



**David Leite Carrilho**

**ATUALIZAÇÃO DE DADOS PARA O MODELO ALOK  
DE ALOCAÇÃO MULTIMODAL-MULTIPRODUTO.  
ESTUDO DE CASO: REGIÃO CENTRO-OESTE DO  
BRASIL**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Departamento de Engenharia Industrial da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Jose Eugênio Leal

Rio de Janeiro  
Abril de 2012



**David Leite Carrilho**

**ATUALIZAÇÃO DE DADOS PARA O MODELO ALOK  
DE ALOCAÇÃO MULTIMODAL-MULTIPRODUTO.  
ESTUDO DE CASO: REGIÃO CENTRO-OESTE DO  
BRASIL**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof. José Eugênio Leal**

Orientador

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

**Prof. Nélio Domingues Pizzolato**

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

**Profa. Vânia Barcellos Gouvêa Campos**

Departamento de Engenharia de Transporte – IME

**Prof. José Eugênio Leal**

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 26 de Abril de 2012

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

**David Leite Carrilho**

Graduou-se em economia pela Faculdade de Economia Vianna Jr., chancelada pela FGV-RJ. Foi professor da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) no departamento de Análise Econômica, trabalhou como pesquisador no Projeto de Análise do Sistema Logístico e de Transportes do Corredor Centro-Oeste (ALOGTRANS). Atualmente atua como gestor de projetos no Escritório de Desenvolvimento do Centro Técnico Científico (ED.CTC) da PUC-Rio.

Ficha Catalográfica

Carrilho, David Leite

Atualização de dados para o modelo alok de alocação multimodal-multiproduto: estudo de caso: Região Centro-Oeste do Brasil / David Leite Carrilho ; orientador: José Eugênio Leal. – 2012.

121 f. : il. (color.) ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial, 2012.

Inclui bibliografia

1. Engenharia Industrial – Teses. 2. Modelo multimodal-multiproduto. 3. Alocação de fluxo. 4. Transporte. 5. Centro-Oeste I. Leal, José Eugênio. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. III. Título.

CDD 658.5

Aos meus pais Maria Tereza e  
Waltencir Carrilho pelo apoio,  
paciência e carinho. E ao meu irmão  
João Daniel, por sempre acreditar  
que eu poderia ir além.

## Agradecimentos

Acima de tudo, agradeço a DEUS por ter dado perseverança, coragem e conforto durante toda essa minha jornada. Em especial, ao professor e orientador José Eugenio Leal pelos seus conselhos os quais foram à pedra fundamental para o meu amadurecimento como profissional, e por permitir a experiência ímpar de trabalhar no projeto ALOGTRANS, o qual foi à fonte inspiradora do presente trabalho. Agradeço a todos os professores e funcionários do Departamento de Engenharia Industrial da PUC-Rio, os quais, durante esses anos, me receberam com muito carinho e atenção.

A todas as pessoas que de certa forma, direta ou indiretamente, colaboraram para a conclusão dessa jornada. Dentre dessas pessoas, à minha família, principalmente ao meu irmão João Daniel pelo seu apoio incondicional, aos meus pais, que apesar de todas as suas limitações, sempre estiveram presentes, e em especial, *in memoriam*, ao meu avô Nelson, o qual sempre me apoiou com todo o seu entusiasmo.

Aos meus grandes e eternos amigos: Orivalde Soares da Silva Júnior, Denilson Lucena, Antônio Ricardo, Ana Carla, Beatriz Pancieri; os quais sempre estiveram ao meu lado em todos os momentos, apoiando-me. Agradeço à presença da minha amiga, especial, Esther Grizzendi, pelo seu carinho e companhia durante os momentos tubulosos. A presença dos professores componentes da banca, Prof. Nélio Pizzolato e a Profa. Vânia Barcellos. E agradeço, também, pela bolsa de mestrado concedida pela CAPES e ao CNPq, pela bolsa durante o trabalho desenvolvido no projeto ALOGTRANS.

## Resumo

Carrilho, David Leite; Leal, José Eugenio. **Atualização de dados para o modelo ALOK de alocação multimodal-multiproduto. Estudo de caso: Região Centro-Oeste do Brasil.** Rio de Janeiro, 2012. 121 p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O presente trabalho foi baseado no projeto ALOGTRANS desenvolvido pelo Departamento de Engenharia Industrial da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio) em conjunto com outras seis instituições. Tal projeto tem como objetivo propor alternativas para mitigar e/ou eliminar os principais gargalos logísticos presentes no escoamento da safra agrícola, de forma a reduzir os custos das operações logísticas, principalmente com a operação de transporte multimodal. Para tanto, nesse projeto, irá ser feito uma análise do fluxo de produção de soja, farelo de soja, milho e açúcar da região centro-oeste brasileira, utilizando o modelo de alocação de transportes multimodal-multiproduto através da utilização do software ALOK (desenvolvido pelo departamento de engenharia industrial da PUC-Rio). Neste contexto, o trabalho desenvolvido teve como objetivo principal atualizar os dados correlacionados com os custos de transportes utilizados como parâmetros de entrada no software ALOK. Além de descrever, de forma sucinta, o atual mercado das *commodities* agrícolas brasileiras, bem como, as principais rotas utilizadas para o escoamento.

## Palavras-chave

Modelo de alocação; Multiproduto-Multimodal; Custos com transportes.

## Abstract

Carrilho, David Leite; Leal, José Eugenio (Advisor). **Data updating for the ALOK multimodal-multiproduct flow assignment model. Case study: Center-Westregion of Brazil.** Rio de Janeiro, 2012. 121 p. MSc. Dissertation – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The present work was based on a project called ALOGTRANS developed by Industrial Engineering Department of Catholic University of Rio de Janeiro (PUC-Rio) jointly with six institutions. The purpose of such research is to propose alternatives to mitigate and/or eliminate the main logistical bottlenecks from harvest flow in order to reduce logistical operation cost, mainly by the use of multimodal transport. In such project, we analyse the production flow of soybean, soybean meal, corn and sugar from Brazilian Midwest, using multimodal-multiproduct allocation means through ALOK software (developed by Industrial Engineering Department of PUC-Rio). In this sense, the main objective of this work is to update transportation cost related data used as input to ALOK. Furthermore, we succinctly describe the present market of Brazilian commodities and also the main flow routes.

## Keywords

Allocation of model; Multiproduct-Multimodal; Cost of transportations

## Sumário

1. Introdução	15
2. Panorama da produção e do transporte das principais <i>commodities</i> agrícolas destinadas à exportação	19
2.1. Soja é farelo de soja	19
2.1.1 Produção de soja no Brasil	19
2.1.2. Destino da produção de soja	22
2.1.3. Exportação da soja e farelo de soja e seus principais corredores de escoamento	24
2.1.3.1. Exportação da soja e farelo de soja	24
2.1.3.2 Principais portos e corredores usados para exportação	27
2.2. Milho	30
2.2.1. Produção de milho no Brasil	30
2.2.2. Destino da produção de milho	33
2.2.3. Exportação do milho e seus principais corredores de escoamento	34
2.2.3.1. Exportação do milho	34
2.2.3.2. Principais portos e corredores usados para exportação	36
2.3. Açúcar	38
2.3.1 Produção de açúcar no Brasil	38
2.3.2. Destino de produção do açúcar	40
2.3.3. Exportação do açúcar e seus principais corredores de escoamento	42
2.3.3.1. Exportação de Açúcar	42
2.2.3.2. Principais portos e corredores usados para exportação	43
3. O transporte no Brasil	47
3.1. Panorama do Transporte nacional de cargas	47



3.2. Intermodalidade e multimodalidade	51
3.3. A multimodalidade no Brasil	52
4. Planejamento de transportes de cargas	55
4.1. Introdução aos sistemas de transportes	55
4.2. Modelos de Planejamento de Cargas	57
4.2.1. Síntese dos modelos	58
4.3. STAN/ALOK – Modelo multimodal-multiproduto de transporte de carga	61
4.3.1. Representação da rede	61
4.3.2. Formulação do modelo multimodal-multiproduto (ótimo do sistema)	65
4.3.3. Ótimo do sistema	68
4.3.4. Algoritmo de Soluções	70
5. Estudo de caso: Região Centro-Oeste (CO)	73
5.1. Corredor agrícola Centro-Oeste e os modos de transportes utilizados	73
5.2. Atualização dos custos de transportes para alocação de fluxos multiproduto em uma rede multimodal – ALOK	77
5.2.1 Modelagem dos custos ferroviários no ALOK	78
5.2.1.1 Formulação matemática	78
5.2.1.2. Custo operacional	79
5.2.1.3. Custo do tempo nos <i>links</i>	80
5.2.1.4. Custo de consumo de combustível	83
5.2.2. Modelagem dos custos rodoviários no ALOK	84
5.2.2.1. Conceitos de custos rodoviários	84
5.2.2.2. Função dos custos rodoviário	86
5.2.3. Atualização do custo operacional ferroviário	89
5.2.3.1. Atualização do custo operacional rodoviário	91
5.3. Aplicação da atualização dos parâmetros no ALOK	101

6. Considerações finais	102
7. Referencial bibliográfico	105
ANEXO A: Aplicação dos parâmetros atualizados no ALOK	112

## Lista de tabelas

Tabela 1 - Volume de milho exportado por porto brasileiro	36
Tabela 2 – Matriz de Transporte de carga e o custo no Brasil	48
Tabela 3 – Conceitos sobre intermodalidade e multimodalidade	52
Tabela 4 – Síntese dos principais modelos de transporte de cargas	59
Tabela 5 – Características quantitativas da rodovia	85
Tabela 6 – Estado de conservação da rodovia / Índice QI	85
Tabela 7 - Custos por tipo de veículos	86
Tabela 8 – Custo Operacional ferroviário em reais (Material Rodante)	90
Tabela 9 – Custo Operacional ferroviário (R\$/km)	91
Tabela 10 – Estimativa do Custo Operacional rodoviário	96
Tabela 11 – Fator de atualização do Custo Operacional rodoviário em Crz\$/km (GEIPOT)	97
Tabela 12 – Fator de atualização do Custo Operacional rodoviário	98
Tabela 13 – Custo Operacional atualizados com o fator de atualização	98
Tabela 14 – Velocidade e índice de desempenho no consumo de combustível em via pavimentada	99
Tabela 15 – Velocidade e índice de desempenho no consumo de combustível em via não pavimentada (atualizada)	99
Tabela 16 – Velocidade e índice de desempenho no consumo de combustível em via pavimentada	100
Tabela 17 – Velocidade e índice de desempenho no consumo de combustível em via não pavimentada (atualizada)	100
Tabela 18 – Funções de custos no ALOK	113
Tabela 19 – Arquivo de produtos	118

## Lista de Gráficos

Gráfico 1 – Evolução da área plantada da soja no Brasil	20
Gráfico 2 – Participação dos Estados na exportação de soja em grãos	25
Gráfico 3 – Volume exportado de soja em grãos	25
Gráfico 4 – Volume exportado de farelo de soja	26
Gráfico 5 – Soja em grãos e farelo exportado por porto brasileiro	27
Gráfico 6 – Evolução da produção, produtividade e área plantada do milho	31
Gráfico 7 – Evolução das exportações brasileira de milho	35
Gráfico 8 – Participação dos Estados na exportação de milho (2010)	36
Gráfico 9 – Principais Estados produtores de açúcar	43
Gráfico 10 – Principais portos de exportadores de açúcar	44
Gráfico 11 – Matriz de transporte de cargas no Brasil	48
Gráfico 12 – Comparação dos investimentos (PAC x PNLT)	50
Gráfico 13 – Evolução dos OTM's no Brasil (2005 a 2009)	53
Gráfico 14 – Relação entre o custo e a capacidade de um arco	65

## Lista de Figuras

Figura 1 – Principais regiões produtoras de soja no Brasil	21
Figura 2 – Principais destinos da produção da soja no Brasil	23
Figura 3 – Principais regiões produtoras de milho no Brasil	32
Figura 4 – Principais destinos da produção de milho no Brasil	33
Figura 5 – Principais Estados produtores de açúcar	39
Figura 6 – Principais destinos da produção de açúcar	41
Figura 7 – Número de matrizes de OTM's no Brasil por Estado	54
Figura 8 – Relação básica do sistema de transporte	56
Figura 9 – Rede física (primeira proposta)	62
Figura 10 – Rede física (segunda proposta)	63
Figura 11 – Rede física (terceira proposta)	64
Figura 12 – Algoritmo do modelo de alocação multimodal-multiproduto	71
Figura 13 – Rodovia BR-364 e sua abrangência	74
Figura 14 – Rodovia BR-163 e BR-277	74
Figura 15 – Mapa ferroviário	75
Figura 16 – Bacia do Tietê-Paraná	76

*Confia ao Senhor as tuas obras, e os teus  
desígnios serão estabelecidos (Pv. 16:3).*