



*The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library*

**This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.**

**Help ensure our sustainability.**

Give to AgEcon Search

AgEcon Search

<http://ageconsearch.umn.edu>

[aesearch@umn.edu](mailto:aesearch@umn.edu)

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*

*No endorsement of AgEcon Search or its fundraising activities by the author(s) of the following work or their employer(s) is intended or implied.*

# Potencial da logística ferroviária para exportação de açúcar em São Paulo: recomendações de localização para armazéns intermodais

Ana Maria Kefalás Oliveira\*  
José Vicente Caixeta Filho\*\*

**Resumo:** Este trabalho analisa a distribuição espacial ótima de armazéns para movimentação de açúcar no estado de São Paulo utilizando o transporte ferroviário. O instrumento utilizado para esta avaliação foi um modelo matemático de programação mista cujos resultados indicam tendências para localização e capacidade destes armazéns. Foram elaborados quatro cenários e os resultados obtidos apontam para a alta competitividade do transporte intermodal em relação à alternativa de transporte rodoviário da usina ao porto. Confirmou-se também que há espaço para aumento do *market share* da ferrovia na movimentação de açúcar para a exportação do estado de São Paulo.

**Palavras-chave:** transporte intermodal, transporte ferroviário, mercado de açúcar.

**Classificação JEL:** C61, Q13

---

\*Mestre em Economia Aplicada pela Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - ESALQ-USP. Pesquisadora do Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial – ESALQ-LOG. [anakefalas@yahoo.com.br](mailto:anakefalas@yahoo.com.br).

\*\*Professor Titular do Departamento de Economia, Administração e Sociologia na ESALQ-USP. Coordenador do Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial – ESALQ-LOG. [jvcaixet@esalq.usp.br](mailto:jvcaixet@esalq.usp.br).

**Abstract:** *This study analyzes the best warehousing location for sugar exportation in the state of Sao Paulo using the railway transportation. A mixed integer programming model was developed and its results indicate some trends for localization and capacity of these warehouses. Four scenarios were elaborated and they showed high competitiveness of the intermodal transport compared to the alternative of road transportation from the mill to the port. It was also confirmed that there is a possibility to increase the market share of the railway transportation for Sao Paulo's sugar exports.*

**Key words:** *intermodal transportation, railway transport, sugar market.*

**JEL Classification:** C61, Q13

## 1. Introdução

O objetivo deste trabalho é verificar a localização ótima para armazéns intermodais de açúcar a granel no estado de São Paulo. Este trabalho está focado na utilização do transporte ferroviário para escoamento do açúcar a granel para exportação.

As exportações brasileiras de açúcar participam com cerca de 30% do volume do produto negociado internacionalmente e vêm crescendo a taxas elevadas. Em 2005, gerou aproximadamente US\$ 4 bilhões para a balança comercial.

Na safra 2005/2006, cerca de 380 usinas operaram no país, produzindo aproximadamente 26 milhões de toneladas de açúcar e 16 milhões de metros cúbicos de álcool. O Centro-Sul foi responsável por 90% da produção de álcool e 85% da produção de açúcar. Neste período o Brasil exportou 18 milhões toneladas de açúcar, ou seja, cerca de 70% da quantidade produzida.

A desregulamentação do setor nos anos 90 provocou mudanças significativas no que se refere à produção, à comercialização e à mentalidade do setor. A exigência de constantes aumentos de competitividade para superar os problemas advindos do afastamento do Estado implicou a necessidade de otimização da alocação de recursos.

Segundo Moraes (2000), o processo de liberalização econômica

iniciado no governo Collor afetou o ambiente institucional e organizacional do setor sucroalcooleiro, seu sistema de fixação de preços, suas formas de comercialização, o controle da produção, as políticas de sustentação do álcool combustível e da cana-de-açúcar e o modo de atuação dos agentes envolvidos.

Para enfrentar os efeitos da desregulamentação, surgiram novas estratégias competitivas. O setor foi obrigado a se adaptar e a estruturar uma nova dinâmica concorrencial. Vian (2003) ressalta que a competição baseada no plantio nas melhores terras e na produtividade industrial foi substituída por novas formas de concorrência, apesar de algumas características terem se mantido, tal como a integração para trás.

Belik, Ramos e Vian (1998) descrevem algumas das estratégias que foram adotadas para enfrentar o afastamento do Estado: diversificação produtiva e aprofundamento e especialização na produção que envolve automação da produção, aumentos de produtividade, mecanização da colheita e otimização do sistema logístico. Além destas, são importantes também os movimentos em relação à concentração e centralização de capital no setor.

Novas estratégias tiveram que ser adotadas, dentre elas, a melhoria na logística, fator fundamental tanto para a qualidade do nível de serviço prestado aos clientes quanto para a redução de custos, principalmente por se tratar de commodity agrícola, cujo preço é ditado pelo mercado internacional e, portanto, a margem de comercialização será tanto maior quanto menores forem os custos de produção e de comercialização.

Neste contexto, a utilização do modal ferroviário na logística de movimentação de açúcar para exportação se revela como uma alternativa interessante em função de suas características de altos custos fixos e custos variáveis baixos, que possibilitam o surgimento de economias de escala quando o volume de carga embarcado e a distância percorrida forem relativamente altas.

Além disso, o governo e os concessionários têm dado maior importância ao setor. Entretanto, há que se considerar uma restrição para inclusão do modal ferroviário nas estratégias logísticas das empresas: ela implica a necessidade de concentração de carga em um determinado local para que o transporte seja eficiente, uma vez que flexibilidade não é característica comum ao transporte ferroviário, aspecto este mais

intrínseco à modalidade rodoviária, que possibilita atender os clientes na porta da fábrica e carregar quantidades relativamente pequenas.

O potencial das exportações de açúcar utilizando o transporte ferroviário e a necessidade de construção de armazéns concentradores de carga são objetos de estudo deste trabalho.

Além desta introdução, o trabalho será constituído por mais quatro seções. A segunda é composta por uma caracterização do setor de transporte ferroviário de carga no Brasil. A metodologia utilizada está especificada na seção 3. A seção 4 apresenta e discute os resultados do trabalho, os quais são sumarizados na quinta seção.

## **2. A logística ferroviária no setor agrícola brasileiro**

O diagnóstico sobre a infra-estrutura logística brasileira do Centro de Estudos em Logística do Instituto de Pós-Graduação em Administração da Universidade Federal do Rio de Janeiro (CEL/COPPEAD, 2002) indica que os problemas de deficiências na regulação, de custo de capital elevado e nas políticas de investimento dos governos levaram o país a uma dependência exagerada do modal rodoviário.

O país possui uma frota rodoviária de idade média avançada – cerca de 17,5 anos – e quase 80% de suas rodovias estão em condições ruins ou péssimas. Este fato é agravado pelas dificuldades para desenvolvimento de outros modais e tornam o sistema ineficiente e o país bastante vulnerável. A insuficiência de infra-estrutura ferroviária, cujas locomotivas estão com idade média também bastante avançada (em média, 25 anos), a pouca utilização da modalidade aquaviária e a baixíssima disponibilidade de terminais multimodais tornam o problema ainda mais grave.

Esta dependência da modalidade rodoviária torna-se um problema ainda maior quando se consideram as dimensões continentais do Brasil. O transporte rodoviário possui baixa produtividade, pequena eficiência energética, alto índice de emissão de poluentes e baixo nível de segurança.

A privatização das malhas ferroviárias, a partir de 1996, resgatou a importância do modal ferroviário na matriz de transportes através da oferta de serviços mais eficientes. O controle das malhas passou a ser exercido predominantemente pelo capital privado nacional, destacan-

do-se na composição acionária dessas empresas grandes usuários do transporte ferroviário de cargas.

Apesar das condições também relativamente precárias do setor, o transporte rodoviário é a modalidade predominante nos últimos anos para o transporte de açúcar em São Paulo. Os esquemas logísticos mais comuns no setor sucroalcooleiro paulista envolvem a contratação de transportadoras especializadas e também de caminhoneiros autônomos. Normalmente, as contratações do transporte rodoviário são baseadas na confiança e poucas transações são suportadas por contratos formais.

As usinas estabelecem um relacionamento informal com as transportadoras e com caminhoneiros autônomos e os serviços prestados são, muitas vezes, negociados no mercado *spot*. As transações ficam, portanto, sujeitas às condições de oferta e demanda de caminhões na região, tornando-se, em última instância, dependente de condições climáticas que determinam a safra de outras culturas que disputam a oferta de caminhão com o açúcar, tal como a soja, em alguns meses do ano.

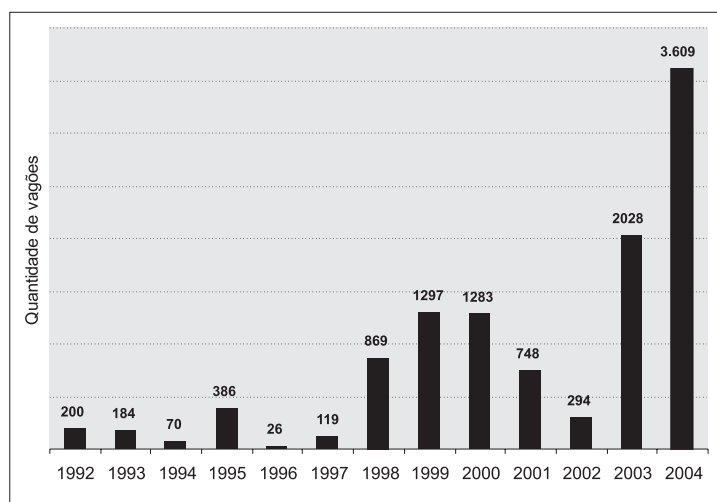
A participação pouco significativa da ferrovia no transporte de açúcar no estado de São Paulo estava restrita ao açúcar ensacado e, somente a partir de 2000, o transporte do produto a granel passa a ser relevante. A partir desse ano, houve um crescimento contínuo deste tipo de transporte e uma queda do açúcar acondicionado. As operações de granel utilizavam, normalmente, infra-estrutura adaptada e relativamente precária para transbordo.

A entrada de capital privado nas ferrovias promoveu aumento significativo nos investimentos e, como resultado, a produção das ferrovias privatizadas, a partir de 1997, passa a crescer e o índice de acidentes a cair, apesar de ainda estar longe de padrões internacionais.

É neste contexto que o governo federal lançou o Plano de Revitalização das Ferrovias cujos principais objetivos são reorganizar as concessões e tomar medidas para reestruturação das malhas, criar mecanismos de fiscalização e controle de desempenho das concessionárias e aumentar a participação da ferrovia na matriz de transporte de carga brasileira através de investimentos públicos e privados principalmente em via, frota e segurança. Ademais, o programa prevê a construção de trechos ferroviários, principalmente focados nas ferrovias Transnordestina, Norte-Sul e no Ferroanel.

Atualmente, importantes parcerias vêm ocorrendo entre clientes e concessionários ferroviários. O cliente financia a compra ou reforma de vagões e/ou de locomotivas através de adiantamento de fretes (ou compra e os aluga à ferrovia); em contrapartida, tem o seu volume de transporte garantido através do estabelecimento de contratos de longo prazo com as ferrovias. Estes tipos de parcerias foram as grandes responsáveis pelo aumento da demanda de vagões na indústria ferroviária brasileira, conforme mostra a Figura 1. Ademais, os clientes passaram a investir também em armazéns e estruturas para transbordo a fim de aumentar a eficiência da logística ferroviária.

**Figura 1** – Produção brasileira de vagões



Fonte: elaborado a partir da Associação Brasileira da Indústria Ferroviária (ABIFER) (2005)

O investimento de clientes na ferrovia é uma tendência forte entre as companhias para as quais o gasto com transporte tem peso significativo no valor do produto. No setor sucroalcooleiro, por exemplo, empresas como Cosan, Cargill, Crystalsev, Copersucar, Sucden, Grupo Coruripe e EDF&Man estabeleceram contratos de longo prazo com as concessionárias ferroviárias.

Em 2004, a EDF&Man (responsável por cerca de 15% das exportações brasileiras de açúcar) fechou um contrato com a Brasil Ferrovias

para o transporte anual de 320 mil toneladas até 2010. A empresa inaugurou um terminal de transbordo em Santa Adélia, na região de Catanduva/SP, ao lado da linha da Brasil Ferrovias, para agregar carga das usinas de açúcar da região e movimentá-las via ferrovia até o Porto de Santos. O terminal terá capacidade estática de 45 mil toneladas e será capaz de movimentar cerca de 500 mil toneladas por ano. A empresa investiu também: comprou quatro locomotivas e 88 vagões (Necessidade, 2005 e Brito, 2004).

A Sucden do Brasil e suas sócias, as usinas Aralco de Santo Antonio do Aracanguá-SP e Unialco de Guararapes-SP, construíram um terminal rododiferroviário denominado Araçatuba Logística para o escoamento, por ferrovia, do açúcar produzido na região até o porto de Santos (Aralco, 2005). O projeto junto à Novoeste envolveu também a aquisição de locomotivas e vagões e, em contrapartida, o grupo terá abatimento no custo do frete nos próximos anos. Aralco (2005) afirma que a utilização do transporte ferroviário em substituição ao rodoviário para o transporte de açúcar garantiu às usinas uma redução de 20% no custo do frete na safra 03/04.

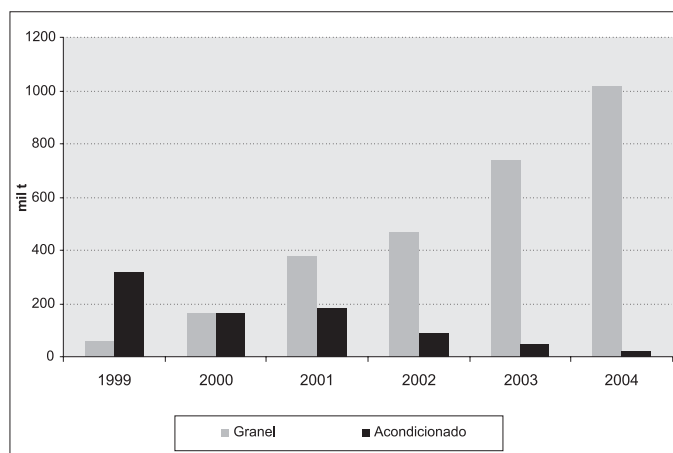
A existência do terminal para armazenagem e transbordo e composições dedicadas permite prever e planejar as operações. O volume constante de transferência do interior para o porto evita a necessidade de contratos spot para frotas de caminhões que acarretam em altos preços pagos devido à eventual urgência de transporte para atender demanda do porto.

No contexto da malha ferroviária paulista, a antiga Brasil Ferrovias (holding das empresas Ferroban, Ferronorte e Novoeste, recentemente adquirida pela América Latina Logística - ALL) é a empresa ferroviária de maior importância em termos de área de influência, pois corta o estado de leste a oeste e tem acesso ao porto de Santos, por isso sua importância para o complexo sucroalcooleiro é muito grande. Nos últimos anos, o volume do produto nos trilhos aumentou significativamente.

O volume total de açúcar transportado por esta malha passou de cerca de 380 mil toneladas em 1999 para mais de 1 milhão em 2004. A Figura 2 apresenta os volumes de açúcar operados pela Brasil Ferrovias. É relevante notar também a diminuição da importância do açúcar acondicionado (ensacado) no transporte ferroviário que, em 2004, praticamente já não existiu.



**Figura 2** – Volume anual de açúcar operado pela Brasil Ferrovias



Fonte: Brasil Ferrovias (2005)

Estas constatações indicam que este momento é bastante propício para o crescimento do transporte ferroviário. Alguns desafios ainda precisam ser superados como a realização dos investimentos da União e dos concessionários no modal, a obtenção de fontes adequadas de financiamento e equacionamento das questões regulatórias a fim de mitigar os riscos envolvidos no setor. O governo se prepara para investir no setor e os empresários usam a criatividade para driblar os não raros baixíssimos índices de eficiência deste modal e as condições adversas de investimento no setor a fim de viabilizar o aumento da participação desta modalidade na matriz de transporte e diminuir os gargalos logísticos brasileiros.

### 3. Metodologia

Para atingir o objetivo proposto neste trabalho, utilizou-se da Pesquisa Operacional que, a partir de métodos de programação matemática (linear e inteira), foi o arcabouço teórico utilizado para referenciar a especificação do modelo matemático de localização ótima para armazéns concentradores de carga no estado de São Paulo.

### ***3.1. Modelagem matemática de otimização em problemas de localização industrial***

Johann Heinrich Von Thünen é considerado o precursor dos teóricos da localização. Focou o problema da localização na atividade agrícola, propondo um procedimento que passou a ser chamado “anéis de Von Thünen” (circunferências ao redor dos municípios que delimitam a área de cultivo de diferentes produtos agrícolas). Já Wilhem Launhardt direcionou seus estudos para a atividade industrial, enquanto Alfred Weber foi quem deu um impulso mais vigoroso na teoria, identificando as causas econômicas que determinavam a localização das indústrias (Banco do Nordeste, 1968).

O Manual elaborado pelo Banco do Nordeste (1968, p. IX) define o problema da localização como o da “condicionalidade espacial das atividades econômicas. Ou, em outras palavras, das influências que o espaço geográfico exerce sobre aquelas atividades, uma vez que elas se acham, natural e necessariamente, condicionadas pela distribuição espacial dos recursos de produção, de um lado, e dos aglomerados humanos, do outro; o que implica, de um ponto de vista da Economia, em introduzir-se, ou no estudo teórico ou no tratamento empírico das mesmas, a variável distância”. É importante considerar o aspecto espacial das atividades econômicas, pois influenciam os custos dos fatores de produção.

A localização de um empreendimento é, neste sentido, um problema de escolha da melhor combinação de vários fatores como capital, mão-de-obra, recursos naturais e insumos. Nos problemas de localização, há que se analisar as disponibilidades (recursos e mercados) de uma região e relacioná-las às características da atividade econômica em estudo (Banco do Nordeste, 1968). Porém, nos estudos de localização, os fatores locais são dinâmicos e podem mudar ao longo do tempo; além disso, há necessidade de se levar em consideração motivações de ordem subjetiva e políticas envolvidas neste processo de tomada de decisões.

Azzoni (1982, p.7) ressalta a importância do trabalho de Alfred Weber que, em 1909, “apresentou uma teoria geral e abstrata para a localização de uma firma individualmente. Analisa, separadamente, a influência de custos de transporte, do fator mão-de-obra e das forças aglomerativas”, estas últimas tratam-se tanto de economias de escala

como de outras economias como a de localização. Weber mostra que a localização ótima da firma se dá no ponto de menor custo de transporte, ponderado pelos custos com mão-de-obra e outros custos referentes a economias de aglomeração.

Alguns autores, citados por Azzoni (1982), criticam a ênfase dada aos custos de transporte na determinação da localização de firmas, afirmando que a participação destes no custo total do produto tem sido cada vez menor. Isso pode até ser verdade para casos de produtos com alto valor agregado, porém no caso de commodities agrícolas, este custo ainda tem grande relevância.

Ramos (2001) afirma que o surgimento da programação linear tornou possível a modelagem de problemas mais complexos que o weberiano, possibilitando a inclusão de várias regiões de demanda e de oferta.

Os modelos multi-regionais tentam resolver a questão da alocação de produtos a partir de várias regiões produtoras para várias regiões de consumo, limitados pela consideração de produção e consumo regionais fixos. Barros (2004) afirma que o modelo multi-regional parte das hipóteses de que o produto é homogêneo, produzido em quantidades predeterminadas em  $m$  pontos produtores e consumidos em  $n$  pontos consumidores, também em quantidades predeterminadas. Os pontos de produção e consumo são conectados por vias de transporte, a custos unitários pré-definidos. O objetivo do modelo é obter o padrão de comércio inter-regional que minimizará o custo de transferência. A limitação surgida ao considerar produção e consumo fixos faz com que as soluções ótimas obtidas sejam consideradas de curto prazo. As pressuposições e os dados do modelo devem ser testados para avaliar a estabilidade da solução obtida.

Os modelos de programação matemática podem ser classificados em três tipos: lineares, não-lineares e inteiros. Os modelos lineares pressupõem relações lineares entre as variáveis do problema e qualquer relação não-linear presente ou na função objetivo ou nas restrições caracteriza um modelo não-linear. A programação inteira é utilizada para problemas que exigem variáveis inteiras ou alguma relação lógica entre as variáveis, como é o caso de modelos que utilizam variáveis binárias (do tipo 0-1). Algoritmos diferentes são desenvolvidos para resolução de cada tipo de programação (e há diferentes algoritmos para resolução

de programações do mesmo tipo), dado o nível de complexidade distinto de cada modelo.

Segundo Caixeta-Filho (2001), a programação linear propagou-se a partir de trabalhos publicados na área militar, em especial a partir do trabalho publicado por George B. Dantzig na década de 1940. Sua pesquisa abordava o tema de distribuição ótima de tropas entre as diversas batalhas durante o período da Segunda Guerra Mundial. O Método Simplex, fruto deste esforço de pesquisa, é o algoritmo mais comentado e utilizado na literatura especializada e nos softwares de programação linear para resolução dos problemas.

Lopes (1997) ressalta a importância do avanço científico na área de modelagem para localização com a utilização da programação inteira-mista. O autor afirma que a teoria da localização pode ser entendida como uma variação do modelo de transporte que, em conjunto com a programação inteira, constitui um ferramental interessante para a determinação do local ótimo para instalação de uma firma. A possibilidade de incluir variáveis binárias no modelo tornou possível testar diversas capacidades de processamento para cada região. Os resultados deste tipo de modelo indicam não apenas a melhor localização, mas também a capacidade ótima de processamento para a região.

O modelo de programação matemática que será desenvolvido neste trabalho é do tipo inteiro-misto, pois, além da linearidade presente nas relações entre as variáveis, a variável binária 0-1 será incorporada no modelo a fim de representar decisões do tipo “sim” ou “não”, referindo-se à instalação ou não de um armazém em determinado local.

É importante destacar que os modelos matemáticos deverão ser utilizados como instrumentos de auxílio à decisão e seus resultados não devem ser vistos como verdades incontestáveis, pelo contrário, uma análise crítica destes é fundamental. Além disso, a estrutura e a qualidade dos dados que compõem o modelo é fundamental para o nível de qualidade dos resultados (Williams, 1993).

Caixeta-Filho (2001) ressalta algumas pressuposições que acompanham os modelos matemáticos de programação linear que, apesar de relativamente fortes, tornam sua resolução mais simples e possibilitam a garantia de resultado ótimo em curto espaço de tempo. As relações lineares entre todas as variáveis deste tipo de modelo implicam a pro-

porcionalidade das contribuições envolvidas assim como a aditividade destas contribuições.

Apesar de todas as limitações de um modelo de programação linear, seu uso pode ser bastante interessante tanto para iniciativa privada quanto para o poder público, como um instrumento capaz de orientar as decisões e, o que pode ser ainda mais importante, a formulação de modelos, geralmente, conduz a um conhecimento profundo do problema.

### 3.2. Modelo proposto

O objetivo do modelo é determinar os locais mais adequados para instalação destes armazéns, suas capacidades ótimas e os fluxos do produto que levam a um custo logístico mínimo. Espera-se, portanto, obter a minimização dos custos de transporte e de armazenagem, dadas as restrições impostas ao modelo.

O modelo desenvolvido refere-se à minimização de uma função objetivo que representa de forma simplificada os custos obtidos na exportação de açúcar do estado de São Paulo. O objetivo é encontrar as quantidades que tornam (1) o menor possível, mas que satisfaça (2), (3), (4), (5), (6) e (7).

i) Função objetivo

$$\text{Min} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^p c_{ij} x_{ij} + \sum_{j=1}^p \sum_{k=1}^n d_{jk} y_{jk} + \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^n e_{ik} z_{ik} + \sum_{j=1}^p H_j + \sum_{k=1}^n CP_k w_k \quad (1)$$

onde:

$c_{ij}$  = custo de transporte rodoviário por tonelada entre a usina i e armazém j;

$x_{ij}$  = quantidade (em mil toneladas) transportada da usina i ao armazém j, via rodovia;

$d_{jk}$  = custo de transporte ferroviário por tonelada entre o armazém j e o porto k;

$y_{jk}$  = quantidade (em mil toneladas) transportada do armazém j para o porto k;

$e_{ik}$  = custo de transporte rodoviário por tonelada da usina i para o porto k;

$z_{ik}$  = quantidade (em mil toneladas) transportada diretamente da usina i ao porto k, via rodovia;

$H_j$  = custo operacional do armazém de tamanho t em j;

$CP_k$  = custo portuário por tonelada;

$w_k$  = quantidade de produto que chega no porto (em mil toneladas).

Desmembrando a função objetivo, obtêm-se as seguintes parcelas:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^p c_{ij} x_{ij} \quad (1a)$$

$$\sum_{j=1}^p \sum_{k=1}^n d_{jk} y_{jk} \quad (1b)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^n e_{ik} z_{ik} \quad (1c)$$

$$\sum_{j=1}^p H_j \quad (1d)$$

$$\sum_{k=1}^n CP_k w_k \quad (1e)$$

A expressão (1a) denota o custo de transporte de açúcar entre a usina i e o armazém j, este trecho entre a unidade produtora e o armazém é conhecido com ponta ou pernada rodoviária. A parcela (1b) representa o custo de transporte ferroviário entre o armazém j e o porto k enquanto que a (1c) retrata o custo de transporte rodoviário direto entre a usina i e o porto k. As expressões (1d) e (1e) representam, respectivamente, o custo operacional de armazenagem e custo portuário gerado pela movimentação do açúcar nestes locais.

ii) Restrições:

a) Capacidade de produção das usinas: a quantidade de açúcar transportado da usina i ao armazém j somada à quantidade transportada da usina i diretamente para o porto k não deve exceder a produção desta usina:

$$\sum_{j=1}^p x_{ij} + \sum_{k=1}^n z_{ik} \leq S_i, \text{ para todo } i \quad (2)$$

onde:

$S_i$  = produção da usina i.

b) Capacidade dos armazéns: a quantidade de açúcar que chega no armazém j não deve exceder sua capacidade dinâmica.

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \leq \sum_{t=1}^q CAP_t B_{jt}, \text{ para todo } j \quad (3)$$

onde:

$CAP_t$  = capacidade dinâmica do armazém de tamanho t localizado em j;

$B_{jt}$  = variável binária (do tipo 0-1) associada à instalação ou não de um armazém de tamanho t localizado em j.

c) Quantidade de açúcar que entra nos armazéns é igual à quantidade que sai dos armazéns:

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = \sum_{k=1}^n y_{jk}, \text{ para todo } j \quad (4)$$

d) Volume de açúcar que sai da usina i com destino ao porto k somado ao volume que sai do armazém j para o porto k é igual ao volume total recebido pelo porto k:

$$\sum_{j=1}^p y_{jk} + \sum_{i=1}^m z_{ik} = w_k, \text{ para todo } k \quad (5)$$

onde:

$w_k$  = volume de produto que chega ao porto;

e) A demanda do porto deve ser atendida:

$$\sum_{j=1}^p y_{jk} + \sum_{i=1}^m z_{ik} \geq EXPORT_k, \text{ para todo } k \quad (6)$$

onde:

$EXPORT_k$  = demanda do porto k (exportação).

f) Número máximo de armazéns que podem ser instalados em cada região:

$$\sum_{t=1}^q B_{jt} \leq 1, \text{ para todo } j \quad (7)$$

g) Custo total de operação dos armazéns de tamanho t a serem instalados em j:

$$H_j = \sum_{t=1}^q CO_t B_{jt}, \text{ para todo } j \quad (8)$$

A restrição (8) contabiliza o custo incorrido pela operação do armazém. Essa expressão representa uma simplificação importante do modelo: não importa a quantidade de produto que vai passar pelo armazém; qualquer que seja o volume, o custo incorrido pela sua utilização será o mesmo. A utilização do armazém gera um custo operacional pelo seu tamanho, independente da quantidade que passa por ele. Não se levam em consideração, portanto, economias de escala na armazenagem.

A estrutura matemática apresentada foi codificada e processada através da linguagem de otimização GAMS. Os resultados obtidos e uma discussão sobre eles é assunto do tópico seguinte.

Como possíveis locais para instalação de terminais intermodais no interior do estado de São Paulo foram escolhidos os seguintes municípios: Araçatuba, Araraquara, Barretos, Bauru, Boituva, Fernandópolis, Palmital, Pradópolis, Ribeirão Preto, Santa Adélia e Tupã. Eles foram escolhidos porque suas áreas de influência representam praticamente todas as regiões do estado de São Paulo, exceto o litoral norte e o extremo sudoeste que não são representativos em termos de produção para o mercado sucroalcooleiro.

Atualmente, algumas dessas regiões já possuem armazéns instalados. Este trabalho considerou a inexistência prévia de armazéns no estado, pois o objetivo é encontrar a configuração espacial ótima, independente da existente na atualidade. A indicação de algum município como local ótimo será interpretada como uma região demandante de armazém. Pode-se dizer, portanto, que o município escolhido dará indicações da região onde pode ser adequada a instalação de um terminal intermodal para açúcar, observadas as restrições do modelo que serão detalhadas adiante.

As usinas consideradas neste trabalho estão localizadas na área de influência destas localidades, consideradas a partir de uma circunferência com centro no município e um raio de 100 quilômetros. Essa amostra cobre cerca de 80% da produção do estado de São Paulo. A Figura 3 mostra o mapa com as usinas e as áreas de influência consideradas.

Quanto aos dados utilizados no modelo, algumas observações são



relevantes. Para obtenção dos fretes praticados de transporte rodoviário e ferroviário com destino aos portos foram utilizados dados do Sistema de Informações de Fretes Agrícolas (SIFRECA<sup>1</sup>) e para os custos de transporte das pontas rodoviárias (percurso entre a usina e os armazéns) utilizaram-se informações obtidas junto a agentes do setor, cujas identidades serão preservadas para não comprometer suas estratégias de negociação. Os dados de custo de transporte serão utilizados como coeficientes das quantidades movimentadas na função objetivo<sup>2</sup>.

Para obtenção de estimativa dos custos de transporte entre as usinas e os armazéns (ponta rodoviária) foram utilizados dados de junho de 2004 obtidos junto a empresas do setor<sup>3</sup>. Para estimativa dos fretes de exportação (com destino aos portos de Santos e Paranaguá), foram analisados fretes praticados entre janeiro de 2002 e junho de 2004 constantes na base de dados do SIFRECA.

As rotas foram separadas por faixas de distância de 100 quilômetros. Os valores nominais dos fretes da série histórica foram levados a valor presente de junho de 2004 por um índice composto por 70% da variação do IGP-M e 30% da variação do diesel<sup>4</sup> a fim de se tentar estimar o aumento dos custos (e supondo conseqüente alteração dos preços) e, a partir destes dados, foi feita uma média anual do frete unitário (R\$/t.km) para cada intervalo de distância. Estes fretes unitários (R\$/t.km) foram multiplicados pelas distâncias (km) entre as origens e os portos e encontrou-se o frete médio (R\$/t) anual.

A matriz de custos calculada considera níveis de fretes médios anuais; porém, na prática, observa-se uma sazonalidade dos fretes rodoviários

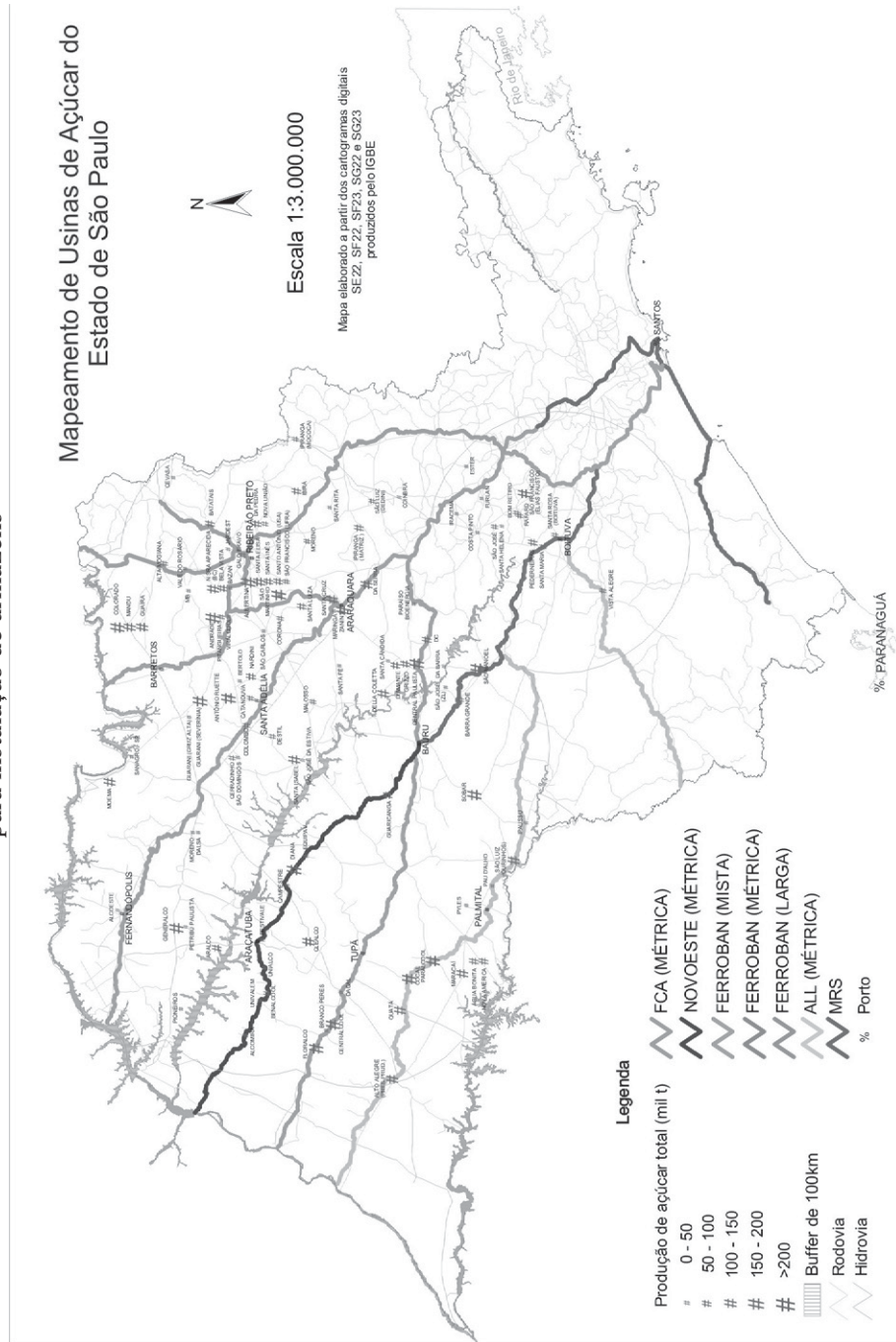
<sup>1</sup> Os valores de fretes obtidos a partir do Sistema de Informações de Fretes – SIFRECA (<http://sifreca.esalq.usp.br>), projeto permanente do Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial – ESALQ-LOG (<http://log.esalq.usp.br>), estavam relacionados às movimentações efetivamente praticadas em rotas diversas, tomando como referência o chamado “frete-empresa”, não incluindo impostos e seguros mas incluindo os valores de pedágios (no caso das movimentações rodoviárias).

<sup>2</sup> Para maiores informações sobre os dados utilizados no modelo matemático, consultar Oliveira (2005).

<sup>3</sup> Foram utilizados dados atuais obtidos junto a agentes do setor porque a série histórica deste tipo de frete não consta na base de dados do SIFRECA.

<sup>4</sup> Essa composição de índices foi utilizada, pois algumas planilhas de custo disponíveis no mercado indicam que cerca de 30% do custo do transporte rodoviário referem-se a combustível e 70% a custos com manutenção e depreciação.

**Figura 3** – Áreas de influência dos municípios considerados como possíveis locais para instalação de armazéns



que varia principalmente com a demanda por transporte. Esta simplificação foi adotada a fim de facilitar a modelagem matemática do problema<sup>5</sup>.

Os dados de produção de açúcar das usinas foram obtidos através do JornalCana, UDOP e website das empresas e se referem ou à safra 02/03 ou à 03/04, dependendo da disponibilidade da informação. Seguindo a tendência atual de exportação, este trabalho considerará que 60% da produção das usinas serão destinadas à exportação. Esta é uma simplificação que será adotada; porém sabe-se que algumas usinas são mais voltadas para o mercado interno e outras têm vocações exportadoras.

Considerou-se neste trabalho que 98% do volume de açúcar produzido para exportação no estado de São Paulo saem do país pelos portos de Santos e Paranaguá. A Tabela 1 mostra que o market share do Porto de Santos para as exportações de São Paulo gira em torno de 90% e do Porto de Paranaguá, 8%, ou seja, a demanda do Porto de Santos considerada no trabalho foi de 6,4 milhões de toneladas e do Porto de Paranaguá, 600 mil toneladas, que representam, aproximadamente, os percentuais acima aplicados ao volume de exportação das usinas consideradas, totalizando 7 milhões de toneladas.

**Tabela 1** – Volume das exportações de açúcar de São Paulo, por principais portos, 2002 a 2004.

| Exportação de Açúcar                 | 2002 | 2003 | 2004 |
|--------------------------------------|------|------|------|
| <i>Produzido em São Paulo</i>        |      |      |      |
| Destino Santos                       | 7,8  | 8,2  | 10,3 |
| Destino Paranaguá                    | 1,4  | 0,5  | 0,4  |
| Total exportado SP                   | 9,4  | 8,8  | 10,9 |
| Açúcar total exportado por Santos    | 8,2  | 8,7  | 11,0 |
| Açúcar total exportado por Paranaguá | 2,5  | 1,7  | 1,6  |
| Exportação açúcar brasileiro         | 13,4 | 12,9 | 15,8 |

Fonte: elaborado a partir de Brasil (2005)

<sup>5</sup> Caso se considerasse a sazonalidade e, conseqüentemente, a variável tempo, possivelmente se observaria uma maior competitividade do transporte rodoviário direto ao porto no período de entressafra. Isso poderia diminuir a utilização do armazém neste período, porém, o período de entressafra é aproximadamente quatro meses, comparativamente aos quase oito meses de operação e, com tendência a ser cada vez menor, além da possibilidade de armazenamento do produto o ano todo. Portanto, esta premissa não tem grandes impactos na análise da alocação ótima dos armazéns.

Para se obter um parâmetro sobre os custos operacionais de armazenagem, foi feito um contato com a gerência da CEAGESP a fim de se obter informações sobre os preços cobrados pela instituição para movimentação deste produto nas suas unidades armazenadoras. A informação obtida foi de que para um mês no armazém o dono da carga terá um custo de cerca de R\$ 7,30 / tonelada. A gerência informou ainda que os preços podem variar em função de contratos de reserva de espaço, para casos específicos.

O modelo não considera economias de escala no armazém e o custo foi calculado da seguinte maneira: foi adotada uma estimativa de custo de R\$ 7,00 / tonelada, multiplicou-se este valor pela capacidade dinâmica do armazém, ou seja, a movimentação de açúcar, independentemente da quantidade, gera um custo operacional fixo de armazenamento.

Dez tamanhos de armazéns foram considerados: 30, 50, 70, 100, 150, 200, 250, 300, 400 e 500 mil toneladas, que indicam para o modelo a capacidade dinâmica dos terminais. Estes tamanhos foram definidos a partir de informações de mercado sobre a capacidade estática dos armazéns existentes que operam açúcar a granel, que, em sua maioria, variam entre 30 mil toneladas e 100 mil toneladas. As alternativas, portanto, contemplam diferentes capacidades que consideram giros dos armazéns entre uma e cinco vezes.

Quanto aos dados de custo portuário, foram obtidas informações junto a agentes do setor sucroalcooleiro que sugeriram que o custo por tonelada do porto de Santos gira em torno de US\$ 11.00 e o do Porto de Paranaguá aproximadamente US\$ 9.50. Para conversão em Reais utilizou-se o câmbio de R\$ 2,65 / US\$ 1.00. Esta é também uma simplificação dado que alguns agentes possuem estrutura de armazenagem no porto e outros não, o que os diferencia bastante em termos de custos portuários incorridos. De qualquer forma, este valor é aproximado e está relacionado a quem não possui infra-estrutura própria no porto.

#### **4. Resultados e Discussão**

Para os cenários adotados, serão analisados os fluxos de açúcar, a escala ótima dos armazéns e os locais mais adequados para sua instalação. Estes resultados foram obtidos pelo processamento do modelo

matemático de programação mista desenvolvido com o software de otimização GAMS. Apenas o cenário 1 será detalhado<sup>6</sup> neste trabalho.

Os resultados do trabalho estão sujeitos às simplificações adotadas na elaboração do modelo. Dentre elas, as mais importantes são: 1) ofertas e demandas conhecidas: as usinas exportam 60% do que produzem e do total exportado, 90% seguem para o Porto de Santos e 8% para Paranaguá; 2) não há economias de escala no transporte e no armazenamento; 3) o modelo não contempla a distribuição das exportações ao longo do tempo; 4) o custo de construção e implantação dos terminais não foi considerado. Destaca-se ainda que este trabalho não levou em conta a alternativa logística que envolve o transporte hidroviário no estado de São Paulo, por esta ser ainda muito incipiente para o caso do açúcar. Também não considera a alternativa de saída do açúcar do armazém por caminhão, pois a viabilização do transporte rodoviário não implica a concentração de carga em determinado local.

Os cenários adotados levaram em consideração a não existência prévia de armazéns intermodais concentradores de carga no estado de São Paulo e, no cenário 1, permitiu-se a instalação de apenas um terminal em cada município considerado.

A solução do problema de minimização de custos logísticos do cenário 1, sob as condições estipuladas, indicou que o menor custo possível para movimentar as 7 milhões de toneladas consideradas é R\$ 524.931.810,00. A capacidade total de armazenagem instalada foi de 4,05 milhões de toneladas e foi plenamente utilizada. As quantidades transportadas das usinas para os armazéns e para os portos pelo modal rodoviário estão apresentadas no Quadro 1.

As maiores distâncias de ponta rodoviária giram em torno de 100 km. Os maiores percursos para alcançar um terminal ocorrem no oeste do estado, o que já era esperado dado que nas áreas mais tradicionais há grande concentração de usinas e, com isso, a capacidade dos terminais é atingida pela produção de unidades próximas ao terminal, além de refletir também o menor custo unitário de transporte ferroviário para

<sup>6</sup> Detalhamento dos demais cenários podem ser encontrados em 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, 2005. 166 p. Dissertação (M.S.) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

longas distâncias, diminuindo assim o custo relativo das rotas com origem no terminal e destino aos portos.

**Quadro 1** - Volume de açúcar transportado pelo modal rodoviário, em mil toneladas

| Ui  | Usina                  | Município                 | Ponta Rodoviária |                  |                |             |               |                     |                |                  |                      |                     |             | Rodov. Direto |           | Total (mil t) |
|-----|------------------------|---------------------------|------------------|------------------|----------------|-------------|---------------|---------------------|----------------|------------------|----------------------|---------------------|-------------|---------------|-----------|---------------|
|     |                        |                           | A1<br>Araçatuba  | A2<br>Araraquara | A3<br>Barretos | A4<br>Bauru | A5<br>Boituva | A6<br>Fernandópolis | A7<br>Palmital | A8<br>Pradópolis | A9<br>Ribeirão Preto | A10<br>Santa Adélia | A11<br>Tupã | Santos        | Paranaíba |               |
| U2  | Albertina              | Sertãozinho               |                  |                  |                |             |               |                     |                |                  | 90                   |                     |             |               |           | 90            |
| U3  | Alcoazul               | Araçatuba                 | 26               |                  |                |             |               |                     |                |                  |                      |                     |             |               |           | 26            |
| U5  | Alcomira               | Mirandópolis              | 12               |                  |                |             |               |                     |                |                  |                      |                     |             |               |           | 12            |
| U6  | Alta Mogiana           | São Joaquim da Barra      |                  |                  |                |             |               |                     |                |                  |                      |                     |             | 112           |           | 112           |
| U7  | Alto Alegre            | Presidente Prudente       |                  |                  |                |             |               |                     |                |                  |                      |                     | 97          |               |           | 97            |
| U8  | Andrade                | Pitangueiras              |                  |                  |                |             |               |                     |                |                  |                      |                     |             | 5             |           | 5             |
| U9  | Aralco                 | Sto. Antônio do Aracanguá | 57               |                  |                |             |               |                     |                |                  |                      |                     |             |               |           | 57            |
| U10 | Barra Grande           | Lençóis Paulista          |                  |                  |                | 136         |               |                     |                |                  |                      |                     |             |               |           | 136           |
| U11 | Bazan                  | Pontal                    |                  |                  |                |             |               |                     |                |                  |                      |                     |             | 7             |           | 7             |
| U12 | Bela Vista             | Pontal                    |                  |                  |                |             |               |                     |                |                  |                      |                     |             | 72            |           | 72            |
| U13 | Benálcool              | Bento de Abreu            | 45               |                  |                |             |               |                     |                |                  |                      |                     |             |               |           | 45            |
| U15 | Branco Peres           | Adamantina                |                  |                  |                |             |               |                     |                |                  |                      |                     | 20          |               |           | 20            |
| U16 | Campestre              | Penápolis                 | 34               |                  |                |             |               |                     |                |                  |                      |                     |             |               |           | 34            |
| U17 | Catanduva              | Ariranha                  |                  |                  |                |             |               |                     |                |                  |                      | 6                   |             |               |           | 6             |
| U18 | CBA (antiga Sanagro S) | Ícém                      |                  |                  | 23             |             |               |                     |                |                  |                      |                     |             |               |           | 23            |
| U19 | Central Paulista       | Jaú                       |                  |                  |                | 31          |               |                     |                |                  |                      |                     |             | 9             |           | 40            |
| U20 | Centrácool             | Lucélia                   |                  |                  |                |             |               |                     |                |                  |                      |                     | 41          |               |           | 41            |
| U21 | Cerradinho             | Catanduva                 |                  |                  |                |             |               |                     |                |                  |                      | 107                 |             |               |           | 107           |
| U22 | Clealco                | Clementina                | 10               |                  |                |             |               |                     |                |                  |                      |                     | 61          |               |           | 71            |
| U23 | Cocal                  | Paraguçu Paulista         |                  |                  |                |             |               |                     | 127            |                  |                      |                     |             |               |           | 127           |
| U24 | Colombo                | Ariranha                  |                  |                  |                |             |               |                     |                |                  |                      | 167                 |             |               |           | 167           |
| U25 | Colorado               | Guaíra                    |                  |                  | 195            |             |               |                     |                |                  |                      |                     |             | 52            |           | 247           |
| U26 | Corona                 | Guariba                   |                  |                  |                |             |               |                     |                | 274              |                      |                     |             | 6             |           | 280           |
| U27 | Costa Pinto            | Piracaba                  |                  |                  |                |             |               |                     |                |                  |                      |                     |             | 216           |           | 216           |
| U28 | Da Barra               | Barra Bonita              |                  |                  |                |             |               |                     |                |                  |                      |                     |             | 324           |           | 324           |
| U29 | Da Pedra               | Serrana                   |                  |                  |                |             |               |                     |                |                  |                      |                     |             | 116           |           | 116           |
| U30 | Da Serra               | Ibaté                     |                  |                  |                |             |               |                     |                |                  |                      |                     |             | 120           |           | 120           |
| U31 | Dacal                  | Parapuã                   |                  |                  |                |             |               |                     |                |                  |                      |                     | 12          |               |           | 12            |
| U33 | DC                     | Dois Córregos             |                  |                  |                |             |               |                     |                |                  |                      |                     |             | 96            |           | 96            |
| U36 | Destivale              | Araçatuba                 | 15               |                  |                |             |               |                     |                |                  |                      |                     |             |               |           | 15            |
| U37 | Diamante               | Jaú                       |                  |                  |                |             |               |                     |                |                  |                      |                     |             | 120           |           | 120           |
| U38 | Diana                  | Avanhadava                |                  |                  |                |             |               |                     |                |                  |                      |                     |             | 22            |           | 22            |
| U39 | Equipav                | Promissão                 | 95               |                  |                |             |               |                     |                |                  |                      |                     |             | 11            |           | 106           |
| U40 | Ester                  | Cosmópolis                |                  |                  |                |             |               |                     |                |                  |                      |                     |             | 63            |           | 63            |
| U41 | Floralco               | Flórida Paulista          |                  |                  |                |             |               |                     |                |                  |                      |                     | 36          |               |           | 36            |
| U42 | Furlan                 | Santa Bárbara D'Oeste     |                  |                  |                |             |               |                     |                |                  |                      |                     |             | 4             |           | 4             |
| U43 | Galo Bravo             | Ribeirão Preto            |                  |                  |                |             |               |                     |                |                  | 36                   |                     |             | 14            |           | 50            |
| U46 | Guaíra                 | Guaíra                    |                  |                  | 21             |             |               |                     |                |                  |                      |                     |             | 99            |           | 120           |
| U47 | Guarani (Cruz Alta)    | Olimpia                   |                  |                  | 108            |             |               |                     |                |                  |                      |                     |             |               |           | 108           |
| U48 | Guarani (Severínia)    | Severínia                 |                  |                  | 153            |             |               |                     |                |                  |                      |                     |             |               |           | 153           |
| U50 | Ibirá                  | Santa Rosa do Viterbo     |                  |                  |                |             |               |                     |                |                  |                      |                     |             | 53            |           | 53            |
| U51 | Ipauçu                 | Ipauçu                    |                  |                  |                |             |               |                     |                |                  |                      |                     |             |               | 133       | 133           |
| U52 | Ipiranga (Matriz)      | Descalvado                |                  |                  |                |             |               |                     |                |                  |                      |                     |             | 36            |           | 36            |
| U53 | Iracema                | Iracemópolis              |                  |                  |                |             |               |                     |                |                  |                      |                     |             | 98            |           | 98            |
| U54 | Jardest                | Jardinópolis              |                  |                  |                |             |               |                     |                |                  | 38                   |                     |             |               |           | 38            |

- 844** ■ Potencial da logística ferroviária para exportação de açúcar em São Paulo: recomendações de localização para armazéns intermodais

**Quadro 1** - Volume de açúcar transportado pelo modal rodoviário, em mil toneladas

| Ui  | Usina                      | Município                  | Ponta Rodoviária |                  |                |             |               |                     |                |                  |                      |                     |             | Rodov. Direto |           | Total (mil t) |
|-----|----------------------------|----------------------------|------------------|------------------|----------------|-------------|---------------|---------------------|----------------|------------------|----------------------|---------------------|-------------|---------------|-----------|---------------|
|     |                            |                            | A1<br>Araçatuba  | A2<br>Araraquara | A3<br>Barretos | A4<br>Bauru | A5<br>Boituva | A6<br>Fernandópolis | A7<br>Palmital | A8<br>Pradópolis | A9<br>Ribeirão Preto | A10<br>Santa Adélia | A11<br>Tupã | Santos        | Paranaguá |               |
| U58 | Maracai                    | Maracai                    |                  |                  |                |             |               |                     | 6              |                  |                      |                     |             |               |           | 6             |
| U59 | Maringá                    | Araraquara                 |                  | 3                |                |             |               |                     |                |                  |                      |                     |             |               |           | 3             |
| U60 | MB                         | Morro Agudo                |                  |                  |                |             |               |                     |                |                  |                      |                     |             | 96            |           | 96            |
| U62 | Moreno                     | Monte Aprazível            |                  |                  |                |             |               | 6                   |                |                  |                      |                     |             |               | 25        | 31            |
| U63 | Moreno                     | Luís Antônio               |                  |                  |                |             |               |                     |                |                  |                      |                     |             | 116           |           | 116           |
| U64 | Nardini                    | Vista Alegre do Alto       |                  |                  |                |             |               |                     |                |                  | 71                   |                     |             |               |           | 71            |
| U65 | Nossa Senhora de Aparecida | Pontal                     |                  |                  |                |             |               |                     |                |                  |                      |                     |             | 129           |           | 129           |
| U66 | Nova América               | Tarumã                     |                  |                  |                |             |               |                     | 239            |                  |                      |                     |             |               |           | 239           |
| U68 | Parálcool                  | Paraguaçu Paulista         |                  |                  |                |             |               |                     | 2              |                  |                      |                     |             |               |           | 2             |
| U70 | Petrópolis Paulista        | Sebastianópolis do Sul     |                  |                  |                |             |               |                     | 42             |                  |                      |                     |             |               |           | 42            |
| U71 | Pioneiros                  | Sud Menucci                | 32               |                  |                |             |               |                     | 2              |                  |                      |                     |             |               |           | 34            |
| U72 | Pitangueiras               | Pitangueiras               |                  |                  |                |             |               |                     |                |                  |                      |                     |             | 57            |           | 57            |
| U74 | Quatã                      | Quatã                      |                  |                  |                |             |               |                     | 26             |                  |                      |                     | 33          |               |           | 59            |
| U75 | Rafard                     | Rafard                     |                  |                  |                |             |               |                     |                |                  |                      |                     |             | 144           |           | 144           |
| U76 | Santa Adélia               | Jaboticabal                |                  | 87               |                |             |               |                     |                |                  |                      |                     |             |               |           | 87            |
| U77 | Santa Cândida              | Bocaina                    |                  |                  |                | 93          |               |                     |                |                  |                      |                     |             |               |           | 93            |
| U78 | Santa Cruz                 | Américo Brasileiro         |                  | 105              |                |             |               |                     |                |                  |                      |                     |             |               |           | 105           |
| U79 | Santa Elisa                | Sertãozinho                |                  |                  |                |             |               |                     |                |                  | 288                  |                     |             |               |           | 288           |
| U80 | Santa Fé                   | Nova Europa                |                  | 65               |                |             |               |                     |                |                  |                      |                     |             |               |           | 65            |
| U81 | Santa Helena               | Rio das Pedras             |                  |                  |                |             |               |                     |                |                  |                      |                     |             | 96            |           | 96            |
| U83 | Santa Isabel               | Novo Horizonte             |                  |                  |                |             |               |                     |                |                  |                      | 1                   |             |               |           | 1             |
| U84 | Santa Luiza                | Motuca                     |                  | 60               |                |             |               |                     |                |                  |                      |                     |             |               |           | 60            |
| U85 | Santa Maria                | Cerquilha                  |                  |                  |                |             |               |                     |                |                  |                      |                     |             | 27            |           | 27            |
| U86 | Santa Rita                 | Santa Rita do Passa Quatro |                  |                  |                |             |               |                     |                |                  |                      |                     |             | 3             |           | 3             |
| U87 | Santa Rosa (Boituva)       | Boituva                    |                  |                  |                |             |               |                     |                |                  |                      |                     |             | 13            |           | 13            |
| U88 | Santo Antônio (USA)        | Sertãozinho                |                  |                  |                |             |               |                     |                |                  | 3                    |                     |             |               |           | 3             |
| U89 | São Carlos                 | Jaboticabal                |                  | 78               |                |             |               |                     |                |                  |                      |                     |             |               |           | 78            |
| U90 | São Domingos               | Catanduva                  |                  |                  |                |             |               |                     |                |                  |                      | 84                  |             |               |           | 84            |
| U91 | São Francisco (UFRA)       | Sertãozinho                |                  |                  |                |             |               |                     |                |                  | 45                   |                     |             |               |           | 45            |
| U92 | São José                   | Rio das Pedras             |                  |                  |                |             |               |                     |                |                  |                      |                     |             | 45            |           | 45            |
| U93 | São José (ZL)              | Macatuba                   |                  |                  |                | 40          |               |                     |                |                  |                      |                     |             |               |           | 40            |
| U94 | São José da Estiva         | Novo Horizonte             |                  |                  |                |             |               |                     |                |                  |                      | 64                  |             |               | 42        | 106           |
| U95 | São Manuel                 | São Manuel                 |                  |                  |                |             |               |                     |                |                  |                      |                     |             | 75            |           | 75            |
| U96 | São Martinho               | Pradópolis                 |                  | 20               |                |             |               |                     |                | 226              |                      |                     |             |               |           | 246           |

Fonte: resultados da pesquisa

Quanto aos fluxos com destino direto ao Porto de Santos, observa-se que a origem mais distante está cerca de 500 km (Usinas Diana e Guaíra). A maioria das usinas que atende a demanda do porto por rodovia está localizada nas áreas de influência de Ribeirão Preto e de Boituva. Já o Porto de Paranaguá é atendido pela produção total da Usina Ipaussu e parte da produção das usinas Moreno e São José da Estiva. Para estas últimas individualmente, a alternativa de menor custo seria atra-

vés dos terminais de Fernandópolis e Santa Adélia, respectivamente. Entretanto, a capacidade máxima ótima de movimentação destes terminais foi atingida com a oferta de usinas com custos de ponta rodoviária mais baixos, tornando viável, desta forma, a alternativa de transporte rodoviário direto para Paranaguá.

No que tange ao tamanho das plantas, o modelo determinou que, para atingir o custo mínimo de movimentação do açúcar proveniente das usinas consideradas, deveriam ser instalados armazéns de 500 mil toneladas nos municípios de Araçatuba, Araraquara, Barretos, Pradópolis, Ribeirão Preto e Santa Adélia. Além disso, um terminal capaz de movimentar 400 mil toneladas deveria ser instalado em Palmital, outros dois de 300 mil toneladas deveriam ser instalados em Bauru e Tupã e, finalmente, um de 50 mil toneladas em Fernandópolis (vide Quadro 2).

**Quadro 2** - Número e tamanho de armazéns instalados, cenário 1

| Ai  | Município      | T2       | T8        | T9        | T10       |
|-----|----------------|----------|-----------|-----------|-----------|
|     |                | 50 mil t | 300 mil t | 400 mil t | 500 mil t |
| A1  | Araçatuba      |          |           |           | 1         |
| A2  | Araraquara     |          |           |           | 1         |
| A3  | Barretos       |          |           |           | 1         |
| A4  | Bauru          |          | 1         |           |           |
| A6  | Fernandópolis  | 1        |           |           |           |
| A7  | Palmital       |          |           | 1         |           |
| A8  | Pradópolis     |          |           |           | 1         |
| A9  | Ribeirão Preto |          |           |           | 1         |
| A10 | Santa Adélia   |          |           |           | 1         |
| A11 | Tupã           |          | 1         |           |           |

Fonte: resultados da pesquisa

A análise do Quadro 2 permite observar que os maiores armazéns estão localizados nas regiões nordeste e centro-norte do estado (Ribeirão Preto, Pradópolis, Santa Adélia, Araraquara e Barretos), área mais tradicional e com maior produção de açúcar. Além desses, foi estabelecido um terminal em Araçatuba, dando indicações que esta região de nova fronteira agrícola para cana já comporta um grande terminal. O estabelecimento de um armazém em cada uma das áreas influencia



de Tupã e Palmital (que possuem uma grande área de sobreposição) mostrou-se mais interessante que o estabelecimento de um armazém grande em apenas um deles.

Outro resultado importante obtido foi a não instalação de terminal em Boituva. Isso sugere que há maior competitividade do transporte rodoviário, frente à alternativa intermodal, a curtas distâncias. Quanto ao terminal de Fernandópolis, o modelo determinou que a unidade armazenadora deste município tivesse capacidade de 50 mil toneladas, o que reflete a baixa produção da área de influência deste município no estado de São Paulo. Entretanto, mesmo assim, o modelo indicou que a instalação de armazém neste local é economicamente mais vantajosa do que a ida do açúcar pela rodovia da usina até o Porto.

O Quadro 3 mostra o fluxo ferroviário de açúcar. Todo açúcar que entra no armazém sai via ferrovia (esta é uma premissa do modelo). Os dados mostram que todo o volume de açúcar que se destinou ao terminal de Palmital vai ser encaminhado para o porto de Paranaguá.

**Quadro 3** – Fluxos ferroviários de açúcar no estado de São Paulo

| Ai    | Município      | P1     | P2        |
|-------|----------------|--------|-----------|
|       |                | Santos | Paranaguá |
| A1    | Araçatuba      | 500    |           |
| A2    | Araraquara     | 500    |           |
| A3    | Barretos       | 500    |           |
| A4    | Bauru          | 300    |           |
| A6    | Fernandópolis  | 50     |           |
| A7    | Palmital       |        | 400       |
| A8    | Pradópolis     | 500    |           |
| A9    | Ribeirão Preto | 500    |           |
| A10   | Santa Adélia   | 500    |           |
| A11   | Tupã           | 300    |           |
| Total |                | 3650   | 400       |

Fonte: resultados da pesquisa

A possibilidade de análise de sensibilidade de modelos com variáveis binárias é limitada. A fim de tentar verificar a sensibilidade dos resultados obtidos foram desenvolvidos outros cenários que diferem

entre si pelas restrições ao número de terminais que são podem ser instalados por região (restrição f), pelo custo operacional de armazéns instalados e pelo valor do frete ferroviário. Essas diferenças entre os cenários são sintetizadas na Tabela 2.

**Tabela 2** – Diferenciação entre os cenários

| Cenário | Número de armazéns por região ( $B_{ij}$ ) | Custo unitário de armazenagem | Frete ferroviário (Base = 100) |
|---------|--|-------------------------------|--------------------------------|
| 1       | $B_{ij} \leq 1$                            | R\$ 7,00 / t                  | 100                            |
| 2       | $B_{ij} \leq 2$                            | R\$ 7,00 / t                  | 100                            |
| 3       | $B_{ij} \leq 1$                            | 0                             | 100                            |
| 3'      | $B_{ij} \leq 2$                            | 0                             | 100                            |
| 4       | $B_{ij} \leq 1$                            | R\$ 7,00 / t                  | 110                            |

Fonte: dados da pesquisa

A diferença entre os cenários 1 e 2 é apenas o número de armazéns permitidos por região: no primeiro, a restrição (f) admite a instalação de apenas 1 e no segundo, 2. No terceiro cenário, foram desconsiderados os custos de armazenagem e observou-se o resultado para  $B_{ij} \leq 1$  e para  $B_{ij} \leq 2$  (cenário 3'). Esse cenário foi desenhado com o intuito de mostrar que, caso o resultado ótimo do modelo não incluía a instalação de armazém em alguma das potenciais localidades, o risco de investimento neste local poderia ser considerado alto, pois mesmo sem nenhum custo para o produto dentro do armazém, o fluxo ótimo não acusa a utilização deste, ou seja, mesmo excluindo custos de armazenagem, a alternativa intermodal não é competitiva. Já o cenário 4 foi considerado a fim de verificar os possíveis efeitos de um aumento relativo no frete ferroviário.

Todos eles consideraram a oferta de 60% da produção de 103 usinas do estado de São Paulo, dada a suposição de que 40% destinam-se ao mercado interno. Foram considerados 11 possíveis locais para instalação dos armazéns concentradores de carga nas margens da ferrovia que poderão ser de dez tamanhos distintos. O açúcar ofertado poderá ser

destinado ao Porto de Santos ou de Paranaguá que demandarão, respectivamente, 90% e 8% da produção paulista destinada à exportação.

Os resultados das diversas simulações são resumidos no Quadro 4.

**Quadro 4** - Resumo dos resultados do modelo matemático de otimização

| Cenário | Custo mínimo       | Capacidade de armazenagem (milhões t) | Ociosidade (mil t) | Market Share Ferrovia em Santos | Quantidade de armazéns | Localização dos armazéns   |
|---------|--------------------|---------------------------------------|--------------------|---------------------------------|------------------------|--|
| 1       | R\$ 524.931.810,00 | 4,05                                  | -                  | 57%                             | 10                     | * 500 mil t: Araçatuba, Araraquara, Barretos, Pradópolis, Ribeirão Preto e Santa Adélia<br>* 400 mil t: Palmital<br>* 300 mil t: Bauru e Tupã<br>* 50 mil t: Fernandópolis   |
| 2       | R\$ 515.692.610,00 | 5,40                                  | -                  | 77%                             | 18                     | * 500 mil t: Araraquara, Barretos, Pradópolis, Ribeirão Preto<br>* 400 mil t: Araçatuba, Araraquara, Palmital, Pradópolis, Ribeirão Preto, Santa Adélia<br>* 300 mil t: Santa Adélia<br>* 150 mil t: Araçatuba, Bauru e Tupã<br>* 100 mil t: Barretos<br>* 70 mil t: Bauru<br>* 50 mil t: Palmital<br>* 30 mil t: Tupã |
| 3       | R\$ 492.755.090,00 | 5,15                                  | 315                | 69%                             | 11                     | * 500 mil t: Araçatuba, Araraquara, Barretos, Bauru, Boituva, Palmital, Pradópolis, Ribeirão Preto, Santa Adélia e Tupã<br>* 150 mil t: Fernandópolis  |
| 3'      | R\$ 473.421.800,00 | 7,80                                  | 1150               | N/D                             | 17                     | * 500 mil t: Araçatuba, Araraquara, Barretos, Bauru, Palmital, Pradópolis, Ribeirão Preto e Santa Adélia<br>* 400 mil t: Araraquara, Barretos, Bauru, Pradópolis, Ribeirão Preto e Santa Adélia<br>* 250 mil t: Araçatuba e Palmital<br>* 200 mil t: Tupã  |
| 4       | R\$ 538.041.910,00 | 3,68                                  | -                  | 51%                             | 9                      | * 500 mil t: Araçatuba, Araraquara, Barretos, Pradópolis, Ribeirão Preto e Santa Adélia<br>* 400 mil t: Palmital<br>* 250 mil t: Tupã<br>* 30 mil t: Bauru   |

Fonte: resultados da pesquisa

A análise dos resultados indica que a alternativa intermodal mostrou-se bastante competitiva. Em todos os casos, os resultados sugeriram a construção de terminais intermodais, variando o tamanho e a localização, dependendo dos parâmetros utilizados.

Os resultados de todos os quatro cenários indicaram o estabelecimento de grandes armazéns (com capacidades dinâmicas entre 400 e 500 toneladas) em Araraquara, Barretos, Ribeirão Preto, Pradópolis, Santa

Adélia e Araçatuba. Estes municípios, com exceção de Araçatuba, estão localizados na região de maior produção e maior concentração de usinas do país. Araçatuba está localizada na área de maior expansão da cana no estado de São Paulo.

Alguns destes locais já possuem estruturas dedicadas à operação ferroviária de açúcar. São os casos de Pradópolis, sede da Usina São Martinho, de Santa Adélia, local escolhido pela EDF&Man para concentrar a carga captada pela trading na região e Araçatuba, onde Sucden do Brasil, Aralco e Unialco investiram na construção de um armazém intermodal especializado em açúcar. Em Araraquara e Ribeirão Preto existem unidades do Ceagesp.

Também foi indicada, em todos os cenários, a instalação de terminais em Tupã, Bauru e Palmital, apesar de que em alguns cenários eles não aparecem como armazéns grandes, o que parece ter relação com a produção relativamente baixa dessas regiões. A alternativa logística que envolve o terminal de Palmital e o Porto de Paranaguá foi utilizada em todos os cenários, mostrando que esta pode ser uma alternativa viável. A indicação de Fernandópolis não ocorreu em alguns cenários, pois sua área de influência considerada representa uma região de baixa produção o que impediu sua viabilização.

Além disso, somente os resultados do cenário 3, que desconsidera os custos operacionais de armazenagem, indicaram a instalação de terminal em Boituva, município que está próximo ao Porto de Santos, onde a competitividade do modal rodoviário é alta. Este resultado vai de encontro à premissa de que o transporte ferroviário não é competitivo a curtas distâncias.

Finalmente, os resultados permitem concluir que os dois portos serão abastecidos tanto por via rodoviária quanto por via ferroviária, sendo que 57% da demanda de Santos e 67% da demanda de Paranaguá serão atendidas por ferrovia.

Dado que, em 2004, o estado de São Paulo exportou 10,3 milhões de toneladas de açúcar via Santos e a Brasil Ferrovias entregou pouco mais de 1 milhão de toneladas do produto neste porto, pode-se concluir que o market share atual da ferrovia no Porto de Santos para o açúcar é, atualmente, da ordem de 10%.

Portanto, os resultados deste modelo indicam que o transporte fer-

roviário de açúcar é bastante competitivo e que sua participação nas exportações de açúcar de São Paulo tende a crescer. Entretanto, resalta-se que há espaço para atuação dos dois tipos de transporte, cada um tirando proveito de suas vantagens comparativas advindas de suas características intrínsecas, já citadas neste trabalho.

## 5. Conclusões

Para viabilização do transporte ferroviário de carga, é necessária a agregação da carga em um local, dado que o volume de carga transportado por um comboio é alto e o carregamento eficiente de vagões deve ocorrer em um único local. Visto isso, a avaliação da localização de armazéns intermodais concentradores de carga torna-se interessante.

Conclui-se que há bastante espaço para aumento da participação da entrega de açúcar no Porto de Santos através da modalidade ferroviária. Atualmente, o market share da ferrovia neste porto é de cerca de 10%, ou seja, 90% do açúcar ainda chega ao Porto de Santos por caminhão. Os resultados indicaram market share em torno de 60%. Mesmo que este patamar seja considerado alto, dá indicações de espaço para aumento da participação do transporte ferroviário no transporte de açúcar para exportação. Ressalta-se que para viabilização deste aumento é necessária a adequação do porto de tal forma que o aumento da movimentação de vagões na área portuária e nos terminais se tornem possíveis.

Além disso, o aumento da movimentação do açúcar por ferrovia também está sujeito à capacidade de atendimento da demanda por parte das empresas ferroviárias. A tentativa de sanar o problema da escassez de ativos está ocorrendo através de parcerias com clientes, mas as condições da via ainda parecem caracterizar uma questão mais grave.

É importante salientar as condições internacionais favoráveis do mercado sucroalcooleiro e a competitividade do país na produção de açúcar. Eventualmente, alterações neste mercado podem alterar a dinâmica do setor e, por conseguinte, a alocação ótima obtida neste modelo. Por exemplo, uma pressão exógena para diminuição das exportações poderia afetar os parâmetros deste modelo e, conseqüentemente, seus resultados. Entretanto, os fatores locais são dinâmicos e podem mudar ao longo do tempo e eventuais alterações não invalidam a relevância deste trabalho.

Concluindo, a viabilidade de instalação de armazéns parece estar bastante dependente da concentração de usinas ao redor do município considerado e suas distâncias em relação ao porto. Para regiões com alta concentração de usinas e relativamente distante dos portos (distâncias superiores a 300 quilômetros), os resultados do modelo indicam a viabilidade da construção de terminais intermodais concentradores de carga.

A minimização dos custos logísticos implica a interdependência das decisões das usinas para formulação de uma estratégia conjunta, porém, historicamente, o setor sucroalcooleiro não tem tendência de cooperação. A ferramenta aqui utilizada pode ser aplicada, por exemplo, para grupos de comercialização que objetivem a otimização do seu sistema logístico. Inclusive, poderia ser aproveitada também para balizar decisões de usinas que desejem buscar parceiros para formação de grupos de comercialização. Além disso, a ferramenta pode ser um apoio à decisão de órgãos públicos para avaliação de viabilidade de construção de armazéns interiores.

A coordenação entre agentes do setor para instalação de armazéns no interior do país mostrou-se uma oportunidade de reduzir custos de exportação de açúcar e pode ser uma boa alternativa para evitar gargalos no porto, atualmente bastante saturados.

## 6. Referências Bibliográficas

ARALCO S.A. **Terminal Rodoferroviário**. <http://www.aralco.com.br/> (15 jan. 2005)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA FERROVIÁRIA (ABIFER). **Indústria**. <http://www.abifer.org.br> (10 fev. 2005)

AZZONI, C.R. Teoria da localização: análise crítica a partir de evidências empíricas no estado de São Paulo. São Paulo, 1982. 141p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Economia e Administração, Universidade de São Paulo.

BANCO NO NORDESTE DO BRASIL. **Manual de localização industrial**: tentativa de adequação da teoria à realidade. Rio de Janeiro: APEC, 1968. 223p.

BARROS, G.S.A. de C. **Economia da comercialização agrícola**. Piracicaba: FEALQ, 2004. 227p.

BELIK, W.; RAMOS, P.; VIAN, C.E.F. Mudanças institucionais e seus impactos nas estratégias dos capitais do complexo agroindustrial canavieiro no Centro Sul do Brasil (compact disc). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 36 p., Poços de Caldas, 1998. **Anais**. Brasília: SOBER, 1998.

BRASIL. Secretaria de Comércio Exterior (SECEX). Sistema de análise das informações de comércio exterior ALICE-Web. <http://alicesweb.de-senvolvimento.gov.br/> (10 fev. 2005)

BRITO, A. Trading investe para movimentar açúcar. **Gazeta Mercantil**, São Paulo, 05 mar. 2004. p.A14.

CAIXETA-FILHO, J.V. **Pesquisa operacional**: técnicas de otimização aplicadas a sistemas agroindustriais. São Paulo: Atlas, 2001. 171 p.

CAIXETA-FILHO, J.V.; MARTINS, R.S.; OLIVEIRA, J.C.V. et al. Particularidades das modalidades de transporte. In: CAIXETA-FILHO, J.V.; GAMEIRO, A.H. (Org.). **Transporte e Logística em sistemas agroindustriais**. São Paulo: Atlas, 2001. p.62-135.

CENTRO DE ESTUDOS EM LOGÍSTICA (CEL/COPPEAD) **Transporte de carga no Brasil**: ameaças e oportunidades para o desenvolvimento do país. Rio de Janeiro, 2002. 200p.

LOPES, R.L. Suinocultura no estado de Goiás: aplicação de um modelo de localização. Piracicaba, 1997. 95p. Dissertação (M.S.) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

MORAES, M.A.F.D. **A desregulamentação do setor sucroalcooleiro do Brasil**. Americana: Caminho Editorial, 2000. 217 p.

NECESSIDADE se transformou em bom negócio. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, 10 jan. 2005. p.B6

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, 2005. 166p. Dissertação (M.S.) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

RAMOS, S.Y. Avaliação da localização de packing-houses no estado de

São Paulo: o caso da laranja de mesa. Piracicaba, 2001. 132p. Dissertação (M.S.) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **World centrifugal sugar production, supply and distribution**. [http://www.fas.usda.gov/psd/complete\\_tables/HTP-table10-91.htm](http://www.fas.usda.gov/psd/complete_tables/HTP-table10-91.htm) (15 May 2004)

VIAN, C.E.F. **Agroindústria canavieira**: estratégias competitivas e modernização. Campinas: Editora Átomo, 2003. 216 p.

WILLIAMS, H.P. **Model building in mathematical programming**. Chichester: Jon Wiley & Sons, 1993. 335p.

*Recebido em agosto de 2006 e revisto em julho de 2007.*