

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS  
DEPARTAMENTO DE TRANSPORTES**

**JOSÉ EDUARDO HOLLER BRANCO**

Avaliação das localidades ótimas para expansão da oferta de cana-de-açúcar no Brasil: uma aplicação de programação inteira mista

São Carlos  
2012



JOSÉ EDUARDO HOLLER BRANCO

Avaliação das localidades ótimas para expansão da oferta de cana-de-açúcar no Brasil: uma aplicação de programação inteira mista

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Doutor em Ciências.

Área de concentração: Planejamento e Operação de Sistemas de Transportes.

Orientador: Prof. Edson Martins de Aguiar

São Carlos  
2012

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTA TRABALHO,  
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS  
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

B816a Branco, José Eduardo Holler  
Avaliação das localidades ótimas para expansão da oferta de cana-de-açúcar no Brasil: uma aplicação de programação inteira mista. / José Eduardo Holler Branco; orientador Edson Martins de Aguiar. São Carlos, 2012.

Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Área de Concentração em Infra-Estrutura de Transporte -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2012.

1. Logística. 2. Planejamento de Transportes. 3. Pesquisa Operacional. I. Título.

**FOLHA DE JULGAMENTO****Candidato:** Engenheiro **JOSÉ EDUARDO HOLLER BRANCO**

Título da tese: "Avaliação das localidades ótimas para expansão da oferta de cana-de-açúcar no Brasil: uma aplicação de programação inteira mista"

Data da defesa: 14/12/2012

**Comissão Julgadora:****Resultado:**Prof. Titular **José Vicente Caixeta Filho (Orientador Designado)** APROVADO  
(Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/ESALQ – Piracicaba.)Prof. Dr. **Carlos Alberto Faria**  
(Universidade Federal de Uberlândia/UFU)aprovadoProf. Dr. **Renato da Silva Lima**  
(Universidade Federal de Itajubá/UNIFEI)APROVADOProf. Dr. **Augusto Hauber Gameiro**  
(Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia/USP- Pirassununga)APROVADOProf. Dr. **Marcel Andreotti Musetti**  
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)APROVADACoordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes:  
Prof. Associado **Antônio Nelson Rodrigues da Silva**Presidente da Comissão de Pós-Graduação:  
Prof. Titular **Denis Vinicius Coury**



**DEDICATÓRIA**

Ao meu amado pai (*in memoriam*), por me ensinar que precisamos apenas de coragem, dedicação e humildade para caminhar;

À minha mãe, por me mostrar a simplicidade da felicidade;

À minha irmã Dani, por sempre me incentivar e não me deixar desistir;

À minha irmã Fabi, por me encorajar e ensinar a lutar;

Ao Gabriel, por me ensinar a acreditar;

À Clara, por me transmitir pureza.

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Edson Martins de Aguiar (*in memoriam*), por me acolher desde o início deste projeto, depositar confiança, sempre acreditar e motivar, pelo exemplo de conduta ética e simplicidade além de orientar esse trabalho com enorme contribuição e profissionalismo.

Aos amigos da República Pão-de-Queijo, com os quais dividi momentos inesquecíveis de alegria, superação e busca de motivação. Sou muito grato por ter tido a oportunidade de conviver com essa Família.

Ao Prof. Caixeta, por todo apoio e longos anos de orientação, desde os períodos de Graduação até a conclusão do Doutorado. Agradeço por acreditar em meu potencial, por sempre me incentivar, pela dedicação ao ensinar, por me oferecer espaço para crescer e por me mostrar a importância de agirmos com ética e profissionalismo na busca de nossas conquistas pessoais.

Ao Grupo ESALQ-LOG, pelas numerosas amizades que me permitiu fazer e pelo incomensurável aprendizado e desenvolvimento profissional depositado na minha formação. Particularmente, agradeço o Carlos a Priscilla e o Thiago pelo apoio, compartilhamento de materiais e ideias para a consolidação desse trabalho. E especialmente, devo agradecimentos à Maria, que transmitiu força, motivação e apoio nos momentos mais difíceis.

À minha companheira Tatiana Moreno, que em todos os momentos me incentivou a concluir esse projeto, segurou em minha mão nos momentos mais difíceis e me ajudou a conduzir meus desafios pessoais, profissionais e acadêmicos de forma equilibrada.

À Escola de Engenharia de São Carlos, em especial ao Departamento de Engenharia dos Transportes, por me oferecer ensino de excelência e todo apoio necessário para a condução dessa Tese.

À Universidade de São Paulo, pela educação de qualidade ao longo de toda minha formação acadêmica.



## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	VIII
<b>ABSTRACT</b> .....	IX
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	15
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	15
1.2 OBJETIVOS .....	21
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	22
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	23
2.1 O MERCADO SUCROENERGÉTICO .....	23
2.1.1 Análise da oferta e demanda de açúcar e etanol no Brasil .....	23
2.2 SISTEMA DE TRANSPORTE DE CARGAS BRASILEIRO .....	40
2.2.1 Caracterização do transporte intermodal no país .....	40
2.2.2 Transporte rodoviário de cargas .....	43
2.2.3 Transporte ferroviário de cargas .....	50
2.2.4 Transporte hidroviário de cargas .....	60
2.2.5 Transporte dutoviário .....	66
2.2.6 Particularidades da cadeia de abastecimento de etanol .....	69
2.3 MODELOS DE FLUXOS DE TRANSPORTE, LOCALIZAÇÃO E USO DA TERRA .....	72
2.3.1 Modelos de localização e uso da terra .....	72
2.3.2 Modelos para simulação de fluxos inter-regionais de transporte .....	79
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	90
3.1 REDE DE TRANSPORTE CONSIDERADA NA MODELAGEM .....	90
3.2 ESTRUTURA MATEMÁTICA DO MODELO DE OTIMIZAÇÃO .....	92
3.3 PARÂMETROS E FONTE DOS DADOS UTILIZADOS NA MODELAGEM .....	105
3.3.1 Divisão espacial da área de análise e escolha dos centróides .....	105
3.3.2 Dados de oferta, demanda e exportação .....	107
3.3.3 Estimativa do potencial para expansão da cultura de cana-de-açúcar .....	111
3.3.4 Configuração da rede de transportes e custos de frete .....	116
3.3.5 Custo unitário dos módulos de expansão de cana-de-açúcar .....	122
3.3.6 Preços de venda de açúcar e etanol .....	123
3.3.7 Cenários de análise .....	124
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	126
4.1 CENÁRIOS ATUAIS .....	126
4.2 CENÁRIOS COM PROJEÇÕES PARCIAIS DA DEMANDA FUTURA .....	134
4.3 CENÁRIOS COM PROJEÇÕES PLENAS DA DEMANDA FUTURA .....	156
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	177
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	186
<b>ANEXO A</b> .....	193
<b>ANEXO B</b> .....	205
<b>ANEXO C</b> .....	245

## RESUMO

---

---

BRANCO, J. E. H. **Avaliação das localidades ótimas para expansão da oferta de cana-de-açúcar no Brasil: uma aplicação de programação inteira mista.** 2012. 244 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

Essa Tese tem como objetivo principal avaliar a distribuição espacial ótima da produção futura de cana-de-açúcar que propiciaria a minimização do custo de transporte e ampliaria a receita líquida do setor, considerando o mercado sucroenergético projetado para 2020/2021. Para auxiliar as análises, esse trabalho desenvolve um modelo matemático de programação inteira mista e fazendo uso do ferramental almeja-se identificar as localidades ideais para expansão ou implantação de novos canaviais, além de simular o comportamento dos fluxos de açúcar e etanol mediante configurações distintas da malha intermodal de transporte nacional. Por fim, o estudo visa avaliar se os projetos intermodais que vêm sendo anunciados pelo Governo Federal e *players* desse segmento, quando prontos, apresentariam potencial para captação de cargas sucroalcooleiras e também se proporcionariam ganhos logísticos relevantes para o setor. Considerando as projeções do consumo doméstico e das exportações sucroalcooleiras para 2020/2021, o modelo matemático apontou as regiões ideais para aumentar a oferta de cana-de-açúcar, dentre as áreas com aptidão edafoclimática para o cultivo da cultura, adotando-se com critério de escolha a maximização da receita das indústrias do setor. As recomendações do modelo indicaram acréscimo de 220 milhões de toneladas na produção dos canaviais do estado de São Paulo, 79 milhões em Mato Grosso do Sul, 70 milhões no Paraná, 65 milhões em Minas Gerais, 60 milhões na Bahia, 42 milhões em Goiás, 24 milhões no Tocantins, 15 milhões no Maranhão, 8 milhões no Mato Grosso e 7 milhões no estado do Piauí, nas condições do cenário com projeções intermediária de crescimento. A alocação ótima dos fluxos de transporte de açúcar indicou uma participação de 45% do modal ferroviário, 52% do modal rodoviário e 3% de alternativas hidro-ferroviárias na movimentação do produto. No caso do etanol os resultados sugeriram uma proporção de 61% para a modalidade rodoviária, 27% para a alternativa ferroviária e 12% para a combinação intermodal hidro-dutoviária. Os benefícios econômicos diretos proporcionados pela expansão da malha intermodal de transporte proporcionaria economias com fretes próximas a R\$ 444 milhões por safra, no escoamento da produção sucroalcooleira, baixando o frete unitário médio do setor de R\$ 59,12 por tonelada para 54,12 por tonelada transportada. O método revelou-se uma ferramenta importante na análise da distribuição espacial da oferta de cana-de-açúcar, e os resultados geraram informações importantes para condução de políticas públicas e para organização do setor sucroenergético.

Palavras-chave: Logística. Planejamento de Transportes. Pesquisa Operacional

## Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

