



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
SISTEMA DE BIBLIOTECAS DA UNICAMP
REPOSITÓRIO DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA E INTELLECTUAL DA UNICAMP

Versão do arquivo anexado / Version of attached file:

Versão do Editor / Published Version

Mais informações no site da editora / Further information on publisher's website:

https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-20032019000100127

DOI: 10.1590/1234-56781806-94790570108

Direitos autorais / Publisher's copyright statement:

©2019 by Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural. All rights reserved.

DIRETORIA DE TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO

Cidade Universitária Zeferino Vaz Barão Geraldo

CEP 13083-970 – Campinas SP

Fone: (19) 3521-6493

<http://www.repositorio.unicamp.br>

A Intermodalidade no Transporte de Etanol Brasileiro: aplicação de um modelo de equilíbrio parcial¹

Jamile de Campos Coleti² e Andrea Leda Ramos de Oliveira³

Resumo: A busca por fontes de energia renováveis tem aumentado a demanda mundial de etanol. O Brasil é o segundo maior produtor; porém, os custos para transportar a produção são cada vez mais altos. O objetivo do presente artigo é analisar as alternativas de transporte para o etanol frente às condições da logística vigentes no Brasil. Para tanto, propõe-se a aplicação de um modelo de equilíbrio parcial na forma de um Problema de Complementaridade Mista (PCM). Foram avaliados três cenários: o primeiro representa uma perspectiva atual e vigente, em que são praticadas rotas rodoviárias e rodoferroviárias. No Cenário 2 estimou-se uma redução de 15% no valor do frete ferroviário e, no Cenário 3, são incluídos novos projetos dutoviários em curso no País. O Cenário 3 apresentou os melhores volumes de comercialização, com aumento de 0,20% em relação ao cenário-base e um aumento nas divisas de 27 milhões de dólares, indicando que os projetos viários que priorizam a intermodalidade, sobretudo através da dutovia, implicam reduções no custo de transporte e conferem melhoria na eficiência do sistema logístico. Como proposta futura, sugere-se a inclusão do subsídio norte-americano para o etanol, pois tal parâmetro pode alterar a competitividade brasileira.

Palavras-chaves: etanol, equilíbrio espacial, logística, simulação.

Abstract: *The search for renewable energy sources has increased the world demand for ethanol. Brazil is the second largest producer, but the costs to transport this production are increasing. The aim of this paper is to analyze alternatives to transport ethanol in relation to the current logistics conditions in Brazil. To perform this, it is proposed to apply a partial equilibrium model in the form of a Mixed Complementarity Problem (PCM). Three scenarios were evaluated: the first represents the current perspective, road and railroad routes are practiced. In Scenario 2, a 15% reduction in the value of rail freight was estimated, and scenario 3 includes new pipeline projects underway in the country. Scenario 3 presented the best commercialization volumes with a 0.20% increase in relation to the baseline scenario and an increase in foreign exchange of US\$ 27 million, indicating that road projects that prioritize intermodality, mainly through pipelines, imply reductions in transportation*

1. Data de submissão: 16 de novembro de 2016. Data de aceite: 22 de abril de 2018.

2. Universidade do Estado de Minas Gerais. Frutal-MG, Brasil. E-mail: jamile.coleti@gmail.com

3. Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, Brasil. E-mail: andrea.oliveira@feagri.unicamp.br

costs and an improvement in efficiency of the logistic system. As a future proposal, it is suggested to include the US subsidy for ethanol, since such a parameter could alter Brazilian competitiveness.

Key-words: *ethanol, spatial equilibrium, logistics, simulation.*

Classificação JEL: Q13.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1234-56781806-94790570108>

1. Introdução

O Brasil apresenta um alto índice de desenvolvimento dos sistemas agroindustriais e os avanços conquistados pelo agronegócio nos últimos anos estão sendo acompanhados por diversos setores da economia; contudo, a configuração logística atual tem revelado diversas fragilidades em relação ao transporte e à armazenagem das cargas agrícolas.

A demanda mundial por etanol vem aumentando em razão de uma maior busca por fontes de combustíveis renováveis. Diversos países têm aumentado a porcentagem de mistura de etanol anidro na composição da gasolina (LIMA; TULLIO, 2015), intensificando os fluxos comerciais e impondo a logística de distribuição para que seja possível obter vantagens competitivas que se reflitam no preço total do produto.

De acordo com Souza Filho (2014), a logística é responsável pelo fluxo físico e de informações, desde a obtenção da matéria-prima até a distribuição do produto final. Tal atividade é de extrema importância, já que muitas matérias-primas agrícolas perdem suas qualidades se não são colhidas no tempo certo, transportadas em condições específicas e processadas logo após a colheita.

Segundo Oliveira (2014), a expressão “apagão logístico” vem permeando as discussões sobre questões relacionadas ao transporte, a portos e à armazenagem no Brasil. As dificuldades de escoamento dos produtos agropecuários estão tomando a atenção no ambiente público e privado. Dessa forma, a logística ultrapassa a função de apenas movimentação de mercadorias e passa a assumir um papel estratégico no agronegócio.

O transporte das cargas agrícolas é uma atividade onerosa, uma vez que os produtos apresentam baixo valor agregado e o custo de transportar tem grande participação no custo total do produto, afetando sua competitividade.

No caso do etanol, embora o Brasil ocupe a posição de segundo maior produtor mundial, as deficiências do sistema logístico fazem com que o produto perca competitividade ao longo da cadeia de distribuição em relação aos grandes *players* mundiais.

Soma-se a isso a queda na produção de etanol das últimas safras, reflexo das instabilidades pelas quais o setor está passando. Logo, se vê necessário o desenvolvimento de políticas públicas para que o segmento consiga se recuperar nos próximos anos.

Isto posto, o objetivo deste artigo é analisar as alternativas de transporte para diferentes rotas de etanol frente às condições logísticas vigentes no Brasil, avaliando as implicações das limitações da infraestrutura de transporte na promoção do aumento da competitividade do etanol nos mercados nacional e internacional.

Para tanto, propõe-se um modelo de equilíbrio parcial na forma de um Problema de Complementaridade Mista (PCM) aplicado ao etanol. O modelo também avalia dois cenários alternativos que consideram a redução dos custos logísticos com vistas à orientação de novos projetos viários.

O presente artigo conta com a presente introdução seguida da seção 1, que faz uma apresentação sobre o mercado do etanol no Brasil e a logística de transporte. Na seção 2 são apresentadas a metodologia e a descrição dos dados. Os principais resultados e as

considerações finais são apresentados nas seções 3 e 4, respectivamente.

2. O transporte de etanol no Brasil

As chamadas energias renováveis estão amplamente disponíveis, garantindo maior segurança em relação ao abastecimento de energia, além de reduzir a dependência das importações de petróleo (GOLDEMBERG, 2007).

O Brasil ocupa a posição de segundo maior produtor de etanol do mundo, de acordo com dados da Unica (2015). Na safra 2015/2016, o Brasil produziu cerca de 30 milhões de m³, atrás apenas dos Estados Unidos.

Leite (2012) aponta que a produtividade industrial do etanol saltou de 2.600 litros/ha na década de 1970 para os cerca de 7.000 litros/ha em 2012, junto à redução dos custos de produção, que passaram de cerca de R\$ 3,00/litro em 1970 para menos de R\$ 1,00/litro em 2002.

Lemos *et al.* (2015) afirmam que, na safra 2011/2012, cerca de 16% das usinas brasileiras atingiam níveis de produtividade acima de 6.500 litros/ha, classificadas como de alta produtividade. Em contrapartida, 14% das usinas apresentam níveis de produtividade classificados como “muito baixo”, com a justificativa de que a baixa produtividade decorre principalmente da falta de investimento na renovação do canavial e em tratamentos culturais. Vale ressaltar que as usinas estão localizadas em regiões consideradas como de recente expansão da cana-de-açúcar, que inclui os estados de GO, MG, MS, PR e o norte de SP (IBGE, 2018).

Freitas e Kaneko (2011) afirmam que o fato de o etanol ser utilizado para fins carburantes – tanto como aditivo à gasolina como para o abastecimento direto aos veículos *flexfuel* – está sendo responsável por profundas mudanças na dinâmica do consumo de combustível no Brasil, se comparado à década de 1970, quando a matriz energética era composta apenas por combustíveis não renováveis.

O aumento dos preços do petróleo, a forte demanda por fontes de energia limpas e renováveis e a intensa comercialização de carros *flexfuel* criaram um cenário bastante favorável para produção do biocombustível.

O etanol apresenta também vantagens ambientais, já que sua combustão gera menos dióxido de carbono

que a gasolina. As vantagens ambientais da utilização de biocombustíveis líquidos vão além de mitigarem os chamados “gases de efeito estufa”, agindo também sobre os hidrocarbonetos e óxidos de enxofre e nitrogênio, prejudiciais para a saúde do homem e do meio ambiente (URQUIAGA *et al.*, 2005).

Estimativas da Unica (2018) indicam que, para a safra de 2018/19, pode-se esperar que o País esteja produzindo 27,1 bilhões de litros de etanol, o que representaria acréscimo de 5,2% na quantidade produzida em relação à safra atual.

Outro fator importante a ser discutido é a participação de capital estrangeiro no setor. Nos últimos anos, um processo acentuado de fusões e aquisições atingiram as empresas do setor sucroalcooleiro. Segundo Moraes *et al.* (2013), essas estratégias alteraram de forma significativa a estrutura desse mercado, criando grandes grupos nacionais e estrangeiros que buscavam o aumento da eficiência e da competitividade – através de ganhos de escala, escopo e de sinergias entre as empresas – gerando a necessidade de estruturas de comercialização mais eficientes e investimentos em desenvolvimento de novos produtos e tecnologias. De acordo com Nastari (2010), a participação dos grupos estrangeiros na moagem da cana-de-açúcar em 2008 era de 12,4%; passou para 18,4% em 2009 e, com o surgimento da *joint-venture* Raízen, esse percentual chegou a 22,9%.

O estado de São Paulo é responsável por processar cerca de 55% do total de matéria-prima produzida no País e ocupa a posição de principal estado produtor de etanol. Em seguida vem o estado de Goiás, responsável por processar (9%), Minas Gerais (8%), Paraná (6%), Mato Grosso do Sul (6%) e Mato Grosso (2%) (UNICA, 2015).

Na região Nordeste, os estados têm menor participação no processamento da cana-de-açúcar, sendo que os estados mais representativos, Alagoas e Pernambuco, representam apenas 3% e 2% respectivamente, do total de matéria-prima processada no País.

Segundo Petean *et al.* (2011), a produção do etanol, por ser uma atividade agroindustrial, tem influência direta da sazonalidade do plantio e colheita da cana-de-açúcar, sendo os meses de dezembro a março os períodos considerados de entressafra e os demais meses, de safra.

Em termos de exportação, de acordo com dados da Secex (2018), foram exportados 2 milhões de metros

cúbicos de etanol na safra 2015/16, representando apenas 7% do total produzido pelo País. Em relação aos compradores de etanol brasileiro, os Estados Unidos são, de fato, o grande comprador mundial de etanol brasileiro, seguida da Coreia do Sul e da Holanda.

Com relação ao consumo de combustíveis no Brasil, dados da Anfavea (2014) mostram que, de 2004 para 2013, houve aumento de 108,6% no consumo de etanol hidratado no transporte, enquanto para a gasolina a elevação foi de 67,36% no transporte. Ainda em relação ao consumo, observa-se elevação de 257,09% nas licenças de veículos novos *flex-fuel* no período de 2004 a 2013, enquanto houve queda de cerca de 60% na licença de veículos novos movidos a gasolina para o mesmo período. Isso indica um novo perfil de consumo criado a partir do advento da tecnologia *flex-fuel* e o resultado das políticas desenvolvidas no programa Proalcool (Programa Nacional do Alcool)⁴.

A despeito do menor incremento do consumo de gasolina, é preciso mencionar o fato da tradição do consumo deste combustível, o que promoveu melhor distribuição do sistema logístico. Isso fez com que um maior número de unidades de armazenamento/tanque intermediária (pontos concentradores de carga) fosse implantado, o que por conseguinte facilita seu sistema de distribuição.

Em relação aos custos logísticos, têm grande participação na composição do preço final do produto. Assim, quanto menor o preço final do bem, maior será a participação dos custos logísticos em seu preço (BALLOU, 2004).

Quando fala-se em termos de eficiência energética, dados da Novacana (2013) mostram que a eficiência do etanol equivale a 68% do desempenho da gasolina nos motores, o que se pode considerar como desvantagem para o consumo do biocombustível. Atualmente, um levantamento de preços relativos realizado pela ANP (2017), apenas na região Sudeste do Brasil é vantajoso o consumo de etanol perante ao de gasolina se levada em conta a eficiência média do combustível.

Considerando-se esses dois elementos, custos logísticos e eficiência energética, nota-se os entraves para o etanol. Isto porque a gasolina, além de apresen-

tar maior eficiência do que o etanol, seu preço relativo também é mais alto, o que pressupõe que os custos logísticos ocupem uma parcela menor na composição do valor final do produto.

Carvalho e Caixeta Fiho (2007) afirmam que um sistema logístico eficiente é uma condição básica para a competitividade de todos os setores da economia, já que busca orientar os processos produtivos, atendendo à demanda por produtos no sentido de qualidade, prazos, assistência técnica e inovações.

No caso, a crescente demanda por etanol requer altas inversões em unidades de armazenamento/tanque em locais estratégicos e uma estrutura de transporte que seja compatível com a crescente produção e consumo deste combustível.

A expansão da área plantada de cana-de-açúcar pode desempenhar forte pressão no sistema de transporte de etanol. O Brasil é o segundo maior produtor e consumidor de etanol do mundo, atrás apenas dos Estados Unidos; porém, seu poder de competitividade é reduzido devido aos problemas de infraestrutura e logística, que causam incertezas quanto às garantias de fornecimento.

De acordo com Mitsutani (2010), o fato de existir uma concentração da produção de etanol e uma pulverização do consumo leva a um distanciamento dos centros produtores aos centros consumidores, implicando em maiores custos logísticos. Atualmente, o País opera com as seguintes modalidades de transporte: rodoviário, ferroviário, aquaviário, dutoviário e aéreo, sendo que a grande maioria das commodities agrícolas são transportadas via modal rodoviário.

O modal rodoviário é predominante no transporte de cargas no Brasil, atingindo praticamente todos os pontos do território nacional. É responsável por mais de 60% do sistema de transporte brasileiro. Esse modal é indicado para distâncias menores; porém, não é isso que ocorre: devido à sua alta disponibilidade, as cargas agrícolas acabam percorrendo longas distâncias utilizando modal rodoviário.

O custo do transporte rodoviário é representado pelo termo "frete". Dentre os modais terrestres, o rodoviário apresenta o maior custo e, ainda sim, é o mais utilizado.

A grande quantidade de unidades produtoras e sua proximidade com os centros de distribuição justifica a predominância do modal rodoviário para o transporte de etanol, que é mais competitivo em rotas

4. O Próalcool financiou uma expansão da produção de álcool, tanto anidro como hidratado, este produzido em boa parte nas destilarias autônomas, que foram construídas em quase todas as regiões do território brasileiro (RAMOS, 2016).

curtas e baixos volumes de carga. Em raros casos, ocorrem as “pontas rodoviárias”, curtos trechos rodoviários até terminais de transbordo para outros modais de transporte.

De acordo com Milanez *et al.* (2010), as usinas estão situadas, em geral, em regiões agrícolas com difícil acesso às importantes vias de transporte e, devido ao valor de sua produção, é inviável o investimento em outras modalidades de transporte.

A possibilidade de entrega “porta a porta”, é uma vantagem, em que ocorre à entrega direta das usinas aos revendedores de combustíveis; em alguns casos são possíveis acordos de transporte direto da usina para os postos de gasolina.

Já o modal ferroviário, de acordo com Ballou (2004), apresenta alto custo fixo, embora apresente maior capacidade de transporte de carga – gerando economias de escala – e, por ser mais lento, é recomendado seu uso para granéis sólidos, em grandes quantidades, em percursos maiores e que tenham prazos razoáveis. A Tabela 1 indica a utilização da ferrovia para o transporte de etanol entre 2011 e 2013.

Dentre as vantagens obtidas na utilização da ferrovia no transporte de etanol, estão: o barateamento do produto, aumentando a competitividade no mercado externo; redução dos congestionamentos de carretas nas vias portuárias, além da melhoria ambiental a partir da redução de emissões de gás carbônico (JANOTTI *et al.*, 2012).

Em relação ao modal aquático, para a movimentação de produtos do segmento sucroenergético do Centro-Sul do Brasil, a única hidrovia que atende ou tem capacidade de atender à movimentação desses produtos é a Tietê-Paraná, sendo que esta, devido à forte estiagem, ficou não navegável em 2014 e 2015, voltando às suas operações somente em 2016.

Por outro lado, alguns investimentos em alcooldutos foram implementados, buscando a superação de gargalos no mercado de transporte de combustíveis, como é o caso do projeto Logum, um complexo intermodal de dutovia e ferrovia que está presente em três

estados: São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais. Para Milanez *et al.* (2010), novos ganhos de competitividade podem ser obtidos com o início da operação dos chamados “alcooldutos”.

O período de safra das usinas sucroalcooleiras dura cerca de sete meses e são estocados cerca de 60-70% da capacidade produtiva. Esse etanol armazenado deve ser comercializado ao longo do ano (SCANDIFFIO; LEAL, 2008).

A movimentação de etanol se inicia em uma das unidades produtoras. Em seguida, o etanol é transferido para os centros coletores para ser armazenado. Por vezes, o produto pode ser transferido diretamente para a base de distribuição (primárias ou secundárias). Esse transporte é feito majoritariamente via modal rodoviário.

Oliveira (2015) afirma que, após o recebimento no centro coletor, o etanol é transportado até as bases de distribuição e, posteriormente, movimentado das bases até o mercado interno ou até os portos. O produto que tem como destino o mercado interno (postos de abastecimento ou revendedor retalhista) é, em geral, enviado pelo modal rodoviário.

Figueiredo (2005) realizou um levantamento com 30 empresas e entidades do setor privado, constatando que 100% dos combustíveis líquidos do Brasil são transportados via modal rodoviário, inclusive para distâncias superiores a 500 km. A conclusão de seu estudo revela que as malhas dutoviária, ferroviária e aquaviária brasileira ainda são insuficientes para as necessidades de transferências de combustíveis até as bases secundárias.

A Figura 1, a seguir, ilustra a dinâmica do transporte de etanol, desde as usinas/destilarias até o destino final. Segundo dados da ANP (2012), no Brasil existem cerca de 329 bases de distribuição de combustível.

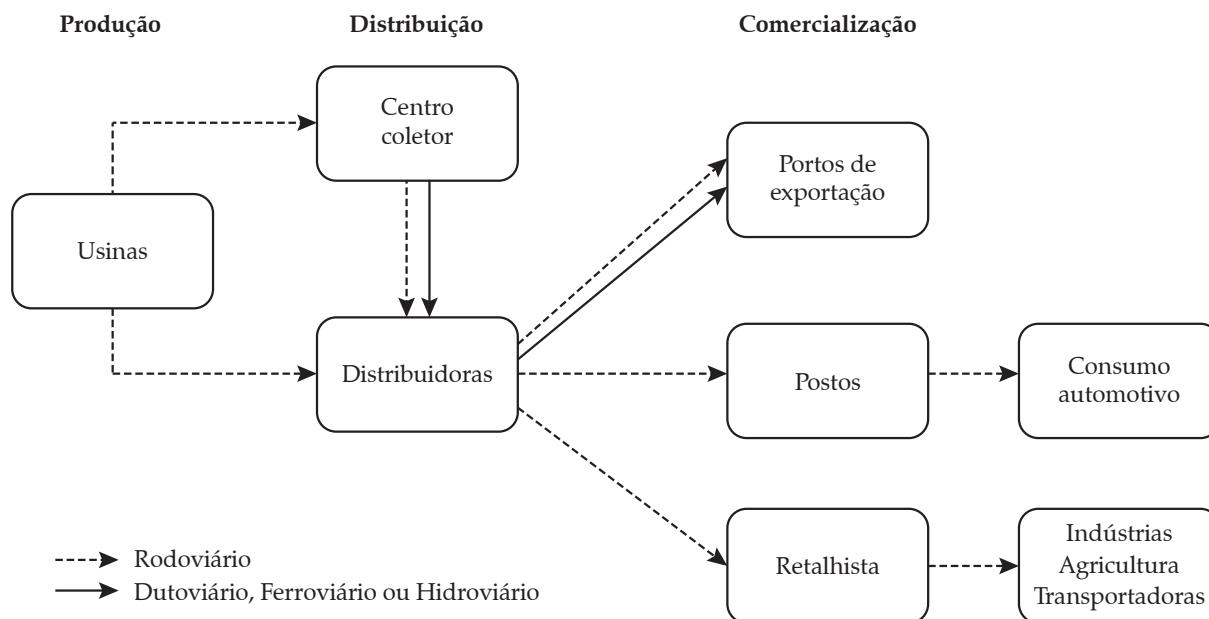
A iniciativa privada, principal *stakeholder* do setor logístico, tem feito investimentos para melhorias na malha de transporte. Um exemplo é o da Odebrecht TransPort – em associação com Petrobras, Camargo Corrêa, Cosan Açúcar e Álcool, Copersucar e Uniduto

Tabela 1. Participação do transporte ferroviário de etanol para o período 2011-2013 (%)

Ferrovia	2011	2012	2013
Participação de combustíveis na movimentação ferroviária	2,79	2,26	2,14
Participação do etanol na movimentação de combustíveis	22,8	25,9	27,3
Participação do etanol na movimentação ferroviária	0,64	0,58	0,58

Fonte: ANTT (2015).

Figura 1. Dinâmica do transporte de etanol



Fonte: Adaptado de Oliveira (2014).

Logística – que desenvolveu um projeto para construção de um sistema logístico intermodal composto por uma rede de polidutos. O sistema permite a armazenagem de longa distância para combustíveis claros, com ênfase em etanol – um negócio estimado em R\$ 6 bilhões. O sistema visa integrar dutos aos modais ferroviário, rodoviário e marítimo – essencial no processo de exportação.

Essa integração entre as diferentes modalidades de transporte vai abranger vários estados-chaves brasileiros produtores de etanol. A capacidade de transporte prevista será de 21 bilhões de litros por ano e a meta de redução de custos de transporte de 20% (ODEBRECHT, 2011). Esta é a comprovação da necessidade de investimentos no setor como uma tentativa de assegurar competitividade mediante o mercado concorrencial.

Lício (1995) aponta a necessidade da viabilização e integração dos corredores de transporte intermodais (rodovia, ferrovia, dutovia e hidrovia) como instrumento para alavancar a competitividade no transporte de cargas, unindo as áreas de produção, os centros consumidores e o mercado internacional.

Segundo Caixeta Filho e Gameiro (2001), a intermodalidade tem importância muito grande para o desenvolvimento das nações no que tange à redistribuição

dos seus sistemas internos de transporte, buscando obter melhor colocação no processo de globalização.

O Brasil precisa caminhar rumo à incorporação de um sistema intermodal de transporte buscando obter vantagens competitivas, como a redução dos custos, *transit-time* menor e redução dos riscos de transporte de cargas.

3. Metodologia

Samuelson (1952) foi pioneiro ao mostrar que seria possível resolver, através de programação matemática, problemas de equilíbrio espacial entre diferentes mercados. Ele propôs um problema de dois mercados espacialmente separados em uma economia não normativa em um programa matemático de maximização. Este problema foi formulado com o intuito de maximizar sob todas as curvas de excesso de demanda menos a área de todas as curvas de excesso de suprimento, menos o total de custos de transporte, resultando numa solução competitiva de equilíbrio espacial, ou seja, baseado nas áreas resultantes da intersecção das curvas destas três variáveis.

Takayama e Judge (1971) usaram funções de oferta e demanda para obter dimensões espaciais e intertem-

porais de preço, produção, fator de uso e consumo determinados através de um quadro de programação quadrática. A partir da formulação de Samuelson foi desenvolvido um algoritmo adequado para solucionar as condições de equilíbrio espacial envolvendo commodities transacionadas entre diferentes regiões.

De acordo com Alvim (2003), diferentes abordagens teóricas têm sido usadas para mensurar as interações entre oferta e demanda, com ênfase para os modelos de equilíbrio geral e equilíbrio parcial.

Oliveira (2011) afirma que os modelos de equilíbrio geral demandam certa quantidade de informações que por vezes não estão disponíveis, portanto, é preciso adotar hipóteses simplificadoras comprometendo os resultados obtidos. No modelo de equilíbrio parcial, analisam-se os efeitos diretos de qualquer política de comércio sobre um determinado mercado.

Por se tratar de uma commodity agrícola em que sua comercialização passa por origem e destino e sofre influência da elasticidade, os modelos de equilíbrio parcial ou espacial são os mais adequados para este trabalho (BROWN; DRYNAN, 1986).

Mattei (2007) afirma que os modelos de equilíbrio espacial podem ser utilizados para avaliar os efeitos de políticas agrícolas, comerciais ou climáticas no setor agrícola ou florestal.

Para o caso do setor sucroenergético, Satolo e Caixeta Filho (2010) avaliaram o impacto da entrada em operação de novas usinas e destilarias na safra 2010/11 sobre a distribuição do etanol hidratado da região Centro-Oeste. Os autores utilizam o modelo de equilíbrio espacial de preços para analisar tal impacto. O principal resultado da pesquisa indicou que a comercialização da região deve priorizar o destino para o estado de São Paulo, importante player no mercado de etanol.

Para prever os impactos e efeitos da adoção de novas políticas de transporte para o comércio brasileiro do etanol, foi desenvolvido nesse trabalho um modelo de equilíbrio parcial formulado como um Problema de Complementaridade Mista (PCM) para a movimentação do etanol, proposto por Oliveira (2011).

3.1. Descrição dos dados do modelo

Inicialmente foram definidas quais seriam as rotas de transporte de etanol analisadas, a partir de dados de oferta e demanda de etanol. As regiões foram selecio-

nadas de acordo com sua importância para a dinâmica comercial do produto. Isso foi possível através da análise do comportamento das seguintes variáveis durante 2013: produção de etanol, rendimento médio, área cultivada, exportações, consumo e capacidade industrial das usinas sucroalcooleiras.

A definição das regiões que fazem parte do modelo foi feita através de sua expressividade na participação das variáveis. O intuito foi de caracterizar a dinâmica do mercado de etanol nestas regiões, onde se acredita que está concentrada a maior parte do potencial do setor sucroalcooleiro.

A região Centro-Sul foi selecionada devido à sua importante participação do setor, já que é responsável por mais de 90% da produção de etanol no Brasil. Os estados que compõem as regiões de oferta são: São Paulo, Goiás e Mato Grosso do Sul⁵, sendo que só o estado de São Paulo é responsável por mais de 50% da produção total de etanol.

A Macrorregião 1 representa as mesorregiões de São José do Rio Preto e Ribeirão Preto. Essa região representa cerca de 24% de todo etanol produzido no Brasil. As mesorregiões que compõem a Macrorregião 2 são: Araraquara, Piracicaba e Campinas, que juntas produzem aproximadamente 13% do total de etanol. A Macrorregião 3 é composta pelas seguintes mesorregiões: Araçatuba, Bauru, Presidente Prudente, Marília, Assis e Itapetininga, que são responsáveis por cerca de 14% da produção total de etanol no Brasil.

Os estados de Goiás e Mato Grosso do Sul produzem juntos cerca de 22% do total de etanol brasileiro (UNICA, 2015).

As regiões de excesso de demanda foram definidas a partir do seguinte critério: se a produção de etanol for maior que a quantidade consumida, então esta região é de excesso de oferta, e o inverso é caracterizado como uma região de excesso de demanda. Portanto, o estado de Minas Gerais, embora seja o terceiro maior produtor, consome cerca de 90% de sua produção, não apresentando fluxo suficiente para ser região de excesso de oferta.

As regiões Nordeste, Sul e o estado do Rio de Janeiro são responsáveis por absorver grande parte do excedente do etanol produzido na região Centro-Sul e, portanto, são considerados como regiões de destino.

5. Minas Gerais não é considerado como região de excesso de oferta pois absorve cerca de 90% da sua produção.

Em relação à demanda internacional, foram selecionados Estados Unidos, Coreia do Sul e Holanda, além do resto do mundo. Os Estados Unidos são o maior produtor de etanol do mundo e têm a maior participação nas importações do mercado brasileiro. Já a Coreia do Sul e a Holanda, de acordo com dados de exportação, são os segundo e terceiro maiores importadores de etanol brasileiro, respectivamente (SECEX, 2018).

As seguintes variáveis compõem o modelo: produção, consumo, preços de comercialização nacional e internacional, fretes dos diferentes modais, elasticidades-preço da oferta e da demanda. O ano base das variáveis foi 2013.

Os dados de produção tiveram como fonte o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os dados de consumo e preço de comercialização nacional e internacional de combustíveis tiveram como origem a base de dados da Associação Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Os valores dos fretes foram obtidos no informativo Sifreca. Já os dados de elasticidade-preço de oferta e demanda foram obtidos em estudos desenvolvidos por Beiral (2011), Boff (2009), Luchansky e Monks (2009).

O Cenário 1 representa uma perspectiva atual e vigente da distribuição de etanol onde são praticadas rotas rodoviárias e rodoferroviárias. Os cenários 2 e 3 apresentam uma perspectiva positiva na busca de um equilíbrio na matriz de transporte de etanol.

No Cenário 2 foi proposta uma redução de 15%⁶ do valor do frete do transporte ferroviário, alterando, assim, a dinâmica de transporte das rotas. Este cenário trabalha com a perspectiva de políticas de transporte que fomentem o sistema ferroviário.

No Cenário 3 utiliza-se uma nova política de abastecimento que incorpora as rotas do Projeto Logum de alcoolodutos, que parte de uma perspectiva intermodal.

3.2. Aplicação do PCM para o etanol brasileiro

De acordo com Oliveira (2011), o PCM consiste em um sistema de equações simultâneas (que podem ser lineares ou não lineares), que são descritas como desigualdades, que é alimentado pelas funções de oferta e demanda.

6. O valor do desconto de 15% foi adotado com base em entrevistas com os principais *players* do setor de etanol.

O PCM proposto para analisar o mercado de etanol brasileiro é apresentado a seguir:

Índices:

- i : regiões de oferta de etanol ($i = 1, 2, 3, \dots, 5$)
- j : regiões de consumo interno para o etanol ($j = 1, 2, 3$)
- k : regiões de demanda internacional para o etanol ($k = 1, 2, 3$)
- r : rotas de transporte de etanol ($r = 1, 2, \dots, 18$)

Variáveis:

- p_i : preço de oferta
- p_j : preço do consumo interno
- p_k : preço da demanda internacional
- x_i : quantidade ofertada
- y_j : consumo interno
- y_k : consumo da demanda internacional
- θ_{\dots} : quantidade movimentada

Parâmetros:

- t_{\dots} : custo de transporte
- ∂_i : preço-sombra da região de oferta i (de etanol)
- φ_j : preço sombra da região de consumo j
- φ_k : preço sombra da região de consumo k

Observando as equações abaixo, nota-se que o símbolo “ \perp ” significa que pelo menos uma das desigualdades adjacentes deve ser satisfeita como igualdade estrita. As equações (4) e (5) estão descritas assim devido à uma formalidade da complementariedade para satisfazer as condições de Karush-Kuhn-Tucker. Neste caso, o Cenário 2 propõe um desconto da tarifa de frete ferroviário.

$$0 \leq \partial_i \perp \sum_j \theta_{ij} + \sum_k \theta_{ik} \leq x_i \quad (1)$$

$$0 \leq \varphi_j \perp y_j \leq \sum_i \theta_{ij} \quad (2)$$

$$0 \leq \varphi_k \perp y_k \leq \sum_i \theta_{ik} \quad (3)$$

$$0 \leq \theta_{ij} \perp p_i + t_{ij} \geq p_j \quad \forall_{i,j} \quad (4)$$

$$0 \leq \theta_{ik} \perp p_i + t_{ik} \geq p_k \quad \forall_{i,k} \quad (5)$$

As tarifas tax_{ik} e tax_{ij} foram incluídas devido à condição de lucro zero, apresentado nas equações (6 e 7), em que há incorporação de um novo parâmetro. Em Bishop *et al.* (2001), a tarifa apresenta implicações

apenas nos fluxos destinados ao mercado internacional, impedindo a condição de lucro zero. Na presente proposta, esta tarifa representa a variação do custo de transporte, logo:

$$(p_i + t_{ik}) \cdot 1 + tax_{ik} \geq p_k \quad \forall i, k \quad (6)$$

$$(p_i + t_{ij}) \cdot 1 + tax_{ij} \geq p_j \quad \forall i, j \quad (7)$$

O PCM desenvolvido para a movimentação de etanol no Brasil foi processado através do programa computacional *General Algebraic Modeling System – GAMS* (BROOKE *et al.*, 1995).

4. Resultados e simulações

Buscando apresentar resultados, o modelo de equilíbrio espacial obtido para a movimentação de etanol brasileiro passou por um processo de verificação dos dados. Sendo assim, a Tabela 2 apresenta os dados observados e os resultados estimados pelo modelo.

Segundo Alvim (2003) e Waquil (1995), em relação às variações observadas, as diferenças entre os resultados estimados e os dados observados podem ocorrer na aplicação de modelos de equilíbrio espacial. Porém, a validação no modelo se comprova já que o volume total ofertado é igual ao volume total exportado (soma da demanda doméstica e internacional).

Se comparadas as variações no total movimentado em cada cenário, é possível identificar melhora em relação aos resultados obtidos. O Cenário 3 apresenta uma variação positiva do fluxo movimentado da ordem de 0,20% em relação ao cenário-base, comprovando a hipótese da presente proposta de que a inclusão da intermodalidade e da dutovia pode gerar uma melhoria na eficiência do sistema logístico.

A Tabela 3 mostra a calibração do modelo em termos de preços. Os itens A, B e C representam os preços obtidos através do modelo para os Cenários 1, 2 e 3, respectivamente, e o item D representa os preços observados no mercado. As variações indicam que o Cenário 3 apresentou melhor comportamento de preços para a maioria das regiões consideradas no modelo.

Tabela 2. Dados estimados e observados (em mil m³)

Oferta*	Cenário 1 (A)	Cenário 2 (B)	Cenário 3 (C)	Dados observados (D)	% (B/A)	% (C/A)	% (A/D)
Macrorregião 1	1.405,81	1.407,98	1.410,01	1.331,72	0,15	0,30	5,56
Macrorregião 2	742,73	743,26	745,21	704,47	0,07	0,33	5,43
Macrorregião 3	810,00	809,94	812,40	769,74	-0,01	0,30	5,23
Goiás	1.667,33	1.668,86	1.672,28	1.583,70	0,09	0,30	5,28
Mato Grosso do Sul	1.697,66	1.702,17	1.696,22	1.628,91	0,27	-0,08	4,22
Total Oferta	6.323,54	6.332,21	6.336,12	6.018,55	0,14	0,20	5,07
Demanda Doméstica	Cenário 1 (A)	Cenário 2 (B)	Cenário 3 (C)	Dados observados	% (B/A)	% (C/A)	% (A/D)
Nordeste	822,15	819,83	814,68	927,17	-0,28	-0,91	-11,33
Sul	1.755,72	1.757,13	1.742,30	2.128,90	0,08	-0,76	-17,53
Rio de Janeiro	1.046,55	1.048,98	1.038,59	1.158,99	0,23	-0,76	-9,70
Subtotal	3.624,43	3.625,94	3.595,57	4.215,06	0,04	-0,80	-14,01
Demanda Internacional	Cenário 1 (A)	Cenário 2 (B)	Cenário 3 (C)	Dados observados	% (B/A)	% (C/A)	% (A/D)
Estados Unidos	2.104,56	2.104,24	2.127,82	1.636,62	-0,02	1,11	28,59
Coreia do Sul	371,45	377,26	383,26	143,36	1,56	3,18	159,10
Países Baixos	169,11	168,80	174,77	363,49	-0,18	3,34	-53,48
Resto do Mundo	53,99	55,97	54,71	50,00	3,66	1,32	7,98
Subtotal	2.699,11	2.706,27	2.740,55	2.193,47	0,26	1,54	23,05
Total Demanda	6.323,54	6.332,21	6.336,12	6.408,53	0,14	0,20	-1,33

* Macro 1: São José do Rio Preto e Ribeirão Preto; Macro 2: Araraquara, Piracicaba e Campinas; Macro 3: Presidente Prudente, Marília, Assis, Itapetininga, Araçatuba, Bauru.

Fonte: Dados da pesquisa (2015).

Tabela 3. Preços estimados e observados (em US\$/m³)

Oferta*	Preços Cenário 1 (A)	Preços Cenário 2 (B)	Preços Cenário 3 (C)	Preços Observados (D)	% (B/A)	% (C/A)	% (A/D)
Macrorregião 1	1.153,20	1.161,80	1.169,90	887,50	0,75	1,45	29,94
Macrorregião 2	1.170,90	1.174,90	1.189,90	906,60	0,34	1,62	29,15
Macrorregião 3	1.164,00	1.163,50	1.180,70	909,70	-0,04	1,43	27,95
Goiás	1.159,90	1.165,00	1.176,00	904,40	0,44	1,39	28,25
Mato Grosso do Sul	1.220,00	1.235,70	1.215,00	999,00	1,29	-0,41	22,12
Demanda Doméstica	Cenário 1 (A)	Cenário 2 (B)	Cenário 3 (C)	Dados observados	% (B/A)	% (C/A)	% (A/D)
Nordeste	1.348,10	1.353,20	1.364,80	1.145,90	0,38	1,24	17,65
Sul	1.256,80	1.255,10	1.273,50	901,50	-0,14	1,33	39,41
Rio de Janeiro	1.261,70	1.256,70	1.278,40	1.058,10	-0,40	1,32	19,24
Demanda Internacional	Cenário 1 (A)	Cenário 2 (B)	Cenário 3 (C)	Dados observados	% (B/A)	% (C/A)	% (A/D)
Estados Unidos	1.324,50	1.324,60	1.319,50	1.443,80	0,01	-0,38	-8,26
Coreia do Sul	1.313,90	1.314,80	1.299,20	1.390,50	0,07	-1,12	-5,51
Países Baixos	1.380,20	1.372,90	1.365,50	1.390,50	-0,53	-1,07	-0,74
Resto do Mundo	1.371,70	1.354,90	1.365,50	1.408,30	-1,22	-0,45	-2,60

* Macro 1: São José do Rio Preto e Ribeirão Preto; Macro 2: Araraquara, Piracicaba e Campinas; Macro 3: Presidente Prudente, Marília, Assis, Itapetininga, Araçatuba, Bauru.

Fonte: Dados da pesquisa (2015).

Na Tabela 4 são apresentados os resultados dos fluxos estimados pelo modelo para cada cenário. É possível perceber os ganhos com o uso da intermodalidade, sobretudo no Cenário 3. Apesar das tímidas variações, vale ressaltar que os ganhos monetários são sobremaiores, da ordem de 27 milhões de dólares.

Vale ressaltar que as rotas apresentadas no modelo são de fato praticadas, e não apresentam, portanto, valores nominais, e sim valores reais de custo de transporte.

A Tabela 5 mostra os fluxos de comercialização do etanol com destino ao mercado doméstico por rota de

transporte. As rotas R1, R3, R4, R5 e R6 apresentam um custo de transporte ótimo, sendo que R1, R3 e R5 são rotas de transporte rodoviário direto, enquanto R4 e R6 são rotas de transporte rodoferroviário. De acordo com o fluxo, a movimentação do Cenário 1 com destino ao mercado doméstico ficou concentrada na utilização da intermodalidade, em que 1.685,35 mil m³ (46%) do volume são transportados através do modal rodoviário, enquanto 1.939,08 mil m³ (54%) utilizam a intermodalidade.

A seguir, a Tabela 6 apresenta as rotas com destino ao mercado internacional.

Tabela 4. Fluxos estimados pelo modelo para o mercado interno e exportação (em mil m³)

Região de origem	Cenário 1		Cenário 2		Cenário 3	
	M.I	Exportação	M.I	Exportação	M.I	Exportação
Macro 1	998,91	406,90	781,14	626,84	1.110,89	299,12
Macro 2	148,18	594,56	366,01	377,25	0	745,21
Macro 3	810,00	0	809,94	0	812,40	0
GO	1.667,33	0	1.668,86	0	1.668,86	0
MS	0	1.697,66	0	1.702,16	0	1.696,22
Subtotal	3.624,43	2.699,11	3.625,94	2.706,25	3.595,57	2.740,55
Total	6323,54		6332,19		6336,12	

Fonte: Dados da pesquisa (2015).

Tabela 5. Cenário 1: Fluxos de comercialização do etanol com destino ao mercado doméstico por rota de transporte em mil m³

Origem**	Destino	Rotas*				
		R1	R3	R4	R5	R6
Macro 1	Sul			945,72		
Macro 1	Rio de Janeiro				53,20	
Macro 2	Rio de Janeiro					148,18
Macro 3	Sul		810,00			
Goiás	Nordeste	822,15				
Goiás	Rio de Janeiro					845,18
Total		822,15	810,00	945,72	53,20	993,36

* Rotas ímpares (R1, R3 e R5) são rotas rodoviárias, enquanto as rotas pares (R4 e R6) são rotas intermodais.

** Macro 1: São José do Rio Preto e Ribeirão Preto; Macro 2: Araraquara, Piracicaba e Campinas; Macro 3: Presidente Prudente, Marília, Assis, Itapetininga, Araçatuba, Bauru.

Fonte: Dados da pesquisa (2015).

Tabela 6. Cenário 1: Fluxos de comercialização do etanol com destino ao mercado internacional por rota de transporte em mil m³

Origem**	Destino	Rotas*			
		R8	R9	R11	R13
Macro 1	Estados Unidos	406,90			
Macro 2	Holanda		169,11		
Macro 2	Coreia do Sul			371,45	
Macro 2	Resto do Mundo				53,99
Mato Grosso do Sul	Estados Unidos	1.697,66			
Total		2.104,56	169,11	371,45	53,99

* Rotas ímpares (R9, R11 e R13) são rotas rodoviárias, enquanto a rota par (R8) é rota intermodal.

** Macro 1: São José do Rio Preto e Ribeirão Preto; Macro 2: Araraquara, Piracicaba e Campinas; Macro 3: Presidente Prudente, Marília, Assis, Itapetininga, Araçatuba, Bauru.

Fonte: Dados da pesquisa (2015).

Nota-se que, para o transporte com destino ao mercado internacional, a rodovia SP 348 é um importante corredor de acesso ao porto de Santos. A Rodovia dos Bandeirantes foi considerada, em 2013, a rodovia em melhores condições de conservação pela pesquisa rodoviária da Confederação Nacional do Transporte e junto com a Rodovia Anchieta e, com o Rodoanel Mario Covas, compreende o maior corredor rodoviário de exportação do Brasil. Porém, em relação aos volumes movimentados com destino ao mercado internacional do Cenário 1, observa-se que apenas 594,55 mil m³ (22%) utilizam o modal rodoviário direto, enquanto 2.104,56 mil m³ (78%) são mais competitivos utilizando a intermodalidade.

Logo, para o Cenário 1, a maioria das rotas é mais competitiva se transportada utilizando a intermodalidade (64%), enquanto o resultado para o modal rodo-

viário direto se mostra mais competitivo em 46% do volume movimentado no Cenário 1.

Em seguida será apresentado o Cenário 2, em que foram adicionadas as tarifas *taxik* e *taxij*, que representam um desconto de 15% no valor dos fretes ferroviários, buscando analisar o quanto um desconto influencia na adoção da intermodalidade. A Tabela 7 apresenta os fluxos de comercialização do etanol com destino ao mercado doméstico por rota de transporte.

Em relação aos volumes com destino ao mercado doméstico, no Cenário 2, o volume de 819,83 mil m³ (23%) do fluxo total são transportados via modal rodoviário direto, enquanto 2.806,11 mil m³ (77%) são mais competitivos utilizando a intermodalidade.

Nota-se que, no Cenário 2, em relação às rotas do mercado doméstico, para os fluxos com destino à região Nordeste, o transporte ótimo ainda é o rodoviário –

Tabela 7. Cenário 2: Fluxos de comercialização do etanol com destino ao mercado doméstico por rota de transporte em mil m³

Origem**	Destino	Rotas*		
		R1	R4	R6
Macro 1	Sul		781,14	
Macro 2	Sul		166,05	
Macro 2	Rio de Janeiro			199,95
Macro 3	Sul		809,94	
Goiás	Nordeste	819,83		
Goiás	Rio de Janeiro			849,03
Total		819,83	1.757,13	1.048,98

* Rota ímpar (R1) é rota rodoviária, enquanto as rotas pares (R4 e R6) são rotas intermodais.

** Macro 1: São José do Rio Preto e Ribeirão Preto; Macro 2: Araraquara, Piracicaba e Campinas; Macro 3: Presidente Prudente, Marília, Assis, Itapetininga, Araçatuba, Bauru.

Fonte: Dados da pesquisa (2015).

fluxo de 2.706,25 mil m³ (100%); porém, para as rotas com destino à região Sul e ao estado do Rio de Janeiro, o resultado ótimo apresenta uma maior competitividade das rotas intermodais.

Na Tabela 8 a seguir serão apresentados os resultados do Cenário 2 para o mercado internacional.

Em relação às rotas com destino ao mercado internacional, para todas as rotas ótimas que o modelo encontrou como melhor opção de transporte utilizaram a intermodalidade. São rotas competitivas, então, R8, R10, R12 e R14. Se compararmos com o Cenário 1, observa-se uma disparidade em relação à distribuição dos modais, já que no Cenário 2 a movimentação com destino ao mercado externo ficou concentrada 100% na intermodalidade.

Neste cenário, apenas 13% das rotas são transportadas via rodoviário direto, diferente do anterior, em

que 36% utilizavam a rodovia como principal meio de transporte.

Na Tabela 9 a seguir serão apresentados os resultados observados no Cenário 3, em que foram adicionadas quatro rotas de movimentação (R15, R16, R17 e R18) para o mercado internacional através de dutovia. Para as rotas rododiferroviárias os valores de frete ferroviário utilizados foram o praticado atualmente, assim como no Cenário 1. O objetivo deste cenário é analisar o efeito da implementação de dutovias na intermodalidade.

O Cenário 3 apresentou cinco rotas competitivas para fluxos com destino ao mercado interno; dessas, três são rodoviárias e duas, intermodais, logo, de acordo com o volume movimentado, 50% das rotas do Cenário 3 com destino ao mercado interno utilizam o modal rodoviário, representando 1.808,07 mil m³ do

Tabela 8. Cenário 2: Fluxos de comercialização do etanol com destino ao mercado internacional por rota de transporte em mil m³

Origem**	Destino	Rotas*			
		R8	R10	R12	R14
Macro 1	Estados Unidos	402,07			
Macro 1	Holanda		168,80		
Macro 1	Resto do Mundo				55,97
Macro 2	Coreia			377,25	
Mato Grosso do Sul	Estados Unidos	1.702,16			
Total		2.104,23	168,80	377,25	55,97

* Rotas ímpares são rotas rodoviárias, enquanto as rotas pares (R8, R10, R12 e R14) são rotas intermodais.

** Macro 1: São José do Rio Preto e Ribeirão Preto; Macro 2: Araraquara, Piracicaba e Campinas; Macro 3: Presidente Prudente, Marília, Assis, Itapetininga, Araçatuba, Bauru.

Fonte: Dados da pesquisa (2015).

Tabela 9. Cenário 3: Fluxos de comercialização do etanol com destino ao mercado doméstico por rota de transporte em mil m³

Origem**	Destino	Rotas*				
		R1	R3	R4	R5	R6
Macro 1	Sul			929,90		
Macro 1	Rio de Janeiro				180,99	
Macro 3	Sul		812,40			
Goiás	Nordeste	814,68				
Goiás	Rio de Janeiro					857,60
Total		814,68	812,40	929,90	180,99	857,60

* Rotas ímpares são rotas rodoviárias (R1, R3 e R5), enquanto as rotas pares (R4 e R6) são rotas intermodais

** Macro 1: São José do Rio Preto e Ribeirão Preto; Macro 2: Araraquara, Piracicaba e Campinas; Macro 3: Presidente Prudente, Marília, Assis, Itapetininga, Araçatuba, Bauru.

Fonte: Dados da pesquisa (2015).

volume, enquanto 1.787,59 mil m³ (50%) utilizam a intermodalidade.

A movimentação interna do Cenário 3 se mostra parecida com a do Cenário 1 devido ao fato de o preço do frete ferroviário não ter passado pelo desconto de 15%, como no Cenário 2. Portanto, conclui-se que a ausência das tarifas tax_{ik} e tax_{ij} (desconto de 15% no frete ferroviário) faz com que o modal rodoviário se torne mais competitivo nas movimentações de etanol com destino ao mercado doméstico.

Na Tabela 10 serão apresentados os resultados referentes às movimentações para o mercado internacional do Cenário 3. Como dito anteriormente, foram adicionadas quatro rotas: R15, R16, R17 e R18, com destino aos Estados Unidos, Holanda, Coreia do Sul e resto do mundo respectivamente, utilizando a opção intermodal rodo-duto.

Em relação às rotas competitivas identificadas no Cenário 3 para o mercado internacional a primeira observação é que, quando se colocam as três opções, modal rodoviário, intermodalidade rodo-ferro e intermodalidade rodo-duto, o modal rodoviário não aparece como competitivo, sendo assim, para o mercado internacional, no Cenário 3 apenas rotas intermodais são competitivas.

O resultado do Cenário 3 assemelha-se com o do Cenário 2 no sentido de que as rotas competitivas que possuem como destino o mercado externo são 100% intermodais para ambos os casos.

Por fim, o Cenário 3 indica que todas as rotas intermodais totalizando um fluxo movimentado de 2.740,56 mil m³ são competitivas.

Uma análise complementar foi realizada para o Cenário 3: realizamos uma análise de sensibilidade da

Tabela 10. Cenário 3: Fluxos de comercialização do etanol com destino ao mercado internacional por rota de transporte em mil m³

Origem**	Destino	Rotas*				
		R8	R15	R16	R17	R18
Macro 1	Coreia do Sul				299,12	
Macro 2	Estados Unidos		431,60			
Macro 2	Holanda			174,77		
Macro 2	Coreia do Sul				84,14	
Macro 2	Resto do Mundo					54,71
Mato Grosso do Sul	Estados Unidos	1.696,22				
Total		1.696,22	431,60	174,77	383,26	54,71

* A Rota R8 é rota intermodal rodo-ferroviária, enquanto R15, R16, R17 e R18 são rotas intermodais rodo-dutoviária.

** Macro 1: São José do Rio Preto e Ribeirão Preto; Macro 2: Araraquara, Piracicaba e Campinas; Macro 3: Presidente Prudente, Marília, Assis, Itapetininga, Araçatuba, Bauru.

Fonte: Dados da pesquisa (2015).

elasticidade-preço de oferta e da elasticidade-preço de demanda.

Rosa (2009) afirma que a análise de sensibilidade ajuda a priorizar as variáveis para melhor quantificação, buscando reduzir as incertezas dos resultados, podendo também atuar em eventuais simplificações do modelo.

Para Casarotto e Koppitke (2000), realizar uma análise de sensibilidade consiste em estudar o efeito que a variação de um dado de entrada pode ocasionar nos resultados. Segundo Butler *et al.* (1997), a análise de sensibilidade determina a robustez das soluções obtidas no processo decisório.

Gowda *et al.* (1999) afirmam que a análise de sensibilidade visa verificar se um modelo produz resultados lógicos em função de alterações em parâmetros de entrada e precisão desses parâmetros.

O parâmetro elasticidade-preço da oferta corresponde às regiões produtoras do Brasil, enquanto o parâmetro elasticidade-preço da demanda representa as regiões de consumo interno e externo.

De acordo com Alvim (2003), a elasticidade-preço da demanda mede a reação dos consumidores às alterações de preço, enquanto a elasticidade-preço da oferta mede a reação dos vendedores às alterações dos preços. Dessa forma, se ocorrerem mudanças nos preços de mercado, pode-se esperar que aconteçam modificações nos volumes consumidos e produzidos.

As variações dos volumes podem ser mais ou menos intensas, e isso ocorre de acordo com as inclinações das curvas de oferta e demanda do produto. As elasticidades-preço de oferta e demanda utilizadas neste estudo são diferentes para cada região, logo, as alterações nos preços podem significar diferentes alterações em cada região.

Sendo assim, foi simulado para o Cenário 3 um aumento de 50% nas elasticidades-preço de oferta e de demanda, ES+50 e ED+50, respectivamente, e uma diminuição de 50% nas elasticidades-preço de oferta e

de demanda, ES-50 e ED-50. A Tabela 11 indica a análise de sensibilidade realizada para o Cenário 3.

No Cenário 3, pode-se observar um aumento de 2%, logo, quando se aumenta em 50% o preço de oferta, tanto compradores quanto vendedores responderam positivamente à variação positiva da elasticidade-preço da oferta.

Este comportamento também foi observado quando se reduz a elasticidade-preço da demanda em 50%. Logo, quando se reduz a elasticidade-preço da demanda em 50% há um aumento de 8% no volume da demanda doméstica; portanto, o mercado respondeu positivamente à essa mudança e há redução de quase 11% no volume de demanda internacional; então, nesse caso, o mercado respondeu negativamente à essa alteração.

Levando em conta as restrições propostas pela teoria e aplicadas no modelo de equilíbrio espacial, os resultados demonstram que os parâmetros estimados são válidos e obedecem todas as condições estipuladas.

5. Conclusão

Os avanços conquistados pelo agronegócio nos últimos anos estão sendo acompanhados por diversos setores da economia; porém, a configuração logística atual tem revelado diversas fragilidades em relação ao transporte e armazenagem de cargas agrícolas.

A demanda mundial por etanol é crescente em razão de uma maior busca por fontes de combustíveis renováveis, sendo assim, a logística deve procurar se adequar de forma que seja possível obter vantagens competitivas sólidas.

Essa pesquisa buscou analisar as alternativas de transporte para diferentes rotas de etanol frente às condições da logística vigentes no Brasil, avaliando as implicações das limitações da infraestrutura de transporte na promoção do aumento da competitividade

Tabela 11. Análise de sensibilidade da comercialização de etanol para o Cenário 3 de acordo com as mudanças nas elasticidades-preço de oferta e demanda (em %)

	ES+50	ES-50	ED+50	ED-50
Oferta	1,94	-1,27	-0,09	-0,11
Demanda Doméstica	0,75	-0,50	-7,91	8,15
Demanda Internacional	3,51	-2,29	10,18	-10,95

Fonte: Dados da pesquisa (2015).

do etanol nos mercados nacional e internacional. Além disso, buscou-se avaliar as alternativas de transporte de etanol com a intenção de apontar qual a forma mais eficiente de realizar o transporte para determinadas rotas.

Foi feito um levantamento de dados do mercado de etanol para se entender a dinâmica de comercialização deste produto. Também foi realizada uma revisão sobre os métodos de transporte para, assim, apresentar as características e especificidades dos modais de transporte terrestres.

O transporte das cargas agrícolas é uma atividade extremamente onerosa devido ao fato de que os produtos apresentam baixo valor agregado, sendo assim, o custo de transportar tem grande participação no custo total do produto, afetando sua competitividade.

O Brasil enfrenta atualmente o risco de um apagão logístico, como já mencionado anteriormente, além dos desafios em relação à capacidade de armazenamento e transporte, que acabam afetando a competitividade do produto. No caso do etanol, embora o Brasil ocupe a posição de segundo maior produtor mundial, as deficiências do sistema logístico fazem com que o produto perca competitividade em relação aos grandes *players* mundiais.

Além do risco do apagão logístico, o setor sucroalcooleiro, sobretudo o segmento do etanol, tem passado por uma crise nos últimos anos. A queda na produção da safra 2014/2015 já é um reflexo das instabilidades pelas quais o setor está passando, logo, é necessário o desenvolvimento de políticas públicas para que segmento consiga se recuperar nas próximas safras.

Para o Cenário 1, os resultados indicam maior utilização da intermodalidade (64%) em relação à utilização do transporte via rodoviário direto (46%) para as movimentações de etanol; porém, vale ressaltar que este é o cenário-base, em que os valores das tarifas utilizados são os praticados atualmente, sem descontos.

Quando se aplica uma redução de 15% nos valores dos fretes ferroviários (Cenário 2), a intermodalidade passa a ser mais competitiva do que a utilização do modal rodoviário direto. O Cenário 2 aponta que, com a inserção das tax_{ik} e tax_{ij} , apenas 13% das rotas de transporte de etanol são movimentadas via modal rodoviário e 87% das rotas apontam a intermodalidade como opção mais eficiente. Vale ressaltar que, no Cenário 2, há uma grande alteração de meio de transporte nas rotas com destino às exportações. No Cenário

1 cerca de 78% das rotas com destino ao mercado internacional eram transportadas utilizando a intermodalidade; porém, quando se aplica o desconto de 15% no valor do frete ferroviário, 100% das rotas com destino à exportação passam a aderir à intermodalidade, e o transporte para o porto de Santos através do modal rodoviário direto se mostra menos competitivo.

No Cenário 3 são acrescentadas rotas dutoviárias com destino ao mercado externo, e as rotas intermodais também se mostraram mais competitivas do que a utilização do modal rodoviário.

A grande diferença observada nos três cenários entre a adoção de intermodalidade ou da utilização somente do modal rodoviário pode ser vista no transporte com destino ao porto de Santos, em que, já no Cenário 2, 100% das rotas indicam que a intermodalidade se mostra mais competitiva para esse destino. Isso indica que a intermodalidade é mais competitiva para os fluxos internos e, portanto, novos investimentos em infraestrutura intermodal são necessários para aumentar o uso da intermodalidade nas rotas de consumo doméstico.

Uma das limitações do modelo é o fato de não se considerar o subsídio de outros países, a exemplo dos Estados Unidos. Contudo, como a proposta deste trabalho visa analisar, sobretudo, os fluxos do mercado doméstico, não foi incluído no modelo o subsídio norte-americano. Vale ressaltar que o etanol brasileiro poderia ser mais competitivo se não existisse o subsídio estadunidense e, portanto, análises futuras podem indicar o efeito do subsídio sobre o etanol brasileiro.

Uma agenda de investimentos é necessária, não somente em infraestrutura de transporte, mas sim em toda a cadeia de suprimentos, dada a importância e o peso do fator logístico no preço total das cargas agrícolas.

Novas políticas públicas que estimulem a utilização da intermodalidade como meio de obter ganhos competitivos devem ser adotadas, de forma a dar acesso a todos os produtores e às empresas do setor agrícola à utilização da intermodalidade. A hipótese da pesquisa de que a intermodalidade é mais competitiva se confirma já que, com a redução dos custos de transporte do modal ferroviário e a implementação de um novo sistema dutoviário, aumentam-se os fluxos de movimentação.

Para as pesquisas futuras pode-se implementar de um modelo de equilíbrio espacial que tenha como

abrangência apenas o mercado interno, mas que considere um segundo produto, a gasolina, que atualmente é o principal concorrente do etanol dentre os combustíveis e, neste caso, o modelo será multiproduto.

6. Referências

ALVIM, A.M. *Os impactos dos novos acordos de livre comércio sobre o mercado de arroz no Brasil: um modelo de alocação espacial e temporal*. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 2003.

ANFAVEA – Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. *Anfavea divulga o balanço da indústria automobilística em 2014*. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/anuarios.html>>. Acesso em: 14 jan. 2018.

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. *Anuário Estatístico 2012*. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br>>. Acesso em: 23 jun. 2018.

_____. *Anuário Estatístico 2017*. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br>>. Acesso em: 23 jan. 2018.

ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres. *Idade média dos veículos, 2015*. Disponível em: <http://www.antt.gov.br/index.php/content/view/20272/Idade_Media_dos_Veiculos.html>. Acesso em: 5 jan. 2015.

BALLOU, R.H. *Gerenciamento da cadeia de suprimentos/logística empresarial*. São Paulo: Atlas, 2004.

BEIRAL, P.R.S. *O mercado brasileiro de etanol: concentração e poder de mercado sob a ótica da nova organização industrial empírica*. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, Brasil, 2011.

BISHOP, P.M.; NICHOLSON, C.F.; PRATT, J.E. *Tariff-Rate Quotas: difficult to model or plain simple*. Trade Working Papers, East Asian Bureau of Economic Research, 2001.

BOFF, H.P. *O mercado interno do etanol: Modelo e Estimação do Preço de Equilíbrio*. *Seminários de pesquisa*, 17032, IE/UFRJ, Rio de Janeiro-RJ, Brasil, 2009.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Secretaria de Comércio Exterior – SECEX. *Exportação NCM Brasileira, 2018*. Disponível em: <<http://aliceweb.mdic.gov.br/>>. Acesso em: 6 jan. 2018.

BROOKE, A.; KENDRICK, D.; MEERRAUS, A. *GAMS: a user's guide*. Release 2.25. Redwood: The Scientific Press, 1995, 289 p.

BROWN, C.G.; DRYNAN, R.G. *Plant location analysis using discrete stochastic programming*. *The Australian Journal of Agricultural Economics*, v. 30, n. 1, p. 1-22, 1986.

BUTLER, J.; JIA, J.; DYER, J. *Simulation techniques for the sensitivity analysis of multi-criteria decision models*. *European Journal of Operational Research*, London, v. 103, p. 531-546, 1997.

CAIXETA-FILHO, J.V.; GAMEIRO, A.H. *Transporte e logística em sistemas agroindustriais*. São Paulo, Brasil: Atlas, 2001.

CARVALHO, L.B.; CAIXETA FILHO, J.V. *Comportamento do mercado de preços de fretes rodoviários de açúcar para exportação no estado de São Paulo*. *Revista de Economia e Agronegócio*, v. 5, n. 1, jan./mar. 2007.

CASAROTTON.; KOPITTKE, B. *Análise de investimentos: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial*. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2000.

FIGUEIREDO, R. *Gargalos logísticos na distribuição brasileira de combustíveis*. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ. 2005. Artigo, Centro de Estudos em Logística.

FREITAS, L.C.; KANEKO, S. *Ethanol demand under the flex-fuel technology regime in Brazil*. *Energy Economics*, n. 33, p. 1146-1154, 2011.

GOLDEMBERG, J. *Ethanol for a sustainable energy future*. *Science*, v. 315, n. 5813, p. 808-810, 2007.

GOWDA, P. *et al.* *The sensitivity of ADAPT model predictions of streamflows to parameters used to define hydrologic response units*. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v. 42, n. 2, p. 381-389, 1999.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Definições, 2018*. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 13 jan. 2018.

JANOTTI, P.R. *et al.* *A logística do açúcar e do etanol entre usinas paulistas e o Porto de Santos: um estudo comparativo entre agentes comerciais*. *Revista de Administração da UNIMEP*, p. 1-26, 2012.

LEITE, G. *Reinventando o CTC*. *Revista Opiniões sobre o setor sucroenergético*, São Paulo, WDS, 2012. Disponível em: <<http://www.revistaopinioes.com.br/aa/materia.php?id=1073>>. Acesso em: 21 dez. 2014.

LEMOS, P. *et al.* *Panorama e desempenho recente do setor sucroenergético: condições para um novo ciclo?*

- In: SALLES FILHO, S. (Org.). *Futuros do bioetanol: o Brasil na liderança*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015. p. 9-33.
- LÍCIO, A. Os eixos estruturadores e dos corredores de transportes. *Revista de Política Agrícola*, Brasília, v. 9, n. 4, p. 3-4, 1995.
- LIMA, L. M.; TULIO, B. Percentual de etanol anidro na gasolina C: possíveis impactos no preço do etanol hidratado no estado de São Paulo. *Revista de Economia e Agronegócio*, v. 12, n. 1-3, 2015.
- LUCHANSKY, M. S.; MONKS, J. Supply and demand elasticities for the United States ethanol market. *Energy Economics*, v. 31, n. 3, p. 403-410, 2009.
- MATTEI, F. E. E. Modeling Linkages between Climate Policy and Land Use: An overview. *Working Papers WP24*. Italy, 2007.
- MILANEZ, A. Y. et al. Logística para o etanol: situação atual e desafios futuros. *BNDES Setorial*, Rio de Janeiro, BNDES, n. 31, 2010.
- MITSUTANI, C. *A Logística do etanol de cana-de-açúcar no Brasil: condicionantes e perspectivas*. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, SP, Brasil, 2010.
- MORAES, M.A.F.D.; ZAMBIANCO, W.M.; CINTRA, P.R. Consolidação do setor sucroalcooleiro: impactos na estrutura de mercado e participação de capital estrangeiro. In: DÖRR, A.C.; GUSE, J.C.; FREITAS, L. A.R. *Agronegócios: desafios e oportunidades da nova economia*. Curitiba: Appris, 2013, p. 339-361.
- NASTARI, P. A. (2010). A internacionalização ganhou força em 2009. *Revista Opiniões*, jan./mar. 2010. Disponível em: <<http://www.revistaopinioes.com.br>>. Acesso em: 13 fev. 2014.
- NOVACANA. *Eficiência do etanol equivale a 68% da gasolina*, 2018. Disponível em: <<https://www.novacana.com/n/etanol/mercado/gasolina/eficiencia-etanol-68-gasolina-100113/>>. Acesso em: 11 fev. 2018.
- ODEBRECHT. *Novas soluções para o transporte de etanol*, 2011. Disponível em: <<http://www.odebrecht.com/sala-imprensa/noticias/noticia-detalhes-255>>. Acesso em: 13 set. 2013.
- OLIVEIRA, A.L.R. *O sistema logístico e os impactos da segregação dos grãos diferenciados: desafios para o agronegócio brasileiro*. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil, 2011.
- _____. A logística no agronegócio: para além do “apagão logístico”. In: BUAINAIN, A.M. et al. (Orgs.). *O mundo rural no Brasil do século 21: a formação de um novo padrão agrário e agrícola*. Vol. 1. Brasília: Embrapa, 2014, p. 339-369.
- _____. Logística de etanol no Brasil. In: SALLES FILHO, S. (Org.). *Futuros do bioetanol: o Brasil na Liderança*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015, p. 9-33.
- PETEAN, G. H. et al. *Etanol hidratado no estado de São Paulo: previsão de preços a partir do método de Holt-Winters*. SIMPEP, 2011.
- RAMOS, P. Trajetória e situação atual da agroindústria canaveira do Brasil e do mercado de álcool carburante. In: SANTOS, R.G. (Org.). *Quarenta anos de etanol em larga escala no Brasil: desafios, crises e perspectivas*. Brasília: IPEA, 2016, p. 47-72.
- ROSA, I.M.D. *Estimativa das emissões de gases com efeito estufa resultantes de fogos de vegetação em Portugal (1990 – 2008), incluindo análise de incerteza e sensibilidade*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal e Recursos Naturais) – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2009.
- SAMUELSON, P.A. Spatial Price Equilibrium and Linear Program. *American Economic Review*, v. 42, p. 283-303, 1952.
- SATOLO, L.F.; CAIXETA-FILHO, J.V. Impacto de novas usinas e destilarias na distribuição de etanol hidratado na região Centro-Oeste: uma aplicação do modelo de equilíbrio espacial de preços. In: *48º Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural (SOBER)*, Campo Grande, 2010.
- SCANDIFFIO, M.I.G.; LEAL, M.R.L.V. Novo desenho logístico para exportação de etanol: uma visão a longo prazo. In: *7º Congresso Internacional sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural*. Fortaleza, Brasil, 2008.
- SOUZA FILHO, H. Geração e distribuição de excedente em cadeias agroindustriais: implicações para a política agrícola. In: BUAINAIN, A.M. et al. (Orgs.). *O mundo rural no Brasil do século 21: a formação de um novo padrão agrário e agrícola*. Brasília: Embrapa, 2014, p. 319-336.
- TAKAYAMA, T.; JUDGE, G.G. *Spatial and Temporal Price and Allocation Models*. Amsterdam: North Holland Publishing Co, 1971.
- UNICA–União da Indústria de Cana-de-Açúcar. *Histórico de produção e moagem*, 2015. Disponível em: <<http://www.unicadata.com.br/historico-de-producao-e-moagem.php?idMn=31&tipoHistorico=2>>. Acesso em: 23 jan. 2015.

_____. *Exportação anual de etanol por local de embarque (mil litros)*. Disponível em: <<http://www.unicadata.com.br/listagem.php?idMn=24>>. Acesso em: 4 jan. 2018.

URQUIAGA, S.; ALVES, B.J.R.; BOODEY, R.M. Produção de biocombustíveis: a questão do balanço

energético. *Revista de Política Agrícola*, ano XIV, n. 1, jan./mar. 2005.

WAQUIL, P.D. *Primal-dual spatial equilibrium model with intermediate products: application to the agricultural sector in the MERCOSUR*. Dissertação (Mestrado) – University of Wisconsin – Madison, 1995.

Todo o conteúdo deste periódico, exceto onde estiver identificado, está licenciado sob uma Licença Creative Commons (cc by 4.0).