo Fundo - RS		24
Guaíra - PR	Água Boa - GO		4
Lucas do Rio Verde - MT	Gurupi - TO		5
Lucas do Rio Verde - MT	Palmas - TO		16
Lucas do Rio Verde - MT	Guaraí - TO		9
Lucas do Rio Verde - MT	Marabá - PA		21
Lucas do Rio Verde - MT	Araguaína - MT		12
Lucas do Rio Verde - MT	Rio de Janeiro - RJ		34
Itirapina - SP	Santos - SP	351	
Rialma - GO	Montes Claros - MG		16
Rialma - GO	Janaúba - MG		8

Tabela II.A – Fluxo intermodal entre transbordos hidroviário e ferroviário e a quantidade escoada de açúcar no cenário 4 para a minimização do custo de transporte

(conclusão)

Transbordo Origem	Transbordo Destino	Mercado	
		Externo (mil t)	Interno (mil t)
Rialma - GO	Brumado - BA		7
Rialma - GO	Ilhéus - BA		36
Rialma - GO	Barreiras - BA		13
Uruaçu - GO	Araripina - PE		8
Uruaçu - GO	São Luís - MA		65
Açailândia - GO	Codó - MA		7
Açailândia - GO	Teresina - PI		52
Açailândia - GO	Santos - SP	1.110	
Hidrovia			
Apiacás - MT	Santarém - PA		14
Ibotirama - BA	Juazeiro - BA		1
Porto Velho - RO	Manaus - AM		154
Porto Velho - RO	Itacoatiara - AM		5
Total		29.801	2.341

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela III.A – Fluxo intermodal entre transbordos dutoviário e ferroviário e a quantidade escoada de etanol no cenário 4 para a minimização das emissões

(continua)

Transbordo Origem	Transbordo Destino	Mercado	Mercado
		Externo (milhões de litros)	Interno (milhões de litros)
Ferrovia			
Pedro Afonso – TO	Teresina – PI		6
João Pinheiro – MG	Betim – MG		656
João Pinheiro – MG	Montes Claros – MG		109
João Pinheiro – MG	Ilhéus – BA		23
Lagoa da Prata – MG	Rio de Janeiro – RJ		191
Paracatu – MG	Brumado – BA		128
Santa Juliana – MG	Betim – MG		128
Uberaba – MG	Santos – SP	3.593	
Adamantina – SP	Cubatão – SP		549
Adamantina – SP	Campinas – SP		648
Adamantina – SP	Paulínia – SP		805
Andradina – SP	Paulínia – SP		970
Araçatuba – SP	Campinas – SP		1.945
Araraquara – SP	Rio de Janeiro – RJ		270
Catanduva – SP	Cubatão – SP		1.216
Colômbia – SP	Rio de Janeiro – RJ		111
Fernandópolis – SP	Paulínia – SP		1.684
Ipaussu – SP	Cubatão – SP		632
Itapetininga – SP	Rio de Janeiro – RJ		54
Jaú – SP	Cubatão – SP		1.215
Lençóis Paulista – SP	Cubatão – SP		985
Presidente Prudente – SP	Cubatão – SP		882
São Joaquim da Barra – SP	Rio de Janeiro – RJ		367
São Manuel – SP	Rio de Janeiro – RJ		253

Tabela III.A – Fluxo intermodal entre transbordos dutoviário e ferroviário e a quantidade escoada de etanol no cenário 4 para a minimização das emissões

(continuação)

Transbordo Origem	Transbordo Destino	Mercado	
		Externo (milhões de litros)	Interno (milhões de litros)
Jacarezinho – PR	Cubatão – SP		584
Maringá – PR	Araucária – PR		2.607
Maringá – PR	Paranaguá – PR	149	
Rolândia – PR	Curitiba – PR		104
Rolândia – PR	Paranaguá – PR	223	
Aparecida do Taboado – MS	Ribeirão Preto – SP		17
Aparecida do Taboado – MS	Paulínia – SP		623
Chapadão do Sul – MS	Ribeirão Preto – SP		366
Dourados – MS	Cascavel – PR		217
Dourados – MS	Londrina – PR		409
Dourados – MS	Araucária – PR		378
Dourados – MS	Curitiba – PR		511
Dourados – MS	Cubatão – SP		2.346
Dourados – MS	Paranaguá – PR	0,47	0
Maracaju – MS	Ourinhos – SP		152
Maracaju – MS	Cubatão – SP		768
Rio Verde – GO	Uberaba – MG		400
Rio Verde – GO	Brasília – DF		526
Rio Verde – GO	Uberlândia – MG		436
Rio Verde – GO	Betim – MG		678
São Simão – GO	Ribeirão Preto – SP		1.000
Ipatinga – MG	Ilhéus – BA		390
Campo Grande – MS	Ourinhos – SP		460
Vilhena – RO	Rio Branco – AC		12
Vilhena – RO	Porto Velho – RO		781

Tabela III.A – Fluxo intermodal entre transbordos dutoviário e ferroviário e a quantidade escoada de etanol no cenário 4 para a minimização das emissões

(continuação)

Transbordo Origem	Transbordo Destino	Mercado	
		Externo (milhões de litros)	Interno (milhões de litros)
São José do Rio Preto – SP	Paulínia – SP		1.335
Guairá – PR	Rio Grande – RS		53
Guairá – PR	Canoas – RS		930
Guairá – PR	Ijuí – RS		68
Guairá – PR	Cruz Alta – RS		13
Guairá – PR	Passo Fundo – RS		119
Guairá – PR	Tubarão – SC		38
Três Lagoas – MS	Bauru – SP		114
Rondonópolis – MT	Brasília – DF		155
Rondonópolis – MT	Goiânia – GO		805
Rondonópolis – MT	Senador Canedo – GO		1.241
Lucas do Rio Verde – MT	São Luís – MA		451
Lucas do Rio Verde – MT	Marabá – PA		374
Lucas do Rio Verde – MT	Teresina – PI		53
Lucas do Rio Verde – MT	Gurupi – TO		16
Itirapina – SP	Rio de Janeiro – RJ		130
Barretos – SP	Rio de Janeiro – RJ		895
Araxá – MG	Betim – MG		411
Catalão – GO	Betim – MG		125
São João da Barra – RJ	Recife – PE		0
São João da Barra – RJ	Ilhéus – BA		62
Rialma – GO	Barreiras – BA		2
Rialma – GO	Crato – CE		36
Rialma – GO	Fortaleza – CE		169
Rialma – GO	Recife – PE	0,99	

Tabela III.A – Fluxo intermodal entre transbordos dutoviário e ferroviário e a quantidade escoada de etanol no cenário 4 para a minimização das emissões

		(conclusão)	
Transbordo Origem	Transbordo Destino	Mercado Externo	Mercado Interno
		(milhões de litros)	(milhões de litros)
Rialma – GO	Brumado – BA		519
	Luís Eduardo Magalhães – BA		25
Uruaçu – GO	Fortaleza – CE		674
Uruaçu – GO	Missão Velha – CE		1
Janaúba – MG	Ilhéus – BA		128
Imperatriz – MA	São Luís – MA		30
Tupã – SP	Campinas – SP		920
Costa Rica – MS	Ribeirão Preto – SP		81
Santa Adélia – SP	Cubatão – SP		672
Mogi Guaçu – SP	Rio de Janeiro – RJ		331
Arcos – MG	Rio de Janeiro – RJ		128
Dutovia			
Anhembi – SP	Santos – SP	111	
Paulínia – SP	Santos – SP	147	
Senador Canedo – GO	Paulínia – SP		1.848
Senador Canedo – GO	Santos – SP	5.470	
Ribeirão Preto – SP	Paulínia – SP		2.579
Ribeirão Preto – SP	Santos – SP	5.161	
Total		14.856	43.124

Fonte: elaboração da autora.

Tabela IV.A – Fluxo intermodal entre transbordos dutoviário e ferroviário e a quantidade escoada de etanol no cenário 4 para a minimização dos custos

(continua)

Transbordo	Transbordo	Mercado Externo	Mercado Interno
Origem	Destino	(milhões de litros)	(milhões de litros)
Pedro Afonso - TO	Teresina – PI	0	6
João Pinheiro - MG	Betim – MG	0	788
Lagoa da Prata – MG	Rio de Janeiro – RJ	0	191
Paracatu – MG	Betim – MG	0	128
Santa Juliana – MG	Rio de Janeiro – RJ	0	128
Adamantina – SP	Santos – SP	940	0
Andradina – SP	Santos – SP	1.081	0
Araçatuba – SP	Cubatão - SP	0	1.842
Araçatuba – SP	Paulínia – SP	0	15
Catanduva – SP	Santos – SP	1.216	0
Colômbia – SP	Paulínia – SP	0	831
Colômbia – SP	Santos – SP	91	0
Fernandópolis – SP	Paulínia - SP	0	1.034
Ipaussu – SP	Cubatão - SP	0	244
Jaú – SP	Cubatão - SP	0	566
Lençóis Paulista – SP	Santos – SP	763	0
Pitangueiras - SP	Santos – SP	653	0
Pradópolis - SP	Cubatão - SP	0	1.248
Presidente Prudente – SP	Paranaguá - PR	604	0
São Joaquim da Barra – SP	Santos – SP	367	0
São Manuel – SP	Rio de Janeiro – RJ	0	253
Serrana - SP	Rio de Janeiro – RJ	0	434
Jacarezinho – PR	Araucária - PR	0	218
Jacarezinho – PR	Curitiba - PR	0	40

Tabela IV.A – Fluxo intermodal entre transbordos dutoviário e ferroviário e a quantidade escoada de etanol no cenário 4 para a minimização dos custos

(continuação)

Transbordo	Transbordo	Mercado	Mercado
Origem	Destino	Externo	Interno
		(milhões	(milhões
		de litros)	de litros)
Jacarezinho – PR	Paranaguá - PR	223	0
Maringá – PR	Araucária - PR	0	1.201
Rolândia – PR	Araucária - PR	0	48
Rolândia – PR	Santos – SP	149	0
Aparecida do Taboado –			
MS	Paulínia - SP	0	640
Chapadão do Sul – MS	Paulínia - SP	0	1.066
Dourados – MS	Araucária - PR	0	352
Dourados – MS	Paranaguá - PR	3.491	0
Maracaju – MS	Cascavel - PR	0	10
Maracaju – MS	Araucária - PR	0	317
Maracaju – MS	Ijuí - RS	0	34
Maracaju – MS	Paranaguá - PR	559	0
Rio Verde – GO	Paulínia - SP	0	1.317
Rio Verde – GO	Santos – SP	1.645	0
São Simão – GO	Paulínia - SP	0	961
São Simão – GO	Santos – SP	39	0
Goiânia - GO	Santos – SP	329	0
Uberlândia - MG	Paulínia - SP	0	734
Campo Grande – MS	Ourinhos - SP	0	324
Campo Grande – MS	Araucária - PR	0	136
Vilhena – RO	Rio Branco – AC	0	12
Vilhena – RO	Porto Velho – RO	0	336
Ijuí - RS	Rio Grande – RS	0	0

Tabela IV.A – Fluxo intermodal entre transbordos dutoviário e ferroviário e a quantidade escoada de etanol no cenário 4 para a minimização dos custos

(continuação)

Transbordo	Transbordo	Mercado	Mercado
Origem	Destino	Externo	Interno
		(milhões	(milhões
		de litros)	de litros)
São José do Rio Preto –			
SP	Paulínia - SP	0	1.224
Guaíra – PR	Rio Grande – RS	0	53
Guaíra – PR	Canoas - RS	0	930
Guaíra – PR	Ijuí - RS	0	49
Guaíra – PR	Cruz Alta - RS	0	8
Guaíra – PR	Passo Fundo – RS	0	78
Guaíra – PR	Tubarão – SC	0	3
Três Lagoas – MS	Bauru - SP	0	692
Três Lagoas – MS	Santos – SP	484	0
Rondonópolis – MT	Brasília - DF	0	115
Rondonópolis – MT	Paulínia - SP	0	1.063
Lucas do Rio Verde – MT	São Luís – MA	0	451
Lucas do Rio Verde – MT	Marabá – PA	0	10
Barretos – SP	Campinas - SP	0	11
Barretos – SP	Santos – SP	1.590	0
Araxá – MG	Rio de Janeiro – RJ	0	411
Catalão – GO	Betim – MG	0	626
Catalão – GO	Rio de Janeiro – RJ	0	74
Rialma – GO	Luís Eduardo Magalhães - BA	0	31
Rialma – GO	Barreiras - BA	0	2
Rialma – GO	Crato - CE	0	36
Rialma – GO	Fortaleza - CE	0	717
Rialma – GO	Betim – MG	0	512
Rialma – GO	Montes Claros - MG	0	109

Tabela IV.A – Fluxo intermodal entre transbordos dutoviário e ferroviário e a quantidade escoada de etanol no cenário 4 para a minimização dos custos

		(conclusão)	
Transbordo	Transbordo	Mercado	Mercado
Origem	Destino	Externo	Interno
		(milhões	(milhões
		de litros)	de litros)
Rialma – GO	Teresina – PI	0	131
Rialma – GO	Gurupi – TO	0	16
Rialma – GO	Recife - PE	1	0
Rialma – GO	Ilhéus – BA	0	326
Estreito - MA	São Luís – MA	0	30
Tupã – SP	Cubatão - SP	0	632
Costa Rica – MS	Paulínia - SP	0	81
Santa Adélia – SP	Cubatão - SP	0	977
Orlândia - SP	Rio de Janeiro – RJ	0	69
Orlândia - SP	Santos – SP	631	0
Ituverava - SP	Rio de Janeiro – RJ	0	607
Arcos - MG	Rio de Janeiro – RJ	0	128
Dutovia			
Uberaba – MG	Ribeirão Preto – SP	0	611
Ribeirão Preto – SP	Paulínia - SP	0	1.451
Total		14.856	27.716

Fonte: elaboração da autora.

ANEXO B

B1 – Arquivo de entrada do GAMS para a otimização do modelo proposto no caso da minimização das emissões

\$INLINECOM /* */

\$OFFLISTING

\$OFFSYMREF OFFSYMLIST

\$ONEMPTY

SETS

O	origens
D	destino
UFO	estados das origens
UFD	estados dos destinos
T	tranbordo
M	modalidade de transporte
CA	canal de comercializacao (internacional ou domestico)
PD(D)	portos de destino
OUF(O,UFO)	combinacoespossiveis origem-UF
DUF(D,UFD)	combinacoespossiveisdestino-UF
TP(T,M)	
TT1(T,T,M)	
OT(O,T)	
TD(T,D)	
ALIAS (T,T1);	

PARAMETERS

EXPORTUF(UFO)	exportacao estadual
EXPORTP(D)	exportacao por porto
EXPORTPB(D)	exportacao por porto
PRO(O)	producao associada ao centroide de carga O
DEM(D)	demanda associada ao centroide de demanda D
CAPT(M)	capacidade de transbordo

EM(O) exportacaominima MUNICIPAL

ET expotacao total;

\$CALL GDXXRW.EXE dados_entrada.xlsx Index=leitura!a2

\$GDXIN dados_entrada.gdx

\$LOAD O UFO D UFD T M CA PD OUF DUF EXPORTUF EXPORTP EXPORTPB

PRO DEM TP CAPT EM

\$GDXIN

\$CALL GDXXRW.EXE combinacoes.xlsx Index=leitura!a2

\$GDXIN combinacoes.gdx

\$LOAD OT TD TT1

\$GDXIN

PARAMETER FTF (T,T1,M) Frete entre transbordos para cada modalidade;

PARAMETER FOT(O,T) Frete rodoviario entre centroides de origens e transbordos;

PARAMETER FTD(T1,D) Frete rodoviario entre transbordos e centroides de destinos;

PARAMETER FOD (O,D) Frete rodoviario entre centroides de origens e destinos;

PARAMETER FTTFE (T,T1,M) Frete entre transbordos para cada modalidade;

PARAMETER FOTE(O,T) Frete rodoviario entre centroides de origens e transbordos;

PARAMETER FTDE(T1,D) Frete rodoviario entre transbordos e centroides de destinos;

PARAMETER FODE (O,D) Frete rodoviario entre centroides de origens e destinos;

\$CALL GDXXRW.EXE fretes_e.xlsx Index=leitura!a2

```
$GDXIN fretes_e.gdx
$LOAD FTTFE FOTE FTDE FODE
$GDXIN
```

```
$CALL GDXXRW.EXE fretes_f.xlsx Index=leitura!a2
$GDXIN fretes_f.gdx
$LOAD FTTF FOT FTD FOD
$GDXIN
```

PARAMETER FTTFB (T,T1,M) Frete entre transbordos para cada modalidade;

PARAMETER FOTB(O,T) Frete rodoviario entre centroides de origens e transbordos;

PARAMETER FTDB(T1,D) Frete rodoviario entre transbordos e centroides de destinos;

PARAMETER FODB (O,D) Frete rodoviario entre centroides de origens e destinos;

PARAMETER FTTFBE (T,T1,M) Frete entre transbordos para cada modalidade;

PARAMETER FOTBE(O,T) Frete rodoviario entre centroides de origens e transbordos;

PARAMETER FTDBE(T1,D) Frete rodoviario entre transbordos e centroides de destinos;

PARAMETER FODBE (O,D) Frete rodoviario entre centroides de origens e destinos;

```
FTTFB (T,T1,M) = 10000;
FOTB(O,T) = 10000;
FTDB(T1,D) = 10000;
```

```
FTTFB (T,T1,M)$TT1(T,T1,M) = FTTF (T,T1,M);
FOTB(O,T)$OT(O,T) = FOT(O,T);
FTDB(T1,D)$TD(T1,D) = FTD(T1,D);
```

FTTFBE (T,T1,M) = 1000000;

FOTBE(O,T) = 1000000;

FTDBE(T1,D) = 1000000;

FTTFBE (T,T1,M)\$TT1(T,T1,M) = FTTFE (T,T1,M);

FOTBE(O,T)\$OT(O,T) = FOTE(O,T);

FTDBE(T1,D)\$TD(T1,D) = FTDE(T1,D);

execute_unload "fretes.gdx", FTTFB FOTB FTDB FODB;

execute 'gdxxrw.exe fretes.gdx O=C:\Maria\ModeloFinal\resultados\fretes.xlsx
par=FTTFB rng=fttf!A1:ZZ5000000 rdim=2 cdim=1';

execute 'gdxxrw.exe fretes.gdx O=C:\Maria\ModeloFinal\resultados\fretes.xlsx
par=FOTB rng=fot!A1:ZZ5000000 rdim=2';

execute 'gdxxrw.exe fretes.gdx O=C:\Maria\ModeloFinal\resultados\fretes.xlsx
par=FTDB rng=ftd!A1:ZZ5000000 rdim=2';

execute 'gdxxrw.exe fretes.gdx O=C:\Maria\ModeloFinal\resultados\fretes.xlsx
par=FODB rng=fod!A1:ZZ5000000 rdim=2';

VARIABLES

R(O,UFO,D,UFD,CA) fluxo rodoviario direto entre origem e destino em cada canal de comercializacao

PR(O,UFO,T,CA,M) fluxo na perna rodoviaria entre origem e transbordo em cada canal de comercializacao

IM(T,T1,M,CA) fluxo intermodal de transporte em cada modal e cada canal de comercializacao

PRD(T1,D,UFD,CA,M) fluxo na perna rodoviaria entre transbordo e destino em cada canal de comercializacao

OBJ objetivo custo

OBJR objetivo custo real

OBJE objetivo emissao

OBJER objetivo emissao real

E(UFO) variavelcompensatoriaexportacao

EP(D) variavelcompensatoria por porto

POP(O) variavelcompensatoriaproducao;

POSITIVE VARIABLE R,PR,IM,PRD,E,POP,EP;

EQUATIONS

OBJETA

OBJETE funcao objetivo artificial

OBJETR funcaoobjetvio real custo

PRODUCAO(O) restricao de producao por centroide de oferta de carga

DEMANDA(D) restricao de demanda por centroide de atracao de carga

CONT1(T,CA,M) continuidade dos fluxos em cada transbordo em cada canal de comercializacao

CONT2(T1,CA,M) continuidade dos fluxos em cada transbordo em cada canal de comercializacao

EXPORTACAOUF(UFO) restricao de exportacao estadual

EXPORTACAOP restricao de exportacaominima por porto

EXPORTACAOPB restricao de exportacaomaxima por porto

OBJETRE valor da funcao custo real para emissao

CAPACIDADE(M) capacidade do terminal de embarque

EXPORTACAOM(O) exportacao municipal minima igual exportacao UF;

*EXPORTACAOT exportacao total;

$$\begin{aligned}
 \text{OBJETE} & \quad \dots \quad \text{OBJE} & \quad =E= & \quad \text{SUM}((O,UFO,D,UFD,CA), \\
 & \text{R}(O,UFO,D,UFD,CA)\$OUF(O,UFO)\$DUF(D,UFD) * FODE(O,D)) & \quad + \\
 & \quad \text{SUM}((O,UFO,T,CA,M), \text{PR}(O,UFO,T,CA,M)\$OUF(O,UFO) * \\
 & \text{FOTBE}(O,T)) & \quad + \\
 & \quad \text{SUM}((T,T1,M,CA), \text{IM}(T,T1,M,CA) * \text{FTTFBE}(T,T1,M)) \\
 & \quad + \\
 & \quad \text{SUM}((T1,D,UFD,CA,M), \text{PRD}(T1,D,UFD,CA,M)\$DUF(D,UFD) \\
 & * \text{FTDBE}(T1,D)) & \quad + \\
 & \quad \text{SUM}((UFO), E(UFO)*1000000) + \text{SUM}((O), \text{POP}(O)*1000000) \\
 & \quad + \\
 & \quad \text{SUM}((D),EP(D)*10000000);
 \end{aligned}$$

OBJETA .. OBJ =E= SUM((O,UFO,D,UFD,CA),
 R(O,UFO,D,UFD,CA)\$OUF(O,UFO)\$DUF(D,UFD) * FOD(O,D)) +
 SUM((O,UFO,T,CA,M), PR(O,UFO,T,CA,M)\$OUF(O,UFO) *
 FOTB(O,T)) +
 SUM((T,T1,M,CA), IM(T,T1,M,CA) * FTTFB(T,T1,M)*0.9)
 +
 SUM((T1,D,UFD,CA,M), PRD(T1,D,UFD,CA,M)\$DUF(D,UFD)
 * FTDB(T1,D)) +
 SUM((UFO), E(UFO)*1000000) + SUM((O), POP(O)*1000000)
 +
 SUM((D),EP(D)*1000000);

OBJETRE .. OBJER =E= OBJE - SUM((UFO), E(UFO)*1000000) - SUM((O),
 POP(O)* 1000000) -
 SUM((D),EP(D)*1000000);

OBJETR .. OBJR =E= OBJ - SUM((UFO), E(UFO)*1000000) - SUM((O),
 POP(O)* 1000000) -
 SUM((D),EP(D)*1000000);

PRODUCAO(O) .. SUM((UFO,D,UFD,CA),
 R(O,UFO,D,UFD,CA)\$OUF(O,UFO)\$DUF(D,UFD)) +
 SUM((UFO,T,M,CA), PR(O,UFO,T,CA,M)\$OUF(O,UFO)) =L=
 PRO(O) + POP(O);

CAPACIDADE(M) .. SUM((O,UFO,T,CA),
 PR(O,UFO,T,CA,M)\$OUF(O,UFO)) =L= CAPT(M);

DEMANDA(D) .. SUM((O,UFO,UFD),
 R(O,UFO,D,UFD,'domestico')\$OUF(O,UFO)\$DUF(D,UFD)) +
 SUM((T1,UFD,M),
 PRD(T1,D,UFD,'domestico',M)\$DUF(D,UFD)\$TP(T1,M)) =E= DEM(D) - EP(D);

CONT1(T,CA,M) .. SUM((O,UFO), PR(O,UFO,T,CA,M)\$OUF(O,UFO)) =E=
SUM((T1), IM(T,T1,M,CA));

CONT2(T1,CA,M) .. SUM((T), IM(T,T1,M,CA)) =E= SUM((D,UFD),
PRD(T1,D,UFD,CA,M)\$DUF(D,UFD));

EXPORTACAOUF(UFO).. SUM((O,D,UFD),
R(O,UFO,D,UFD,'internacional')\$PD(D)\$OUF(O,UFO)\$DUF(D,UFD)) +
SUM((O,T,M), PR(O,UFO,T,'internacional',M)\$OUF(O,UFO)) =G=
EXPORTUUF(UFO)- E(UFO);

EXPORTACAOP(D) .. SUM((O,UFO,UFD),
R(O,UFO,D,UFD,'internacional')\$PD(D)\$OUF(O,UFO)\$DUF(D,UFD)) +
SUM((T1,UFD,M),
PRD(T1,D,UFD,'internacional',M)\$PD(D)\$DUF(D,UFD)) =G= EXPORTP(D) - EP(D);

EXPORTACAOPB(D) .. SUM((O,UFO,UFD),
R(O,UFO,D,UFD,'internacional')\$OUF(O,UFO)\$DUF(D,UFD)) +
SUM((T1,UFD,M),
PRD(T1,D,UFD,'internacional',M)\$DUF(D,UFD)) =L= EXPORTPB(D) + EP(D);

EXPORTACAOM(O) .. SUM((D,UFO,UFD),
R(O,UFO,D,UFD,'internacional')\$PD(D)\$OUF(O,UFO)\$DUF(D,UFD)) +
SUM((T,UFO,M), PR(O,UFO,T,'internacional',M)\$OUF(O,UFO))
=G= PRO(O)*EM(O);

*EXPORTACAOT .. SUM((O,UFO,D,UFD),
R(O,UFO,D,UFD,'internacional')\$PD(D)\$OUF(O,UFO)\$DUF(D,UFD)) +
* SUM((O,UFO,T,M),
PR(O,UFO,T,'internacional',M)\$OUF(O,UFO)) =G= 36400000;


```

MODEL MARIA /ALL/;
OPTION RESLIM = 10000000;
OPTION ITERLIM = 10000000;
OPTION LIMROW=0;
OPTION LIMCOL=0;

```

```
$OFFLISTING;
```

```
MARIA.workspace = 1980;
```

```
SOLVE MARIA USING LP MINIMIZING OBJE;
```

```

execute_unload "resultados.gdx", R PR IM PRD OBJER OBJR OBJ OBJE E POP EP;
execute 'gdxxrw.exe resultados.gdx O=C:\Maria\ModeloFinal\resultados\resultados.xls
var=R rng=r!A1:ZZ640000 rdim=4 cdim=1';
execute 'gdxxrw.exe resultados.gdx O=C:\Maria\ModeloFinal\resultados\resultados.xls
var=PR rng=pr!A1:ZZ64000 rdim=3 cdim=2';
execute 'gdxxrw.exe resultados.gdx O=C:\Maria\ModeloFinal\resultados\resultados.xls
var=IM rng=im!A1:F64000 rdim=3 cdim=1';
execute 'gdxxrw.exe resultados.gdx O=C:\Maria\ModeloFinal\resultados\resultados.xls
var=PRD rng=prd!A1:ZZ64000 rdim=3 cdim=2';
execute 'gdxxrw.exe resultados.gdx O=C:\Maria\ModeloFinal\resultados\resultados.xls
var=OBJER rng=objr!A1';
execute 'gdxxrw.exe resultados.gdx O=C:\Maria\ModeloFinal\resultados\resultados.xls
var=OBJR rng=objr!A3';
execute 'gdxxrw.exe resultados.gdx O=C:\Maria\ModeloFinal\resultados\resultados.xls
var=E rng=e!A1:ZZ64000 rdim=1';
execute 'gdxxrw.exe resultados.gdx O=C:\Maria\ModeloFinal\resultados\resultados.xls
var=POP rng=p!A1:ZZ64000 rdim=1';
execute 'gdxxrw.exe resultados.gdx O=C:\Maria\ModeloFinal\resultados\resultados.xls
var=OBJ rng=obj!A3';
execute 'gdxxrw.exe resultados.gdx O=C:\Maria\ModeloFinal\resultados\resultados.xls
var=OBJE rng=obj!A1';
execute 'gdxxrw.exe resultados.gdx O=C:\Maria\ModeloFinal\resultados\resultados.xls
var=EP rng=ep!A1:ZZ64000 rdim=1';

```

B2 - Arquivo de entrada do GAMS para a otimização do modelo proposto no caso da minimização do custo de transporte

\$INLINECOM /* */

\$OFFLISTING

\$OFFSYMXREF OFFSYMLIST

\$ONEMPTY

SETS

O origens

D destino

UFO estados das origens

UFD estados dos destinos

T tranbordo

M modalidade de transporte

CA canal de comercializacao (internacional ou domestico)

PD(D) portos de destino

OUF(O,UFO) combinacoespossiveis origem-UF

DUF(D,UFD) combinacoespossiveisdestino-UF

TP(T,M)

TT1(T,T,M)

OT(O,T)

TD(T,D)

ALIAS (T,T1);

PARAMETERS

EXPORTUF(UFO) exportacao estadual

EXPORTP(D) exportacao por porto

EXPORTPB(D) exportacao por porto

PRO(O) producao associada ao centroide de carga O

DEM(D) demanda associada ao centroide de demanda D

CAPT(M) capacidade de transbordo

EM(O) exportacaominima MUNICIPAL

ET expotacao total;

```
$CALL GDXXRW.EXE dados_entrada.xlsx Index=leitura!a2
```

```
$GDXIN dados_entrada.gdx
```

```
$LOAD O UFO D UFD T M CA PD OUF DUF EXPORTUF EXPORTP EXPORTPB  
PRO DEM TP CAPT EM
```

```
$GDXIN
```

```
$CALL GDXXRW.EXE combinacoes.xlsx Index=leitura!a2
```

```
$GDXIN combinacoes.gdx
```

```
$LOAD OT TD TT1
```

```
$GDXIN
```

PARAMETER FTTF (T,T1,M)	Frete entre transbordos para cada modalidade;
PARAMETER FOT(O,T)	Frete rodoviario entre centroides de origens e transbordos;
PARAMETER FTD(T1,D)	Frete rodoviario entre transbordos e centroides de destinos;
PARAMETER FOD (O,D)	Frete rodoviario entre centroides de origens e destinos;

PARAMETER FTTFE (T,T1,M)	Frete entre transbordos para cada modalidade;
PARAMETER FOTE(O,T)	Frete rodoviario entre centroides de origens e transbordos;
PARAMETER FTDE(T1,D)	Frete rodoviario entre transbordos e centroides de destinos;
PARAMETER FODE (O,D)	Frete rodoviario entre centroides de origens e destinos;

```
$CALL GDXXRW.EXE fretes_e.xlsx Index=leitura!a2
```

```
$GDXIN fretes_e.gdx
```

```
$LOAD FTTFE FOTE FTDE FODE
```

\$GDXIN

\$CALL GDXXRW.EXE fretes_f.xlsx Index=leitura!a2

\$GDXIN fretes_f.gdx

\$LOAD FTTF FOT FTD FOD

\$GDXIN

PARAMETER FTTFB (T,T1,M) Frete entre transbordos para cada modalidade;
 PARAMETER FOTB(O,T) Frete rodoviario entre centroides de origens e
 transbordos;
 PARAMETER FTDB(T1,D) Frete rodoviario entre transbordos e centroides de
 destinos;
 PARAMETER FODB (O,D) Frete rodoviario entre centroides de origens e
 destinos;

PARAMETER FTTFBE (T,T1,M) Frete entre transbordos para cada modalidade;
 PARAMETER FOTBE(O,T) Frete rodoviario entre centroides de origens e
 transbordos;
 PARAMETER FTDBE(T1,D) Frete rodoviario entre transbordos e centroides de
 destinos;
 PARAMETER FODBE (O,D) Frete rodoviario entre centroides de origens e
 destinos;

FTTFB (T,T1,M) = 10000;

FOTB(O,T) = 10000;

FTDB(T1,D) = 10000;

FTTFB (T,T1,M)\$TT1(T,T1,M) = FTTF (T,T1,M);

FOTB(O,T)\$OT(O,T) = FOT(O,T);

FTDB(T1,D)\$TD(T1,D) = FTD(T1,D);

FTTFBE (T,T1,M) = 1000000;

FOTBE(O,T) = 1000000;

FTDBE(T1,D) = 1000000;

FTTFBE (T,T1,M)\$TT1(T,T1,M) = FTTFE (T,T1,M);

FOTBE(O,T)\$OT(O,T) = FOTE(O,T);

FTDBE(T1,D)\$TD(T1,D) = FTDE(T1,D);

execute_unload "fretes.gdx", FTTFB FOTB FTDB FODB;

execute 'gdxxrw.exe fretes.gdx O=C:\Maria\ModeloFinal\resultados\fretes.xlsx
par=FTTFB rng=fttf!A1:ZZ5000000 rdim=2 cdim=1';

execute 'gdxxrw.exe fretes.gdx O=C:\Maria\ModeloFinal\resultados\fretes.xlsx
par=FOTB rng=fot!A1:ZZ5000000 rdim=2';

execute 'gdxxrw.exe fretes.gdx O=C:\Maria\ModeloFinal\resultados\fretes.xlsx
par=FTDB rng=ftd!A1:ZZ5000000 rdim=2';

execute 'gdxxrw.exe fretes.gdx O=C:\Maria\ModeloFinal\resultados\fretes.xlsx
par=FODB rng=fod!A1:ZZ5000000 rdim=2';

VARIABLES

R(O,UFO,D,UFD,CA) fluxo rodoviario direto entre origem e destino em cada canal de comercializacao

PR(O,UFO,T,CA,M) fluxo na perna rodoviaria entre origem e transbordo em cada canal de comercializacao

IM(T,T1,M,CA) fluxo intermodal de transporte em cada modal e cada canal de comercializacao

PRD(T1,D,UFD,CA,M) fluxo na perna rodoviaria entre transbordo e destino em cada canal de comercializacao

OBJ objetivo custo

OBJR objetivo custo real

OBJE objetivo emissao

OBJER objetivo emissao real

E(UFO) variavelcompensatoriaexportacao

EP(D) variavelcompensatoria por porto

POP(O) variavelcompensatoriaproducao;

POSITIVE VARIABLE R,PR,IM,PRD,E,POP,EP;

EQUATIONS

OBJETA

OBJETE funcao objetivo artificial

OBJETR funcaoobjetvio real custo

PRODUCAO(O) restricao de producao por centroide de oferta de carga

DEMANDA(D) restricao de demanda por centroide de atracao de carga

CONT1(T,CA,M) continuidade dos fluxos em cada transbordo em cada canal de comercializacao

CONT2(T1,CA,M) continuidade dos fluxos em cada transbordo em cada canal de comercializacao

EXPORTACAOUF(UFO) restricao de exportacao estadual

EXPORTACAOP restricao de exportacaominima por porto

EXPORTACAOPB restricao de exportacaomaxima por porto

OBJETRE valor da funcao custo real para emissao

CAPACIDADE(M) capacidade do terminal de embarque

EXPORTACAOM(O) exportacao municipal minima igual exportacao UF;

*EXPORTACAOT exportacao total;

$$\begin{aligned}
\text{OBJETE} &= \text{OBJE} = \text{SUM}((\text{O}, \text{UFO}, \text{D}, \text{UFD}, \text{CA}), \\
&\text{R}(\text{O}, \text{UFO}, \text{D}, \text{UFD}, \text{CA}) \$ \text{OUF}(\text{O}, \text{UFO}) \$ \text{DUF}(\text{D}, \text{UFD}) * \text{FODE}(\text{O}, \text{D})) + \\
&\text{SUM}((\text{O}, \text{UFO}, \text{T}, \text{CA}, \text{M}), \text{PR}(\text{O}, \text{UFO}, \text{T}, \text{CA}, \text{M}) \$ \text{OUF}(\text{O}, \text{UFO}) * \\
&\text{FOTBE}(\text{O}, \text{T})) + \\
&\text{SUM}((\text{T}, \text{T1}, \text{M}, \text{CA}), \text{IM}(\text{T}, \text{T1}, \text{M}, \text{CA}) * \text{FTTFBE}(\text{T}, \text{T1}, \text{M})) \\
&+ \\
&\text{SUM}((\text{T1}, \text{D}, \text{UFD}, \text{CA}, \text{M}), \text{PRD}(\text{T1}, \text{D}, \text{UFD}, \text{CA}, \text{M}) \$ \text{DUF}(\text{D}, \text{UFD}) \\
&* \text{FTDBE}(\text{T1}, \text{D})) + \\
&\text{SUM}((\text{UFO}), \text{E}(\text{UFO}) * 1000000) + \text{SUM}((\text{O}), \text{POP}(\text{O}) * 1000000) \\
&+ \\
&\text{SUM}((\text{D}), \text{EP}(\text{D}) * 10000000);
\end{aligned}$$

OBJETA .. OBJ =E= SUM((O,UFO,D,UFD,CA),
R(O,UFO,D,UFD,CA)\$OUF(O,UFO)\$DUF(D,UFD) * FOD(O,D)) +
SUM((O,UFO,T,CA,M), PR(O,UFO,T,CA,M)\$OUF(O,UFO) *
FOTB(O,T)) +
SUM((T,T1,M,CA), IM(T,T1,M,CA) * FTTFB(T,T1,M)*0.9)
+
SUM((T1,D,UFD,CA,M), PRD(T1,D,UFD,CA,M)\$DUF(D,UFD)
* FTDB(T1,D)) +
SUM((UFO), E(UFO)*1000000) + SUM((O), POP(O)*1000000)
+
SUM((D),EP(D)*1000000);

OBJETRE .. OBJER =E= OBJE - SUM((UFO), E(UFO)*1000000) - SUM((O),
POP(O)* 1000000) -
SUM((D),EP(D)*1000000);

OBJETR .. OBJR =E= OBJ - SUM((UFO), E(UFO)*1000000) - SUM((O),
POP(O)* 1000000) -
SUM((D),EP(D)*1000000);

PRODUCAO(O) .. SUM((UFO,D,UFD,CA),
R(O,UFO,D,UFD,CA)\$OUF(O,UFO)\$DUF(D,UFD)) +
SUM((UFO,T,M,CA), PR(O,UFO,T,CA,M)\$OUF(O,UFO)) =L=
PRO(O) + POP(O);

CAPACIDADE(M) .. SUM((O,UFO,T,CA),
PR(O,UFO,T,CA,M)\$OUF(O,UFO)) =L= CAPT(M);

DEMANDA(D) .. SUM((O,UFO,UFD),
R(O,UFO,D,UFD,'domestico')\$OUF(O,UFO)\$DUF(D,UFD)) +
SUM((T1,UFD,M),
PRD(T1,D,UFD,'domestico',M)\$DUF(D,UFD)\$TP(T1,M)) =E= DEM(D) - EP(D);

CONT1(T,CA,M) .. SUM((O,UFO), PR(O,UFO,T,CA,M)\$OUF(O,UFO)) =E=
SUM((T1), IM(T,T1,M,CA));

CONT2(T1,CA,M) .. SUM((T), IM(T,T1,M,CA)) =E= SUM((D,UFD),
PRD(T1,D,UFD,CA,M)\$DUF(D,UFD));

EXPORTACAOUF(UFO).. SUM((O,D,UFD),
R(O,UFO,D,UFD,'internacional')\$PD(D)\$OUF(O,UFO)\$DUF(D,UFD)) +
SUM((O,T,M), PR(O,UFO,T,'internacional',M)\$OUF(O,UFO)) =G=
EXPORTUUF(UFO)- E(UFO);

EXPORTACAOP(D) .. SUM((O,UFO,UFD),
R(O,UFO,D,UFD,'internacional')\$PD(D)\$OUF(O,UFO)\$DUF(D,UFD)) +
SUM((T1,UFD,M),
PRD(T1,D,UFD,'internacional',M)\$PD(D)\$DUF(D,UFD)) =G= EXPORTP(D) - EP(D);

EXPORTACAOPB(D) .. SUM((O,UFO,UFD),
R(O,UFO,D,UFD,'internacional')\$OUF(O,UFO)\$DUF(D,UFD)) +
SUM((T1,UFD,M),
PRD(T1,D,UFD,'internacional',M)\$DUF(D,UFD)) =L= EXPORTPB(D) + EP(D);

EXPORTACAOM(O) .. SUM((D,UFO,UFD),
R(O,UFO,D,UFD,'internacional')\$PD(D)\$OUF(O,UFO)\$DUF(D,UFD)) +
SUM((T,UFO,M), PR(O,UFO,T,'internacional',M)\$OUF(O,UFO))
=G= PRO(O)*EM(O);

*EXPORTACAOT .. SUM((O,UFO,D,UFD),
R(O,UFO,D,UFD,'internacional')\$PD(D)\$OUF(O,UFO)\$DUF(D,UFD)) +
* SUM((O,UFO,T,M),
PR(O,UFO,T,'internacional',M)\$OUF(O,UFO)) =G= 36400000;

MODEL MARIA /ALL/;

OPTION RESLIM = 10000000;

OPTION ITERLIM = 10000000;

OPTION LIMROW=0;

OPTION LIMCOL=0;

\$OFFLISTING;

MARIA.workspace = 1980;

SOLVE MARIA USING LP MINIMIZING OBJ;

execute_unload "resultados.gdx", R PR IM PRD OBJER OBJR OBJ OBJE E POP EP;

execute 'gdxxrw.exe resultados.gdx O=C:\Maria\ModeloFinal\resultados\resultados.xls
var=R rng=r!A1:ZZ640000 rdim=4 cdim=1';

execute 'gdxxrw.exe resultados.gdx O=C:\Maria\ModeloFinal\resultados\resultados.xls
var=PR rng=pr!A1:ZZ64000 rdim=3 cdim=2';

execute 'gdxxrw.exe resultados.gdx O=C:\Maria\ModeloFinal\resultados\resultados.xls
var=IM rng=im!A1:F64000 rdim=3 cdim=1';

execute 'gdxxrw.exe resultados.gdx O=C:\Maria\ModeloFinal\resultados\resultados.xls
var=PRD rng=prd!A1:ZZ64000 rdim=3 cdim=2';

execute 'gdxxrw.exe resultados.gdx O=C:\Maria\ModeloFinal\resultados\resultados.xls
var=OBJER rng=objr!A1';

execute 'gdxxrw.exe resultados.gdx O=C:\Maria\ModeloFinal\resultados\resultados.xls
var=OBJR rng=objr!A3';

execute 'gdxxrw.exe resultados.gdx O=C:\Maria\ModeloFinal\resultados\resultados.xls
var=E rng=e!A1:ZZ64000 rdim=1';

execute 'gdxxrw.exe resultados.gdx O=C:\Maria\ModeloFinal\resultados\resultados.xls
var=POP rng=p!A1:ZZ64000 rdim=1';

execute 'gdxxrw.exe resultados.gdx O=C:\Maria\ModeloFinal\resultados\resultados.xls
var=OBJ rng=obj!A3';

execute 'gdxxrw.exe resultados.gdx O=C:\Maria\ModeloFinal\resultados\resultados.xls
var=OBJE rng=obj!A1';

execute 'gdxxrw.exe resultados.gdx O=C:\Maria\ModeloFinal\resultados\resultados.xls
var=EP rng=ep!A1:ZZ64000 rdim=1';