

MODELO DE OTIMIZAÇÃO DA LOGÍSTICA DE AÇÚCAR PARA EXPORTAÇÃO COM O OBJETIVO DE AVALIAR OS IMPACTOS ECONÔMICOS DA FROTA PRÓPRIA

Thiago Guilherme Péra¹
Roberto Fray da Silva²
Daniela Bacchi Bartholomeu¹
Carlos Eduardo Cugnasca²
José Vicente Caixeta-Filho¹

¹ Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”
Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial (ESALQ-LOG)

² Universidade de São Paulo
Escola Politécnica

RESUMO

O artigo possui o objetivo de avaliar os impactos da logística e dos ganhos econômicos com o aumento da frota própria de caminhões na rede multimodal de transporte de açúcar bruto para exportação, sob a ótica da otimização de custos das agroindústrias produtoras do Centro-Sul brasileiro para os portos. Nesse sentido, foram estimados parâmetros de custos de frota terceirizada e própria para compor um modelo matemático de minimização de custos de transporte. O modelo foi programado e processado no GAMS, utilizando o solver CPLEX. O raio econômico competitivo da frota própria com a terceirizada é na ordem de 650 km. Com isso foram gerados três cenários que ilustram os ganhos econômicos com a utilização de frota própria na ordem de 27,5% e 34,5%, em relação ao cenário base de uso exclusivo da frota terceirizada. Foi possível identificar os custos médios de transporte das mesorregiões e com isso propor aquelas com maior potencial de ganho com utilização dessa estratégia.

ABSTRACT

The article has the objective to evaluate the impacts on logistics and economic gains with increasing its own fleet truck in multimodal network of transportation of sugar for export, applying an approach to cost optimization of agribusinesses producing South-Central Brazil to the ports. The parameters were estimated cost of outsourced fleet and own of trucks to compose a mathematical model to minimize transportation costs. The model was programmed and processed in GAMS using the CPLEX solver. The economic radius own competitive fleet with outsourced is in the order of 650 km. Thus were created three scenarios that illustrate the economic gains using its own fleet of around 27.5% and 34.5%, compared to base scenario. It was possible to identify the average cost of transporting the regions and propose that those with the greatest potential gain from using this strategy.

1. INTRODUÇÃO

O setor sucroenergético no Brasil é responsável por produzir 34,6 milhões de toneladas de açúcar e 24,8 milhões de metros cúbicos de etanol na safra 2011/2012, além de deter um PIB setorial de 48 bilhões de dólares por ano, destacando o país como um dos maiores produtores mundiais (UNICA, 2013).

A oferta de açúcar no país está concentrada na Região Centro-Sul e, mais especificamente, no estado de São Paulo, respondendo por 89,2% e 61% do total produzido na safra 2012/2013, respectivamente (UNICA, 2013).

Atualmente, o setor é composto por 430 unidades produtoras, responsável pela moagem de

572,3 milhões de toneladas (UNICA, 2013).

O setor apresentou uma evolução na entrada de novas unidades produtoras na Centro-Sul do país totalizando 87 unidades nos últimos cinco anos safras, sendo que neste último ano safra estas empresas processaram 78,4 milhões de toneladas de cana-de-açúcar (UNICA, 2013).

A Figura 1 ilustra a distribuição espacial das unidades produtoras de açúcar e etanol no país.

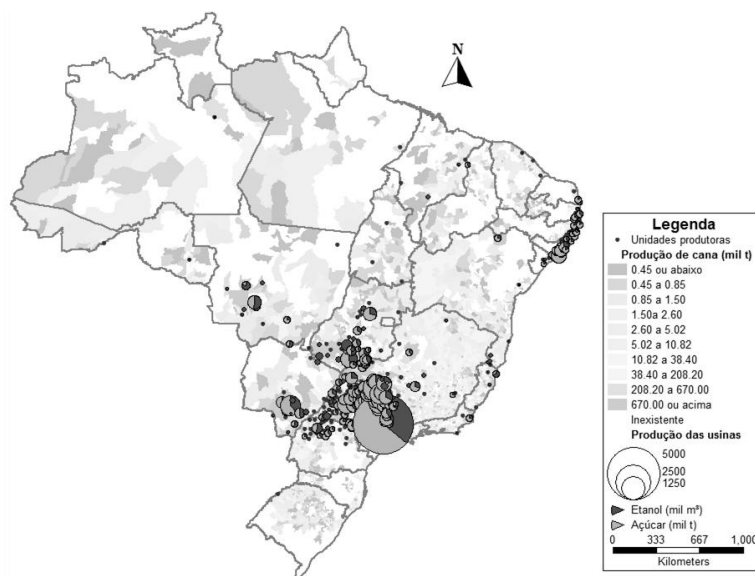


Figura 1: Distribuição espacial da produção de açúcar e etanol

Verifica-se que a produção é altamente concentrada na região do Centro-Sul do país, sendo que a maior produção de açúcar e etanol, bem como os maiores indicadores de produtividade de cana-de-açúcar é oriunda do estado de São Paulo.

Nesse sentido, este artigo possui o objetivo de avaliar os impactos da logística e dos ganhos econômicos com o aumento da frota própria de caminhões na rede multimodal de transporte de açúcar bruto para exportação, sob a ótica da otimização de custos das agroindústrias produtoras do Centro-Sul brasileiro para os portos.

2. CARACTERIZAÇÃO DA LOGÍSTICA DE AÇÚCAR

Para o escoamento do produto, os modais de transporte mais utilizados são o rodoviário e o ferroviário, com predominância do primeiro. Pesquisa de Janotti et al. (2012) realizada junto a empresas do setor revela que cerca de 70% do volume movimentado pela amostra de unidades entrevistadas é transportado por rodovias. Em geral, nas usinas próximas à ferrovia o açúcar é parcialmente transportado por este modal.

Os principais fluxos de movimentação dizem respeito ao transporte do açúcar das usinas aos locais de destino da carga, tais como portos (no caso de o produto ser destinado ao mercado externo), e indústrias alimentícias ou consumidores finais (no caso de abastecer o mercado interno). Alternativamente, os fluxos podem ser direcionados da usina até um ponto de transbordo ou um armazém.

Na safra 2012/2013, cerca de 64% do açúcar produzido no Brasil foi exportado, sendo o restante distribuído no mercado interno (UNICA, 2013). Neste sentido, a logística voltada à exportação acaba sendo mais representativa, já que movimenta um volume significativo.

O açúcar direcionado ao mercado externo teve como principais consumidores a China, os Emirados Árabes e a Indonésia (UNICA, 2013). O principal porto de escoamento do produto é Santos, responsável por cerca de 70% do volume exportado. O porto de Paranaguá vem em seguida, respondendo por aproximadamente 19%.

O açúcar tipo exportação é acondicionado para transporte e armazenagem de três formas: a) em sacos de ráfia de 50 kg e armazenagem em armazéns; b) estocagem em big-bags de 1.200 kg junto aos armazéns; e c) disposição a granel, em armazéns com portas corrediças ou silos.

No mercado interno, o açúcar é basicamente direcionado ao consumo industrial como matéria-prima para produção de alimentos e bebidas (cerca de 60% do total) ou ao consumo direto, tais como supermercados (Bacchi, 2010, citado por Nunes, 2010).

Com relação às modalidades de contratação do serviço de transporte, Nunes (2010) não consegue identificar um padrão de comportamento dos embarcadores, mas destaca a predominância de contratos sobre a negociação “spot”.

O mercado de fretes rodoviários de commodities agrícolas no país caracteriza-se por se aproximar de um mercado de concorrência perfeita, visto que apresenta algumas características como: a presença de grande quantidade de agentes (embarcadores e transportadoras) e reduzidas barreiras à entrada e saída Nunes (2010).

3. MODELOS DE TRANSPORTE DE CARGAS AGRÍCOLAS

A modelagem matemática tem se configurado como uma ferramenta importante para a tomada de decisão em transportes. O desenvolvimento de modelos de otimização nas cadeias de produtos agroindustriais pode auxiliar, por exemplo, na definição de localização de unidades ou mesmo no planejamento de sistemas de transporte.

Esta seção lista alguns estudos envolvendo modelagem matemática e decisões de natureza logística de produtos agroindustriais.

Wang e Yan (2010) desenvolveram um modelo para analisar cadeias de suprimentos de produtos agrícolas perecíveis visando o mercado interno, da produção da matéria-prima a distribuição do produto ao usuário final, considerando os custos de pedido, estoque e armazenagem e transporte.

Colin et al. (1999) apresentam um caso de aplicação da programação linear em um sistema logístico de distribuição de açúcar. Para um intervalo de 13 meses, o sistema leva em consideração as capacidades de estocagem dos diversos depósitos, a produção da usina, assim como os custos envolvidos no transporte do açúcar.

Com relação a modelos relacionados à cadeia de exportação, Lima et al. (2005) propõem um modelo matemático para o escoamento de soja originada no estado de MT para Rotterdam, na Holanda, considerando terminais portuários em diferentes regiões do país.

Carvalho et al. (2007) analisaram a demanda de carga nas áreas a serem atendidas pela Estrada de Ferro Norte-Sul, considerando os diferentes produtos do complexo soja: grãos, óleo e farelo, através de um modelo de fluxo de custo mínimo multiproduto, demonstrando a possibilidade de captar 1,1 milhão de toneladas de carga. Foi considerada a interação entre os modais rodoviário e ferroviário na captação desta carga.

Huang et al (2010) elaboraram um modelo matemático para minimizar os custos da cadeia de suprimentos de etanol derivado de resíduos agrícolas de milho, trigo, algodão, madeira e arroz no estado da Califórnia nos Estados Unidos. A principal contribuição deste modelo é considerar matérias-primas vindas de diferentes regiões, com características distintas de composição e necessidade de processamento, e fornecer uma estimativa do custo de fabricação médio do etanol utilizando o mix otimizado de matérias-primas.

Outro tipo de estudo bastante frequente diz respeito à localização ótima de pontos de transbordo ferroviário. Oliveira (2005) realizou um estudo que indicou que terminais intermodais de açúcar são bem vindos em regiões com grande produção, como Araçatuba, Araraquara, Ribeirão Preto e Santa Adélia, todos no estado de São Paulo. No entanto, a autora destaca que apesar de este tipo de modelagem captar bem as informações ótimas para localização de pontos de transbordo, muitos outros fatores influenciam na tomada de decisão dos demandantes para a utilização da intermodalidade, entre elas a concentração do mercado tanto do lado da oferta quanto da demanda por este serviço logístico. Esta estrutura de mercado faz com que nem sempre as áreas de influência destacadas pelos modelos teóricos desenvolvidos sejam de fato observadas na prática, o que poderia inviabilizar o investimento realizado pela baixa receita que o ponto de transbordo possa vir a gerar no caso de não utilização.

Silva (2005) realizou um estudo comparando cenários de movimentação rodoviária e ferroviária de açúcar para exportação pelo Porto de Santos. O autor concluiu que, em todos os cenários onde a ferrovia era dada como uma alternativa seja com ou sem restrição de volumes a ser transportado por este modal, o modelo empregado indicou que este modal deveria ser utilizado, uma vez que possui custos menores do que o rodoviário.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Especificação dos dados

O modelo proposto visa identificar o impacto logístico e ganhos econômicos com a utilização da frota própria no transporte de açúcar para exportação, além de identificar quais são as principais regiões impactadas com tal estratégia de transporte, sob a ótica da minimização do custo do sistema de transporte das agroindústrias produtoras de açúcar (usinas) aos portos brasileiros.

Os dados de oferta de açúcar bruto foram levantados pelo Anuário da Cana (2012) e ÚNICA

(2012) para cada município produtor de açúcar na região do Centro-Sul brasileiro.

Para a demanda de açúcar bruto para exportação, foram utilizados dados de exportação de açúcar para cada porto brasileiro no ano de 2012, disponibilizados pelo Alice-web (MDIC/Secex, 2013).

A capacidade dos terminais ferroviários de embarque de açúcar bruto do corredor Centro-Sul foi estimada com informações públicas disponibilizadas pelas estatísticas publicadas das concessionárias ferroviárias na Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT, 2012).

Os custos de transporte ferroviário foram estimados pela tarifa homologada da ANTT de cada terminal e sua respectiva malha ferroviária (ANTT, 2012).

Os custos de transporte da frota terceirizada foram estimados por um modelo de regressão linear, utilizando o método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), a partir de um sistema de informação de fretes praticados de açúcar, incluindo tarifas de pedágios, no ano de 2012 (ESALQ-LOG, 2012). A equação 1 ilustra o modelo de custeio da frota terceirizada.

$$\text{Custo Terceirizado}_{od} = \alpha \cdot \text{Distância}_{od} + \beta + \varepsilon \quad (1)$$

Onde:

$\text{Custo Terceirizado}_{od}$ é o custo de transporte terceirizado entre o par de origem o e destino d , em R\$/t;

α é o coeficiente angular estimado;

Distância_{od} é a distância entre a origem o e destino d , em quilômetros;

β é o coeficiente linear estimado;

ε é o erro aleatório do modelo;

Para a estimativa de custo de transporte, foi utilizada a metodologia de custeio de Lima (2003), envolvendo a estimativa de custos fixos (depreciação, remuneração do capital, impostos, seguro, e salários) e de custos variáveis (pneu, óleo, lubrificação, combustível e manutenção). Os dados dos parâmetros de custo fixo e variável foram estimados por ESALQ-LOG (2012), para um veículo bitrem graneleiro. A equação 2 ilustra o modelo de custeio da frota própria.

$$\text{Custo Proprio}_{od} = 2 \cdot \text{Distância}_{od} \cdot \text{CV} + 2 \cdot \left(\frac{\text{Distância}_{od}}{\text{Velocidade}} \right) \cdot \text{CF} + (\text{TC} + \text{TD}) \cdot \text{CF} + P_{od} \quad (2)$$

Onde:

$\text{Custo Proprio}_{od}$ é o custo de transporte próprio entre o par de origem o e destino d , em R\$/t;

Distância_{od} é a distância entre o par de origem o e destino d , em quilômetros;

Velocidade é a velocidade média do veículo, em quilômetros por hora – neste estudo, adotou-se uma velocidade média de 100 km/h;

TC é o tempo de carregamento do veículo, em horas (neste estudo, adotou-se uma hora);

TD é o tempo de descarregamento do veículo, em horas neste estudo, adotou-se uma hora);

CV é o parâmetro do custo variável, em R\$/t.km;

CF é o parâmetro do custo fixo, em R\$/t.hora;

P_{od} é o custo total das tarifas de pedágios entre o par de origem o ao destino d , em R\$/t;

Escalar “2”, refere-se ao ponderador do custo próprio ser estimado considerado a viagem de ida e volta da rota praticada.

O parâmetro de Custo Fixo (CF) utilizado neste trabalho é de R\$ 1,17 por tonelada-hora, enquanto o de Custo Variável (CV) é de R\$ 0,059 por tonelada-quilômetro.

As matrizes distâncias rodoviárias entre as origens, portos e terminais ferroviárias para estimativa dos custos de transporte próprio e terceirizado foram criadas utilizando o *software* de Sistema de Informações Geográficas aplicado a Transportes (SIG-T), denominado TransCAD 5.

4.2. Formulação matemática a definição dos cenários

As variáveis de decisão deste modelo são relacionadas à quantidade a ser transportado de açúcar utilizando frota terceirizada ou própria, com origem nos municípios lotados com agroindústrias de açúcar e destinos aos portos de exportação do produto, com a alternativa do uso ferroviário.

A função objetivo é de minimização do custo total (CT) de transporte, envolvendo todo o sistema de usinas de açúcar do Centro-Sul brasileiro. A equação 3 ilustra a função objetivo proposta.

Função objetivo: Minimizar custo total de transporte (CT)

$$CT = \sum_i \sum_j \sum_k cr_{ijk} \cdot FR_{ijk} + \sum_i \sum_t \sum_k cpr_{itk} \cdot FP_{itk} + \sum_t \sum_j cf_{tj} \cdot FF_{tj} \quad (3)$$

Onde:

Conjuntos:

i: É o conjunto de municípios produtores de açúcar bruto no Centro-Sul brasileiro (265 elementos);

j: É o conjunto de portos de exportação de açúcar bruto no país, sendo os três: (3 elementos)

t: É o conjunto de terminais ferroviários de embarque de açúcar no Centro-Sul brasileiro (15 elementos);

k: É o conjunto da frota a ser utilizada para o transporte rodoviário de açúcar, podendo utilizar frota própria ou terceirizada (2 elementos);

Variáveis:

FR_{ijk} é a variável de fluxo rodoviário entre a origem *i* ao destino *j* utilizando a frota *k*, definida em toneladas;

FP_{itk} é a variável de fluxo da ponta rodoviária entre a origem *i* ao terminal ferroviário *t* utilizando a frota *k*, definida em toneladas;

FF_{tj} é a variável de fluxo ferroviário entre o terminal de embarque *t* e o destino *j*, definida em toneladas;

Parâmetros:

cr_{ijk} é o parâmetro estimado custo de transporte rodoviário entre a origem *i* e destino *j* utilizando a frota *k*, definido em R\$/tonelada;

cpr_{itk} é o parâmetro estimado de custo de transporte da ponta rodoviária entre a origem *i* e o terminal *t*, definido em R\$/tonelada;

cf_{tj} é o parâmetro estimado de custo de transporte ferroviário entre o terminal *t* e o destino *j*, definido em R\$/tonelada;

$PRODUCAO_i$ é o parâmetro relativo a produção de açúcar bruto de cada município produtor *i*, definido em toneladas;

EXPORTACAO_j é o parâmetro relativo a exportação de açúcar bruto de cada porto *j*, definido em tonelada;

CAPACIDADE_t é a capacidade de transporte ferroviário de cada terminal *j*, definido em tonelada.

A minimização destes custos fica sujeito aos seguintes blocos de restrições:

- a. Restrição da oferta de açúcar bruto em cada município produtor *i*. Tal restrição limita os fluxos de transporte de cada município produtor *i* até o limite superior de produção de açúcar bruto.

$$\sum_j \sum_k FR_{ijk} + \sum_t \sum_k FP_{itk} \leq PRODUCAO_i, \forall i \quad (4)$$

- b. Restrição da demanda de açúcar bruto para exportação nos portos *j*. Tal restrição limita os fluxos de transporte para os municípios de demanda *j*, de tal forma que sejam atendidas as exportações, em seu limite inferior.

$$\sum_i \sum_k FR_{ijk} + \sum_t FF_{tj} \geq EXPORTACAO_j, \forall j \quad (5)$$

- c. Equacionamento da rede de transporte – Restrição que garante a continuidade dos fluxos oriundos da ponta rodoviária ao terminal ferroviário, em que o balanço é nulo, ou seja, não se considera perda no transporte de açúcar bruto na mudança da malha.

$$\sum_i \sum_k FP_{itk} - \sum_j FF_{tj} = 0, \forall t \quad (6)$$

- d. Limitação da malha ferroviária para transporte de açúcar branco, respeito à capacidade máxima de cada terminal ferroviário.

$$\sum_i \sum_k FP_{itk} \leq CAPACIDADE_t, \forall t \quad (7)$$

- e. Limite máximo da proporção da frota própria (*k*) na composição total da frota de cada município produtor *i*. Esta restrição é importante para simulação dos cenários, tendo em vista a limitação máxima do uso da frota própria para cada município *i*.

$$\sum_j FR_{ijk=proprio} + \sum_t FP_{itk=proprio} \leq \beta \cdot (\sum_j \sum_k FR_{ijk} + \sum_t \sum_k FP_{itk}), \quad (8)$$

$$\forall i \cap \beta \in (0,1)$$

- f. Limite do uso do modal ferroviária dos municípios *i* para os terminais ferroviários *t*. Tal restrição garante maior aderência à realidade praticada no transporte de açúcar, evitando fluxos do tipo “tudo-ou-nada” para ferrovia, tendo em vista as questões contratuais com as concessionárias ferroviárias, dentre outros fatores. Neste estudo, adotou-se uma taxa de uso da ferrovia para cada município de até 80% ($\alpha=80\%$).

$$\sum_t \sum_k FP_{itk} \leq \alpha \cdot PRODUCAO_i, \forall i \cap \alpha \in (0,1) \quad (9)$$

O modelo foi elaborado e processado no *software General Algebraic Modeling System*

(GAMS), utilizando o solver CPLEX. O processamento do mesmo levou 42 segundos.

As ilustrações gráficas em mapas foram elaboradas utilizando o *software* SIG-T denominado TransCAD 5.

A Tabela 1 contém os cenários a serem estudados e seus parâmetros alterados.

Tabela 1. Especificação dos parâmetros dos cenários elaborados

Cenário	Frota Própria ¹	Frota Terceirizada
Base	0% de uso da frota própria	Sem limitação
C1	Limitada até uso de 50% para cada usina	Sem limitação
C2	Limitada até uso de 100% para cada usina	Sem limitação

¹Valores de restrição de uso em relação a quantidade total produzida para cada município produtor de açúcar bruto.

5. RESULTADOS

A Tabela 2 ilustra resultado do modelo de regressão linear simples e custeio do transporte terceirizado.

Tabela 2. Coeficientes dos parâmetros estimados dos custos terceirizados em 2012 de açúcar

Parâmetros	Coefficientes
Alfa	0,070*
Beta	48,347*
R-quadrado	72,3%
Nº Observações	711

*Nível de significância de 1%

A Figura 2 ilustra os custos da frota própria e frota terceirizada e suas respectivas paridades, em função da distância.

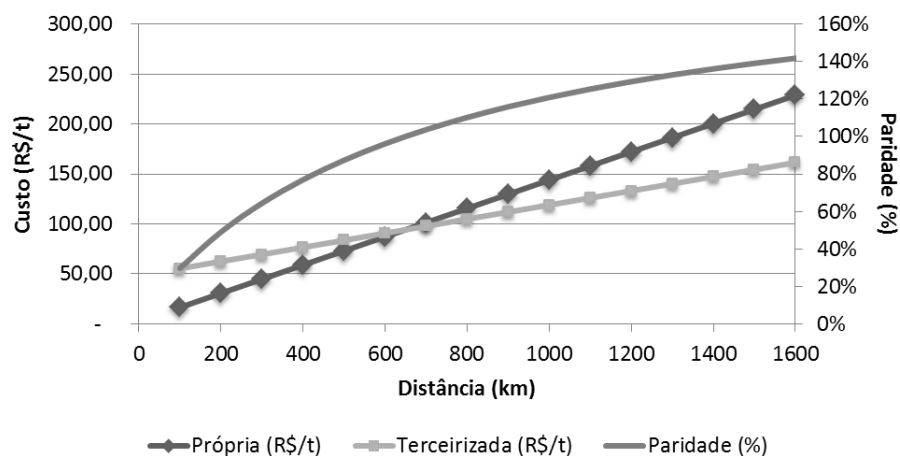


Figura 2. Custos de transporte da frota própria e terceirizada, bem como sua paridade¹

¹Paridade: razão entre custos da frota própria e da frota terceirizada

Nesse sentido, verifica-se que a utilização da frota própria apresenta vantagem relativa para uma faixa de distância de até 650 km, tal distância é um valor limite para a economia com o uso da frota própria, onde a paridade de custos é de 100%, ou seja, os custos são iguais. A partir desta distância, o custo de transporte é mais vantajoso para a frota terceirizada. Desta forma, quanto menor for a faixa de distância das rotas, maior será a vantagem do uso da frota própria.

A Figura 3 ilustra o raio de influência em que essa faixa de distância de até 650 km é atingida, tendo como centro os portos de Santos (SP) e Paranaguá (PR).

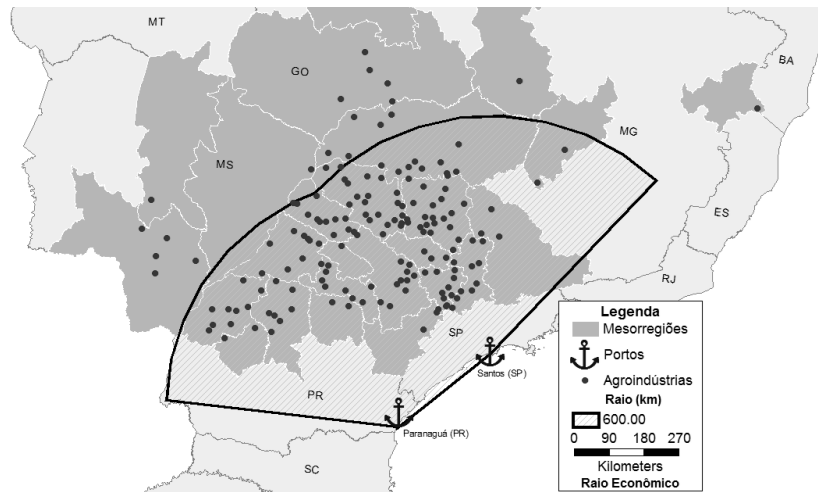


Figura 3. Raio econômico dos portos de Santos e Paranaguá para as distâncias viáveis do uso de frota própria

Desta forma, há 144 municípios produtores de açúcar dentro do raio de influência do porto de Santos e Paranaguá, ou seja, o uso do transporte da frota própria impacta diretamente no custo logístico de tais regiões.

A Figura 4 ilustra os custos médios ponderados pelos respectivos volumes alocados nos fluxos rodoviários diretos, ponta-rodoviárias e ferroviários.

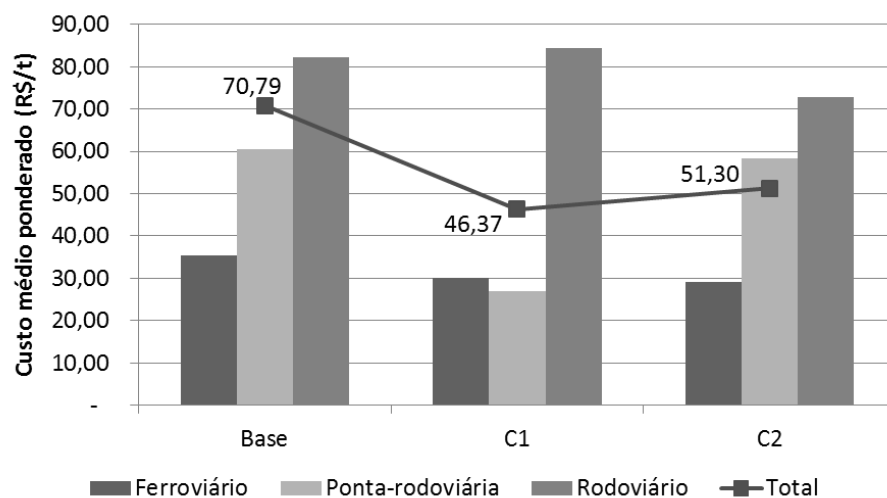


Figura 4. Custo médio ponderado pelo volume de cada cenário

Nesse contexto, observa-se que há uma redução do custo logístico do cenário base para o C1 na ordem de 34,5% e para o C2 na ordem de 27,53%. Dentro de cada cenário, observa-se ainda que o gasto alocado para a ponta-rodoviária do cenário base para o C1 reduziu de forma acentuada. Tais fatores podem ser explicados pelos indicadores da Tabela 3, a qual ilustra a alocação dos fluxos da ponta-rodoviária e rodoviária por tipo de frota.

Tabela 3. Alocação dos fluxos por tipo de frota, em relação ao volume total de origem

Cenário	Frota Própria		Frota Terceirizada	
	Ponta-rodoviária	Rodoviário	Ponta-rodoviária	Rodoviário
Base	0,0%	0,0%	19,8%	80,2%
C1	48,1%	0,8%	3,5%	47,6%
C2	0,0%	31,6%	58,4%	10,0%

Pela análise da Tabela 3 verifica-se que no cenário C1, os fluxos da frota própria são alocados para realizar o transporte de açúcar das agroindústrias para os terminais ferroviários, na ordem de 48,1% do total movimentado, enquanto que 47,6% do fluxo rodoviário direto é alocado para a frota terceirizada. Em relação ao cenário C2, ocorre uma inversão quando comparado ao C1, pois todo o fluxo da frota própria (31,6%) é alocado para o transporte rodoviário direto, enquanto que a maior parte da frota terceirizada realiza o transporte das agroindústrias para os terminais ferroviários (58,4%).

Essa mudança de estratégia do sistema de transporte de açúcar que ocorre do cenário C1 para C2 é explicado pelo fato do sistema buscar o mínimo custo logístico. Nesse sentido, o fator de mudança deste cenário ao anterior está atrelado aos custos de transporte ferroviário, pois neste cenário, as regiões mais distantes dos portos (fora do raio econômico da frota própria) alocaram seus fluxos para os terminais ferroviários utilizando a frota terceirizada devido ao fato do uso ilimitado desta frota neste cenário, enquanto que as regiões mais próximas dos portos realizaram o transporte direto por rodovia usando a frota própria em maior parte. Enquanto que no cenário C1, com as limitações impostas de 50% do uso da frota própria para cada município produtor, o sistema busca alocar mais fluxos de ponta-rodoviária via frota própria e alocar os fluxos rodoviários diretos para exportação, via frota terceirizada, pois quanto mais curta for a rota, maior será a vantagem relativa da frota própria.

A Figura 5 ilustra o impacto do uso da frota própria, em diferentes cenários, para cada mesorregião do Centro-Sul, onde se concentram a agroindústria de açúcar.

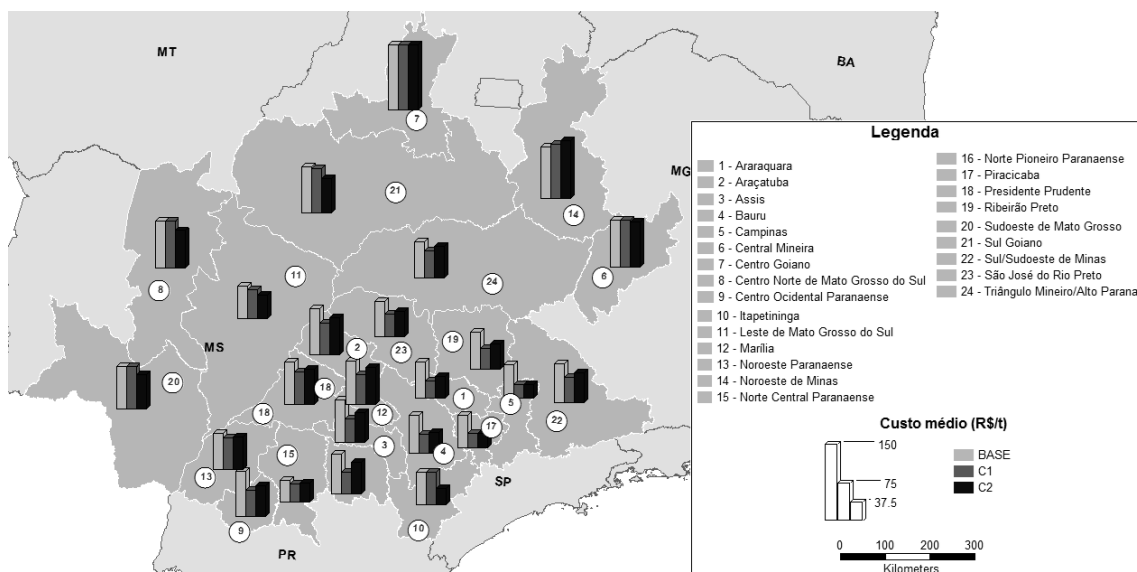


Figura 5. Custo médio de transporte de açúcar, em diferentes cenários, das mesorregiões do Centro-Sul

Pela análise da Figura 5, observa-se que as regiões mais impactadas com o uso da frota própria no cenário C1 em relação ao cenário Base são: Campinas, Piracicaba, Araraquara, Bauru, Norte Paranaense e Ribeirão Preto. A magnitude de redução de custos é na ordem de 43% a 57% nestas regiões, as quais também possuem terminais ferroviários de embarque de açúcar, evidenciando a importância do uso da frota própria para transporte de pontarodoviária. Enquanto que para o cenário C2, as regiões com maior potencial de redução de custos em relação ao cenário Base, são: Centro Norte do MS, Leste do MS, Sudoeste de MT, Campinas, Piracicaba, Itapetininga e Bauru, com magnitudes de descontos na ordem de 43,9% a 59%.

As principais limitações deste trabalho são: como os custos de transporte de cargas commodities agrícolas, tais como açúcar são sazonais, a avaliação destas estratégias poderia considerar um modelo dinâmico para identificar os melhores meses do ano para transporte de açúcar usando frota terceirizada e própria; neste estudo, não se levou em consideração o sistema de armazenagem, o qual poderia trazer impactos nos custos logísticos.

6. CONCLUSÃO

Desta forma, com a utilização do GAMS, o trabalho desenvolveu um modelo matemático de otimização com o objetivo de identificar o impacto logístico e ganhos econômicos com a utilização da frota própria no transporte de açúcar para exportação, além de identificar quais são as principais regiões impactadas com tal estratégia de transporte, sob a ótica da minimização do custo do sistema de transporte das agroindústrias produtoras de açúcar aos portos brasileiros, em três diferentes cenários.

Nos diferentes cenários simulados, os resultados indicam que com a utilização da frota própria para o transporte de açúcar bruto, as reduções podem ser na ordem de 27,5% e 34,5% para a região do Centro-Sul brasileira. Além disso, foi possível identificar um raio econômico viável para o transporte pela frota própria, o qual apresenta vantagens econômicas comparativas até a distância de 650 quilômetros. Nesse sentido, quanto menor a distância, maior a vantagem da frota própria.

Com o modelo proposto, foi possível identificar e propor estratégias relacionadas ao planejamento do uso da frota própria e terceirizada. Com isso, as regiões que apresentaram maior viabilidade para o transporte próprio foram: Campinas, Piracicaba, Itapetininga, Araraquara, Bauru, Norte Paranaense e Ribeirão Preto.

Ficou evidente que com o limite de uso de 100% da frota própria para cada município produtor de açúcar (C2), o custo médio de transporte encarece quando comparado ao cenário de uso máximo de 50% (C1). Tal resultado ilustra uma inversão de estratégias resultando em uma maior uso da frota própria para transporte rodoviário direto para exportação (C2), enquanto o C1 faz um melhor uso para rotas com destino aos terminais ferroviários.

Espera-se que os resultados obtidos possam ser utilizados para fomentar estratégias de escoamento de açúcar para com o uso de otimizado da frota própria, visto seu alto investimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTT (2012) Estatísticas Ferroviárias. Agência Nacional de Transporte Terrestres. Disponível em: <<http://www.antt.gov.br/>>. Consulta realizada em 23 de junho de 2013.
- ANUÁRIO DA CANA - Procana. *Anuário da Cana 2012*. Ribeirão Preto, 2012.
- Branco, J. E. H. e J. V. Caixeta Filho (2008) Estimating Freight Demand for North-South Railway: a Brazilian Case Study. *10th International Conference on Application of Advanced Technologies in Transportation*, p. 1-14.
- Carvalho, L. B.; J. E. H. Branco e J. V. Caixeta Filho (2007) Estimativa da demanda ferroviária apresentada pelo complexo soja: um estudo para Estrada de Ferro Norte-Sul (EFNS). *Anais do XLV Congresso Brasileiro*
- Colin, E.C.; Cualberto, L.; Shimizu, T. (1999). Otimização do Custo de Transporte na Distribuição-Armazenagem de Açúcar. *PRODUÇÃO*. Vol. 9.11' 1. p. 23-30 AOEPRO. Rio de Janeiro. 1999
- ESALQ-LOG (2012). Sistema de Informações de Fretes. Piracicaba – SP. Disponível em: <<http://sifreca.esalq.usp.br/sifreca/pt/index.php>>. Acessado em 09 de junho de 2013.
- Huang, Y.; C. Chen, e Y. Fan (2010) Multistage optimization of the supply chains of biofuels. *Transportation Research Part E*, v. 46, p. 820-830
- Janotti, P.R.; Rodrigues, I.C.; Rodrigues, A.M.; Rebelato, M.G. (2012). 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*. v.10, n.2, Maio/Agosto de 2012.
- Lima, L. M.; Branco, J. E. H.; Caixeta Filho, J. V. (2005), Um modelo dinâmico para otimização do escoamento de soja em grão. *Anais do XLIII Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural*. Disponível em Compact disc.
- MDIC/SECEX (2013) *Sistema AliceWeb*. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Brasília, DF.
- Nunes, P.B. (2010). Caracterização logística do sistema agroindustrial da cana-de-açúcar no Centro-Sul do Brasil. Monografia de Bacharelado em Ciências Econômicas. Piracicaba, 2010.
- Oliveira, A.M.K. Potencial da logística ferroviária para a movimentação de açúcar para exportação no estado de São Paulo: recomendações de localização para armazéns intermodais concentradores de carga. Piracicaba: ESALQ/USP, 2005. 166pf
- Silva, V.B. Distribuição Modal Rodo-Ferroviária em uma Rede de Exportação de Açúcar a Granel para o Porto de Santos. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos/USP, 2005. 178 p.
- Wang, D. e Y. Yan (2010) Optimization model on close supply chain of green agricultural products in China. *ICLEM 2010: Logistics for Sustained Economic Development, Proceedings of the*, Volume VI – Supply Chain Management, p. 4152-4157.
- UNICA (2012) *Estatísticas de dados*. São Paulo, SP. Disponível em: <<http://www.unica.com.br>>. Acesso em: 15 de dezembro de 2012.
- UNICA (2013) *Estatísticas de dados*. São Paulo, SP. Disponível em: <<http://www.unica.com.br>>. Acesso em: 10 de junho de 2013.