

**4°**

Congresso do Instituto Franco-Brasileiro de Administração de Empresas - IFBAE  
Congrès de l'Institut Franco - Brésilien d'Administration des Entreprises - IFBAE  
24 e 25 de maio de 2007  
PORTO ALEGRE - RS BRASIL

**B185**

## **Biodiesel no Rio Grande do Sul: um modelo para sua distribuição e localização de usinas**

**Dr. Antonio Domingos Padula - UFRGS**

**Dr. Eduardo Ribas Santos - UFRGS**

**Ms. Fernando Dal Zot - UFRGS**

**Resumo:** A era do petróleo parece estar chegando ao fim e novas fontes de energia, renováveis e mais amigas do meio ambiente, já estão disponíveis para a sociedade. Dentre essas fontes, o biodiesel vem chamando a atenção das autoridades pela sua compatibilidade com o diesel e pelo potencial de geração de riqueza no campo. A Lei 11.097/2005 autorizou a introdução do biodiesel no Brasil, obrigando a adição de 2% ao diesel de petróleo, a partir de 2008. O biodiesel é um produto obtido pela transesterificação de óleos e gorduras de origem vegetal, animal ou residual que possuem características muito semelhantes ao diesel do petróleo. Para que se possa atender a uma demanda capaz de substituir 2% do diesel comercializado, a partir de 2008, é necessário estruturar a cadeia produtiva do biodiesel. Diante disso, este trabalho visa a elaborar um modelo matemático, utilizando as técnicas da programação linear para auxiliar a decisão sobre a localização das futuras usinas de biodiesel e a sua estrutura de distribuição. Este trabalho testou o modelo no Estado do Rio Grande do Sul onde a tendência é produzir biodiesel a partir do óleo de soja. O modelo demonstrou, dentre as alternativas escolhidas e com base nas premissas assumidas ao longo deste trabalho, que uma usina de escala grande (120.000 toneladas/ano), localizada na cidade de Canoas, seria a alternativa que minimizaria os custos totais de transporte e de instalação.

**Área temática:** Desenvolvimento local e políticas de exportação

**Palavras-chave:** biodiesel, localização, programação linear, cadeia produtiva.

## **Le biodiesel dans l'État du Rio Grande do Sul : un modèle pour sa distribution et la localisation des usines**

**Résumé :** L'ère du pétrole semble être arrivée à son terme et de nouvelles sources d'énergie - renouvelables et plus respectueuses de l'environnement - sont d'ores et déjà disponibles pour la société. Parmi ces sources, le biodiesel attire depuis quelques temps l'attention des autorités en vertu de sa compatibilité avec le diesel et du potentiel d'enrichissement qu'il représente pour l'agriculture. La Loi 11.097/2005 autorisant l'introduction du biodiesel au Brésil prévoit une addition de 2% du nouveau carburant au pétrodiesel pour l'année 2008. Le biodiesel est un produit obtenu à partir de la transestérification d'huiles et de graisses d'origine végétale, animale ou résiduelle, dont les propriétés ressemblent beaucoup au pétrodiesel. Pour pouvoir répondre à une demande capable de remplacer 2 % du diesel commercialisé dès 2008, il est nécessaire de structurer la chaîne productive du biodiesel. Partant de là, le présent travail élabore un modèle mathématique où interviennent les techniques de programmation linéaire. L'objectif est d'éclairer la décision touchant à la localisation des futures usines de biodiesel et à leur structure de distribution. Le travail a testé le modèle dans l'État du Rio Grande do Sul, Brésil, une région où la tendance est de produire du biodiesel à partir de l'huile de soja. Parmi les solutions retenues et sur la base des prémisses adoptées au cours du travail, le modèle montre que l'implantation d'une grande usine (120 mille tonnes par an) dans la ville de Canoas serait une solution qui permettrait de réduire l'ensemble du coût lié au transport et à l'installation.

**Champ thématique :** Développement local et politiques d'exportation.

**Mots-clés :** biodiesel, localisation, programmation linéaire, chaîne productive.

## INTRODUÇÃO

A era do petróleo pode estar chegando ao fim. Nos últimos anos, o petróleo voltou a atingir preços elevados, e as duas razões mais apontadas pelos especialistas para explicar os constantes aumentos nos preços do barril de petróleo estão, geralmente, relacionadas ao fator geopolítico e à escassez relativa do recurso fóssil.

O primeiro fator está ligado a uma conjunção de elementos geopolíticos que afetam a oferta. As principais áreas produtoras estão localizadas em regiões de conflitos de ordem religiosa e política e com poucas possibilidades de solução em curto prazo. O segundo fator relaciona-se ao atual desequilíbrio entre a oferta e a demanda mundial de petróleo. Conforme Pires (2004), a demanda mundial cresceu 5%, no segundo trimestre do ano de 2004, em relação a 2003. Esse aumento deve-se, principalmente, ao rápido crescimento do consumo nos Estados Unidos, na Ásia e, em particular, na China.

Com o aumento da demanda por petróleo e a escassez desse recurso não renovável, é fundamental o estudo de fontes alternativas, principalmente as renováveis e de menor impacto ambiental. Graças aos avanços tecnológicos em diversas áreas do conhecimento, novas fontes de energia começam a ser pesquisadas. Grandes empresas petrolíferas do mundo, como a ExxonMobil, Shell e a Petrobras, já tornaram público seu interesse em investir no desenvolvimento de fontes de energia alternativas ao petróleo, tal como gás natural, célula de hidrogênio, energia solar e eólica, álcool e biodiesel (PIRES, 2004).

Pesquisas recentes sugerem a utilização da biomassa para fins energéticos, principalmente para o combustível, ou seja, o aproveitamento de outros organismos biológicos como fontes de energia: a cana-de-açúcar, o eucalipto, a beterraba (dos quais se extrai álcool), o biogás (produzido pela biodegradação anaeróbica existente no lixo e dejetos orgânicos), a lenha e o carvão vegetal, alguns óleos vegetais (amendoim, soja, dendê, mamona) e outros. (RAMOS et al., 2003).

Dentre as fontes de biomassa prontamente disponíveis, os óleos vegetais vêm sendo investigados como candidatos a programas de energia renovável para substituírem o óleo diesel de petróleo. Segundo Ramos et al. (2003), os óleos vegetais, além de serem fontes de energia renovável, podem proporcionar uma geração de energia descentralizada e um incentivo à agricultura familiar, criando melhores condições de vida (infra-estrutura) em regiões rurais, oferecendo alternativas a problemas socioeconômicos e socioambientais de difícil solução.

Os óleos vegetais, no entanto, não podem substituir o diesel na sua forma *in natura*. Para ser compatível com os motores a diesel, o óleo vegetal deve ser submetido a uma reação química com metanol ou etanol, resultando em um éster (biodiesel) que pode, então, ser utilizado como combustível puro ou misturado ao óleo diesel (RAMOS et al., 2003).

Surge, assim, uma grande oportunidade para países com potencial agrícola. A Malásia, por exemplo, está expandindo suas plantações de palma (planta que se extrai óleo para biodiesel) e construindo fábricas de biodiesel para abastecer o mercado alemão (THEIL, 2005).

Consagrado na utilização do etanol, em sua matriz energética de combustíveis, o Brasil, agora, tem a oportunidade de ser referência, também, na utilização do biodiesel para substituir o diesel. Existem diversas fontes potenciais de óleos no Brasil para a produção de biodiesel, como o óleo vegetal de soja, mamona, girassol, palma (dendê), a gordura animal e os óleos de peixes.

Hoje, essa alternativa inovadora de substituição do diesel de petróleo já é realidade com a publicação da Lei 11.097/2005 – a Lei do Biodiesel, no *Diário Oficial* da União, do dia 14 de janeiro de 2005, que dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira. Conforme a Lei, deverá ser adicionado um mínimo de 2% de biodiesel em todo o diesel comercializado no país, a partir do ano de 2008 (BRASIL, 2005).

O Ministério de Minas e Energia (GOMIDE, 2005) estima uma demanda de 800 milhões de litros de biodiesel, por ano, até 2008. A Lei que autoriza a comercialização do biodiesel deu início à corrida para sua produção no Brasil, o que vai demandar uma base de produção e distribuição no país. Por se tratar de um produto novo no mercado, ainda faltam estudos que apoiem as decisões de investimentos, tanto para agentes privados como públicos. Surgem, dessa forma, muitas dúvidas:

a) Qual o local ideal para instalar usinas?

- perto das matérias-primas (soja, dendê, mamona e demais oleaginosas vegetais) ou do mercado consumidor?
- próximo às regiões litorâneas onde é produzido o diesel ou nas regiões do interior onde o custo do transporte do diesel é mais caro?

b) Como será feita a distribuição do biodiesel dentro das fronteiras do país?

Estudos apontam que o custo do biodiesel será mais alto do que o do diesel (HASS et al., 2006), tanto em função dos custos da matéria-prima (em torno de 80% dos custos do biodiesel), como devido à dispersão geográfica das fontes de matéria-prima ao longo do território que fazem com que as operações de coleta, transporte e estocagem se tornem complexas e caras. Conforme Cánepa (2004), um dos aspectos que poderá contribuir para a competitividade do biodiesel é a questão da localização – influenciada pelo custo do transporte das matérias-primas e do produto final – e da escala de produção.

Considerando a problemática da produção do biodiesel (óleo vegetal + álcool + industrialização + distribuição) e levando em conta a problemática do diesel (poluição, preço atrelado à variação do dólar e do barril de petróleo, possibilidade de escassez relativa, produção concentrada no litoral, subsídios governamentais), torna-se oportuno propor e validar um modelo de análise e apoio à decisão que auxilie a definição da melhor localização das plantas de biodiesel e de sua estrutura de distribuição.

O modelo deste trabalho será desenvolvido para o contexto do Estado do Rio Grande do Sul onde há uma tendência para o uso da soja como fonte de óleo para o biodiesel. O Estado é o terceiro maior produtor de soja do Brasil e, conforme Plá (2002), a estrutura do complexo da soja se apresenta adequada para atender, em curto e médio prazo, uma demanda de biodiesel.

Tendo em vista a problemática de pesquisa apresentada acima, portanto, o objetivo central deste trabalho é propor e validar um modelo de análise e apoio à decisão que auxilie a definição da localização das plantas de biodiesel e sua distribuição.

Para isso, esse artigo estrutura-se da seguinte forma: a primeira seção apresenta uma revisão dos conceitos de cadeias de suprimentos, abordando a decisão e a modelagem de problemas. Na seção 2, são descritos os métodos e procedimentos da pesquisa. A seção 3 descreve a cadeia de suprimentos do biodiesel, foco deste estudo. Na seção 4, é apresentado o modelo de programação inteira mista para a localização de usinas. Por fim, são apresentados os resultados e as considerações finais.

## 1 REFERENCIAL CONCEITUAL

### 1.1 Cadeia de suprimentos

Uma das maiores mudanças no paradigma dos negócios modernos é que, dificilmente, uma firma irá competir sozinha, mas, sim, numa cadeia de suprimentos. O sucesso irá depender da forma como ela irá gerenciar os seus relacionamentos em sua rede de trabalho (LAMBERT et al, 1998).

O conceito de cadeia de suprimentos ou gestão da cadeia de suprimentos não contempla apenas os relacionamentos um a um ou “*business to bussines*”, mas uma rede de múltiplos relacionamentos empresariais. A gestão da cadeia de suprimentos pode ser vista como a logística fora da firma, incluindo os clientes e fornecedores. A abordagem da cadeia de suprimentos analisa seu objeto de estudo, partindo da empresa focal (escolhida pelo pesquisador ou pela empresa que deseja implantar) e engloba fornecedores, distribuidores e clientes.

## 1.2 Decisões na cadeia de suprimentos

As decisões, em uma cadeia de suprimentos, vêm sendo classificadas de acordo com seus impactos temporais e funcionais. As decisões podem ser classificadas em três categorias: estratégicas (longo prazo), táticas (médio prazo) e operacionais (curto prazo e tempo real), considerando o horizonte de tempo. Funcionalmente, há quatro principais áreas de decisão numa cadeia de suprimentos: compras (*procurement*), produção, distribuição e logística (BISWAS; NARAHARI, 2004).

As decisões de nível estratégico envolvem aspectos referentes à localização, alocação, planejamento da demanda, seleção de fornecedores e estruturação da rede. As decisões de nível tático envolvem controle dos níveis de estoque, coordenação da distribuição e produção. As decisões de nível operacional envolvem roteamento e escalonamento de veículos, alocação de trabalhadores, entre outros.

A performance de uma cadeia de suprimentos depende dos resultados de várias decisões tomadas ao longo do tempo nas áreas estratégicas, táticas e operacionais.

### 1.2.1 Modelagem das decisões na cadeia de suprimentos

Um modelo é uma representação da realidade projetada para algum propósito definido. Conforme Pidd (1998, p.25), “um modelo é uma representação externa e explícita de parte da realidade vista pela pessoa que deseja usar aquele modelo para entender, mudar, gerenciar e controlar parte daquela realidade”.

Basicamente, os modelos para cadeia de suprimentos podem ser classificados em três categorias (MIN; ZHOU, 2002):

- 1ª. modelos determinísticos: assumem que todos os parâmetros são conhecidos e definidos com precisão;
- 2ª. modelos estocásticos: levam em conta a incerteza do ambiente e a variação dos parâmetros;
- 3ª. modelos híbridos: envolvem elementos tanto dos modelos determinísticos quanto dos estocásticos.

Conforme Biswas e Narahari (2004), um importante foco dos modelos determinísticos de cadeia de suprimentos é determinar a localização de fábricas, armazéns e dos caminhos dos produtos dentro dos nós da cadeia de suprimento. Modelos desta área são de nível estratégico/tático e, em geral, de natureza determinística.

## 1.3 Aplicação de modelos de localização em contextos agroindustriais

Existem, atualmente, muitas pesquisas publicadas sobre a aplicação de modelos de localização em cadeias de suprimentos/produção que mostram a ampla variedade de modelos existentes para problemas de localização e as diferentes abordagens e aprimoramentos adotados pelos pesquisadores. A seguir, de maneira bem sintética, será apresentada uma pequena amostra de pesquisas desenvolvidas no campo da teoria da localização em contextos agroindustriais.

Para analisar e projetar uma estrutura otimizada da indústria processadora de soja dos Estados Unidos, D'Souza (1988) utilizou o modelo de transbordo dentro da estrutura da programação linear para identificar o fluxo ótimo, o tamanho ótimo, o número e a localização ótima das indústrias processadoras de soja. Dentro do modelo, incluem-se os seguintes elementos: matéria-prima (soja), atividade intermediária (processamento) e dois produtos finais (farelo e óleo).

Lopes e Caixeta Filho (2000) desenvolveram um modelo de localização, utilizando uma estrutura de programação inteira mista para identificar a melhor distribuição espacial da suinocultura e abatedouros no Estado de Goiás (Brasil). Identificaram as regiões que seriam mais indicadas para o abastecimento de matéria-prima para a ração, de modo que fossem minimizados os custos de transporte e de aquisição de insumos, obtendo, assim, uma redução nos custos de criação.

Köksalan e Süral (1999) avaliaram a possibilidade de instalação de novas plantas de cevada para uma companhia na Turquia. Primeiramente, fizeram uma análise econômica para eliminar algumas possibilidades. Para avaliar as alternativas restantes, aplicaram o

modelo de programação inteira mista (*mixed-integer-programming*), considerando tanto a localização de novas plantas de malte como a distribuição de malte e cevada na cadeia produtiva. O estudo avaliou os efeitos, em longo prazo, das decisões, minimizando o valor presente dos custos totais.

## 2 MÉTODOS E PROCEDIMENTOS

Para desenvolver e validar um modelo de análise e apoio à decisão que auxilie na definição da melhor localização das plantas de biodiesel e sua estrutura de distribuição, tendo como referência a metodologia do processo de solução de problemas (JESSEN; BARD, 2003) e do processo de tomada de decisão (TURBAN; MEREDITH, 1994), o processo de análise e estruturação desta pesquisa foi conduzido pelas seguintes etapas:

**a) Etapa 1:** análise da situação – a cadeia de suprimentos do biodiesel no Rio Grande do Sul

Entende-se “situação”, neste trabalho, como o conjunto que abrange os dados e informações relacionados à questão da introdução do biodiesel na matriz energética brasileira e as variáveis envolvidas nos aspectos da localização e distribuição do biodiesel no Rio Grande do Sul.

Nesta etapa, foram realizadas entrevistas do tipo focal (YIN, 1994) nas quais os entrevistados responderam um conjunto de perguntas originadas da problemática do estudo. Os pesquisadores e representantes de entidades que participaram das entrevistas preliminares foram os seguintes: Prof. Dr. Juan Algorta Plá, Faculdade de Economia da UFRGS; Prof. Dr. André Luís Thomas, Faculdade de Agronomia da UFRGS; Prof. Dr. Argimiro Resende Secchi, Departamento de Engenharia Química da UFRGS; Prof. Dr. Denis Borenstein, Escola de Administração da UFRGS; Sr. David Turk Chazan, coordenador do programa Pro biodiesel-RS, Cientec; Sr. Sérgio Viscardi, gerente de qualidade da Ipiranga S/A.

Para caracterizar o objeto em estudo, buscaram-se dados e informações, em fontes secundárias, tais como periódicos, revistas, banco de dados, pesquisas acadêmicas, documentos, órgãos como FEE, IBGE, MCT, ANP, ABIOVE, CIENTEC, SIOLEO, SINDICOM e eventos realizados com a temática do biodiesel.

**b) Etapa 2:** Definição do problema e construção do modelo de localização

Após a análise da situação, foram introduzidos os objetivos, as restrições, os parâmetros, as variáveis do processo e as métricas para mensurar o problema.

Nesta etapa, o problema foi traduzido de sua forma verbal e qualitativa para termos lógicos e matemáticos. Por modelo lógico, entende-se uma série de regras pelas quais é possível prever e avaliar o impacto de ações e decisões alternativas. Modelo matemático é uma coleção de relacionamentos funcionais que permitem a avaliação e a delimitação de ações (JENSEN, BARD, 2003). Assim, seguiram-se os seguintes passos:

- formulação matemática para representar as inter-relações entre os elementos identificados na etapa de formulação do problema: modelo de transbordo para definir a melhor distribuição e melhor localização;
- implementação computacional do modelo.

**c) Etapa 3:** Derivando uma solução:

Nesta etapa, há métodos matemáticos que auxiliam na solução do modelo; alguns podem prescrever ótimas soluções, enquanto que outros apenas avaliam qual a mais aceitável, por meio de uma abordagem de tentativa e erro. É uma etapa em que o acesso a microcomputadores e *softwares* é muito importante para resolver os modelos com muitas variáveis. Alguns *softwares*, como o LINGO (Lindo System's Inc., 2005), apresentam códigos para resolver a maioria dos problemas de Pesquisa Operacional. Jessen e Bard (2003) e Pidd (1998) salientam que a solução é produto do modelo e que, antes de ser implementada, é necessário, testar sua validade. Os seguintes passos foram feitos nesta etapa:

- cálculo do modelo matemático: foi utilizado o *software* de otimização LINGO v.8.0 em microcomputador com processador “Amd Athlon”, 1,51 GHz, 512 Mb de memória RAM;
- escolha de valores para as variáveis de decisão que otimizem o objetivo principal;
- teste da solução em dois cenários.

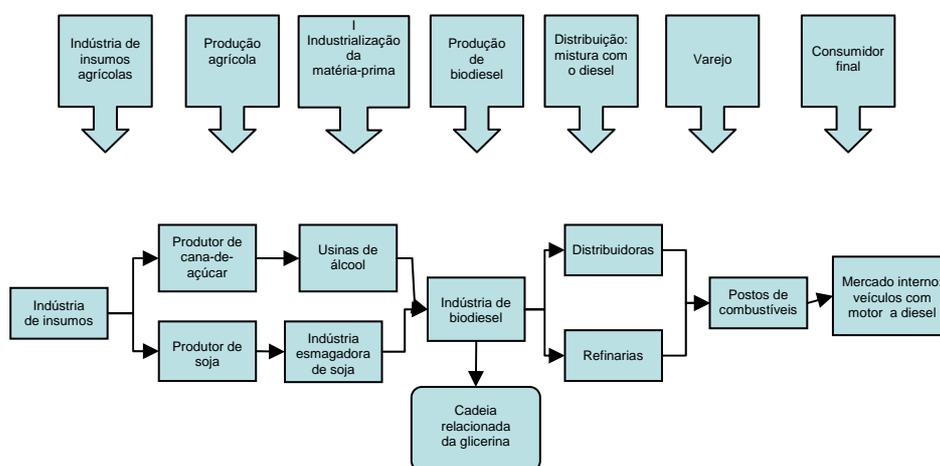
### 3 CARACTERIZAÇÃO DA CADEIA DO BIODIESEL NO RIO GRANDE DO SUL

Para que se possa propor um modelo de localização para instalar usinas de biodiesel, é necessário identificar os atores (fornecedores, produtores e clientes) de uma futura cadeia de suprimentos do biodiesel no Rio Grande do Sul. Essa seção fornecerá os dados de entrada para o modelo, as premissas e pressupostos para o problema de localização de plantas de biodiesel e a sua distribuição no Estado.

Como foi descrito anteriormente, para a obtenção do biodiesel, é necessário reagir um óleo vegetal (triglicerídeo) ou gordura comum como o etanol ou metanol. Conforme Plá (2002), a cadeia produtiva da soja é a que está mais preparada para atender a uma demanda de biodiesel a médio e curto prazo. O Rio Grande do Sul, por ser o terceiro maior produtor de soja no Brasil, provavelmente, terá a maior parte de sua produção de biodiesel a partir da soja.

Tendo em vista a busca por fontes renováveis de energia e sendo o Brasil o líder em produção de álcool etílico, estima-se que se utilize ou incentive o etanol (fonte renovável), em vez do metanol (não renovável), como fonte de álcool para o biodiesel.

Com base nas entrevistas com pesquisadores e autoridades envolvidas na questão do biodiesel no Rio Grande do Sul e na pesquisa de Cánepa (2004), foi possível conceber o seguinte modelo de configuração da cadeia produtiva do Rio Grande do Sul (Fig. 1):

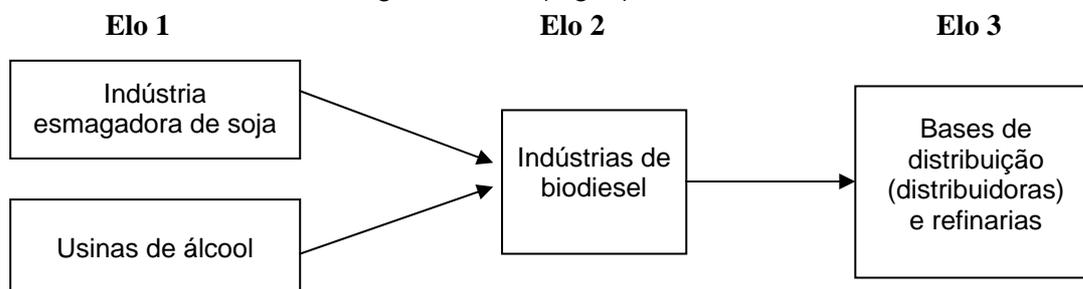


**Figura 1** – Cadeia produtiva do biodiesel  
Fonte: Adaptado de CÁNEPA (2004)

Visto que se pretende utilizar as técnicas de modelagem para solucionar o problema da localização e distribuição do biodiesel no Estado, é necessário, tanto para viabilizar o estudo – tempo, custo, complexidade, foco, etc –, como, para modelar o problema, simplificar a cadeia produtiva do biodiesel a partir do elo focal – usina de biodiesel.

Portanto, este trabalho considerará três elos da cadeia produtiva do biodiesel (Fig. 2). As indústrias de esmagamento de soja e as usinas de álcool serão os dois principais fornecedores – Elo 1. O Elo 2 será representado pelas próprias usinas de biodiesel que irão transformar o óleo bruto e o álcool em éster (biodiesel puro).

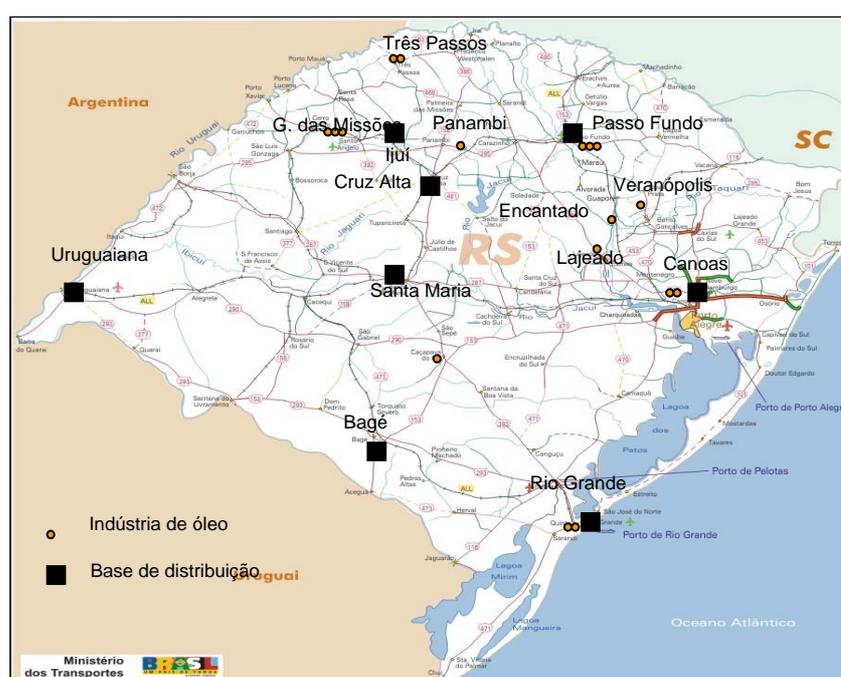
O Elo 3 é representado pelas distribuidoras de combustíveis e refinarias que, conforme a legislação local, são as únicas empresas que podem fazer a mistura do biodiesel puro (éster) ao diesel de petróleo para, então, comercializar para o consumidor final. Elas comprarão o éster (biodiesel puro) dos produtores de biodiesel e distribuirão para os postos de combustíveis. Dessa forma, o sistema em estudo compreenderá três elos da cadeia do biodiesel, conforme ilustra a figura abaixo (Fig. 2).



**Figura 2** – Simplificação da cadeia produtiva do biodiesel  
Fonte: Elaborada pelo autor

No mapa do Estado do Rio Grande do Sul (RS) (Fig. 3), estão localizados os possíveis fornecedores de óleo de soja (Elo 1) e os possíveis locais onde serão efetuadas as misturas de biodiesel puro ao diesel de petróleo (Elo 3).

Conforme o Sindicato de Óleos do Rio Grande do Sul (SIOLEO, 2006), o Estado conta com dezesseis plantas de médio a grande porte de esmagamento de soja com capacidade nominal de esmagar 22.853 toneladas de soja por dia. Neste estudo, consideraram-se oito bases de distribuição, representadas por quadrados, na Figura 3, a seguir. É nessas bases, pertencentes às principais distribuidoras do Brasil (Ipiranga, Esso, Petrobras Distribuidora, Shell, etc.) que o biodiesel puro será adicionado ao diesel de petróleo para, então, ser distribuído aos pontos de venda, postos de combustíveis. Como não existem usinas de médio a grande porte de álcool no Rio Grande do Sul, será considerado que o álcool etílico será importado da cidade de Londrina (Paraná).



**Figura 3** – Localização dos fornecedores e dos clientes no Estado do Rio Grande do Sul

Fonte: Adaptado de BRASIL. Ministério dos Transportes (2006), SIOLEO (2006) e SINDICOM (2006)

### 3.1 Alternativas de localização

Existem cinco projetos de instalação de usinas de biodiesel no Estado (Tabela 1). Neste trabalho, consideraram-se essas cinco alternativas, mais a cidade de Canoas, como potenciais locais para instalar fábricas. A cidade de Canoas foi escolhida por ser um local perto da região de maior demanda (região metropolitana de Porto Alegre) como também de dois fornecedores potenciais.

**Tabela 1 – Projetos existentes de usinas de biodiesel no Rio Grande do Sul**

Usina	Local/Cidade	Capacidade m <sup>3</sup> /ano	em l/ano
Brasil Ecodiesel	Rosário do Sul	100.000	100.000.000
Coceagro	Cruz Alta	40.000	40.000.000
Granol	Cachoeira do Sul	100.000	100.000.000
BSBios	Passo Fundo	100.000	100.000.000
Oleoplan	Veranópolis	66.000	66.000.000
Total		406.000	406.000.000

Fonte: RIBEIRO (2006)

Em geral, o custo de instalação de uma fábrica de biodiesel está em torno de R\$ 20 milhões de reais para uma capacidade de 100 milhões de litros/ano de biodiesel, conforme o coordenador do programa Pró-Biodiesel RS, em entrevista realizada.

## 4 CONSTRUÇÃO DO MODELO

Após descrever o sistema no qual está inserido o problema, a questão, agora, é a construção de um modelo que relacione as variáveis envolvidas no contexto e indique uma solução. Ou seja, nesta seção, o modelo será traduzido de sua forma verbal e qualitativa, para termos lógicos e matemáticos.

O objetivo deste modelo é identificar, dentro de algumas alternativas, os melhores locais para a instalação de uma ou mais usinas de biodiesel, buscando minimizar os custos de transporte dos insumos e do produto acabado. Além disso, objetiva-se, também, determinar o melhor fluxo entre os elos, ou seja, a quantidade e o destino para o qual devem ser transportados os insumos e o produto acabado dentro do sistema.

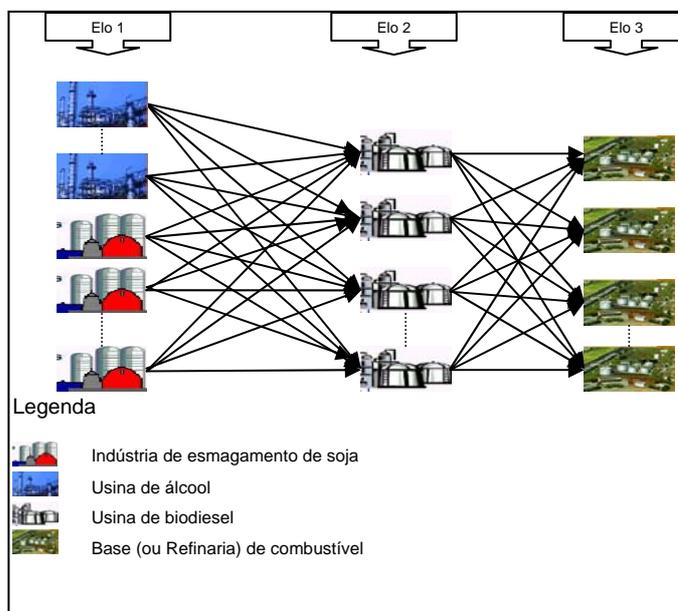
Em síntese, para resolver tal problema é necessário um modelo que relacione as variáveis de decisão (fluxo a ser transportado entre os elos e regiões que receberão usinas de biodiesel) com os parâmetros do contexto (capacidades locais, demandas locais, custo do transporte, custo de instalação) para propor uma solução que minimize os custos totais de transporte e instalação.

Em algumas pesquisas analisadas (D'SOUZA, 1998; KÖKSALAN; SÜRAL, 1999; LOPES; CAIXETA FILHO, 2000), pôde-se observar que houve a aplicação do modelo de transbordo<sup>1</sup> para solucionar problemas de localização e de distribuição, tendo como objetivo minimizar o custo de transporte dos insumos e do produto final e os custos de instalação de uma ou mais fábricas.

O modelo de transbordo pode ser representado pela Figura 4, na qual cada desenho representa um nó, localizado em determinado ponto (cidade) onde existe uma ou mais unidades industriais.

<sup>1</sup> Extensão do modelo clássico de transporte da disciplina da Pesquisa Operacional, ver Jensen e Bard (2003)

- a) os nós fornecedores (Elo 1): representam as indústrias de esmagamento de soja e usinas de álcool;
- b) os nós de transbordo (Elo 2): locais potenciais para instalar as usinas de biodiesel;
- c) os nós de demanda (Elo 3): locais em que o biodiesel puro (éster) será misturado com o diesel de petróleo (bases de distribuição).



**Figura 4 – Simplificação gráfica do modelo de transbordo**

Fonte: Elaborada pelo autor

A cada nó de transbordo, considerado local possível para instalar uma usina de biodiesel, entram e saem fluxos associados aos arcos. Os arcos representam as rotas que ligam os nós, e cada rota tem um custo relacionado à distância. O modelo determinará as rotas que serão utilizadas, de acordo com as capacidades e demandas de cada nó, e a quantidade que será transportada, por cada rota, de maneira a minimizar os custos totais de transporte. Como subproduto do modelo, será possível verificar quais os nós de transbordo que serão utilizados neste sistema. Os nós de transbordo que receberem fluxo indicarão os locais adequados para a instalação de fábricas de biodiesel.

Para restringir que o modelo designe pouca quantidade de fluxo para determinados pontos de transbordo, indicando a instalação de uma fábrica para a produção de pouca quantidade de biodiesel, foi acrescentado o custo fixo de instalação proporcional a um ano. Ou seja, só haverá fluxo para mais de um ponto de transbordo se este fluxo for suficiente, em termos de economia com custos de frete, para compensar o custo de instalação dessa nova usina.

A seguir, será apresentado o modelo matemático do problema de localização e distribuição de biodiesel para o Rio Grande do Sul.

#### 4.1 Modelo matemático

O modelo proposto é um modelo de transbordo (três estágios – elos), dentro da estrutura da programação linear, envolvendo uma estrutura de programação inteira mista. Os fatores considerados para o objetivo da pesquisa são: os custos de transporte de óleo de soja (Elo 1) até as possíveis usinas de biodiesel (Elo 2 – pontos de transbordo); os custos de transporte de álcool das usinas de álcool etílico (Elo 1) até as possíveis fábricas de biodiesel; os custos de transporte do biodiesel até as bases de distribuição (Elo 3); e os

custos de instalação amortizados para o período de um ano. O modelo usa o ano como período de tempo. A variável de decisão é a quantidade de óleo, álcool e biodiesel que devem ser transportadas entre os elos, de forma a minimizar o custo de transporte e de instalação.

A solução do modelo determinará, dentre algumas alternativas propostas, a localização ideal das usinas de biodiesel bem como a quantidade de óleo de soja, álcool e biodiesel que devem ser transportados, entre os diferentes locais, no período de um ano. O critério de minimização é o custo total de transporte e de instalação. Para lidar com a questão da escala, cada local potencial poderá receber uma usina de biodiesel grande e/ou média.

O modelo, a seguir, pode ser classificado como um modelo de localização discreto, ou seja, a partir de  $n$  possíveis locais para instalar uma usina, o modelo determinará qual é (são) o(s) local(ais) que minimizará(ão) os custos de transporte do produto final e dos insumos, assim como o custo de instalação.

#### 4.1.1 Função objetiva

O modelo a ser utilizado diz respeito à minimização de uma função objetiva que representa os custos considerados para a localização das plantas de biodiesel, sujeita a uma série de restrições.

Para a função a seguir, serão considerados os seguintes conjuntos:

- $I$ : o conjunto das regiões fornecedoras de óleo de soja;
- $A$ : o conjunto das regiões fornecedoras de álcool;
- $J$ : o conjunto das alternativas de locais para instalar as usinas de biodiesel;
- $Q$ : o conjunto das regiões onde se localizam as bases de distribuição;

$$\text{Min} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} x_{ij} + \sum_{a \in A} \sum_{j \in J} c_{aj} x_{aj} + \sum_{j \in J} \sum_{q \in Q} c_{jq} x_{jq} + \sum_{j \in J} f_j b_j \quad (1)$$

1(a)                                      1(b)                                      1(c)                                      1(d)

onde:

##### a) parâmetros:

$c_{ij}$  = custo (R\$/ton) de transporte de óleo de soja da região  $i$  para a região  $j$  onde pode haver instalação de planta de biodiesel, para  $i \in I$  e  $j \in J$ ;

$c_{aj}$  = custo (R\$/ton) de transporte de álcool fornecido pela usina  $a$  para a usina de biodiesel  $j$ , para  $a \in A$  e  $j \in J$ ;

$c_{jq}$  = custo (R\$/ton) de transporte de biodiesel fabricado na região  $j$  para a base de distribuição  $q$ , para  $j \in J$  e  $q \in Q$ ;

$f_j$  = custo de instalação (R\$ – amortizado para o período de um ano) de uma usina de biodiesel  $j$ .

##### b) variáveis de decisão:

$x_{ij}$  = toneladas de óleo de soja transportada da região  $i$  para a planta de biodiesel na região  $j$ , no período de um ano, para  $i \in I$  e  $j \in J$ ;

$x_{aj}$  = toneladas de álcool etílico transportado da região  $a$  para a região  $j$ , no período de um ano,  $a \in A$  e  $j \in J$ ;

$x_{jq}$  = toneladas de biodiesel transportado da planta da região  $j$  para a central de mistura  $q$ ,  $j \in J$  e  $q \in Q$ ;

$b_j$  = variável binária, tipo zero ou um, associada à instalação de uma usina de biodiesel na alternativa  $j$ .  $b_j \in \{0,1\}$

#### 4.1.2. Restrições

A função objetiva acima (1) está sujeita a uma série de restrições, conforme representam as inequações abaixo:

▪ [oferta de óleo]

$$\sum_{j \in J} x_{ij} \leq s_i \quad \text{para todo } i \in I \quad (2)$$

▪ [oferta de álcool]

$$\sum_{j \in J} x_{aj} \leq s_a \quad \text{para todo } a \in A \quad (3)$$

▪ [restrição de fluxo em relação à capacidade das usinas de biodiesel]

$$\sum_{q \in Q} x_{jq} \leq s_j \quad \text{para todo } j \in J \quad (4)$$

▪ [fluxos de balanceamento ponto de transbordo]

$$\sum_{i \in I} x_{ij} = \sum_{q \in Q} p x_{jq} \quad \text{para todo } j \in J \quad (5)$$

▪ [fluxos de balanceamento ponto de transbordo]

$$\sum_{a \in A} x_{aj} = \sum_{q \in Q} p_2 x_{jq} \quad \text{para todo } j \in J \quad (6)$$

▪ [demanda base de distribuição]

$$\sum_{j \in J} x_{jq} \geq d_q \quad \text{para todo } q \in Q \quad (7)$$

onde (parâmetros):

$s_i$  = capacidade (tonelada/ano) de cada região fornecedora de óleo de soja da região  $i$ ,  
para,  $i \in I$ ;

$s_a$  = capacidade (tonelada/ano) da usina de álcool  $a$ , para  $a \in A$ ;

$s_j$  = capacidade (tonelada/ano) da planta de biodiesel instalada na região  $j$ ,  $j \in J$ ;

$d_q$  = demanda (tonelada/ano) de biodiesel em cada base de distribuição  $q$ ,  $q \in Q$ ;

$b_j$  = variável binária:

- 1 se instala a usina na região  $j$ ,
- 0 caso não se instale;

$p_1$  = taxa de conversão do insumo óleo de soja para uma unidade de biodiesel (tonelada);

$p_2$  = taxa de conversão do insumo álcool para uma unidade de biodiesel (tonelada).

Na função objetiva(1), o custo total é formado pela soma dos custos de transporte do óleo de soja e do álcool até os potenciais locais da produção de biodiesel, pela soma dos custos de transporte do biodiesel até as bases de distribuição e pela soma dos custos fixos de instalação.

Na soma (1a), tem-se o custo total de transporte de óleo soja a partir da região fornecedora  $i$  para as regiões de produção do biodiesel (transbordo)  $j$ . Na soma (1b), tem-se o custo total de transporte de álcool a etílico de uma usina de álcool até os possíveis locais

de implementação de uma planta de biodiesel  $j$ . Na soma (1c), tem-se o custo de transporte do biodiesel produzido pelas plantas na região  $j$ , até as bases de distribuição na região  $q$ . Na soma (1d), tem-se o custo fixo amortizado para o período de um ano de instalação de uma usina na região  $j$ .

A inequação 2 representa a restrição de capacidade de oferta de óleo de soja da região  $i$ , onde a soma das quantidades transportadas da região  $i$  para a região  $j$  não deve exceder à capacidade de produção da própria região  $i$ .

Na inequação 3, está representada a restrição de capacidade de oferta de álcool da região  $a$ , onde a soma das quantidades transportadas da região  $a$  para a região  $j$  não deve exceder à capacidade de produção da própria região  $a$ .

Na inequação 4, tem-se a quantidade de biodiesel transportado das plantas presentes nas regiões  $j$  para as bases de distribuição  $q$ , a qual não deve ultrapassar a capacidade de cada possível usina de biodiesel.

Na inequação 5 e 6, tem-se que a soma das quantidades de óleo de soja e álcool que chegam às usinas de biodiesel deve ser igual à soma das quantidades de biodiesel que saem das fábricas de biodiesel para as bases de distribuição. A constante  $p_1$  representa a taxa de conversão de soja em biodiesel. Para uma tonelada de biodiesel, são necessários 965 kg de óleo de soja. A constante  $p_2$  representa a taxa de conversão de etanol em biodiesel. Para uma tonelada de biodiesel, são necessários 156 kg de álcool etílico.

A inequação 7 representa a demanda de biodiesel das bases de distribuição  $q$ , onde o total de biodiesel que chega não deve ser inferior à demanda de cada base (elo 3, cliente).

#### 4.1.3 Limitação da modelagem

O objetivo desta análise é servir como um guia geral para a instalação de novas indústrias. Entretanto, é importante frisar que o modelo se preocupa em minimizar os custos de transbordo/transporte da cadeia de biodiesel, sendo que os custos individuais de uma usina podem não estar sendo minimizados. Assim, como no modelo aplicado por D'Souza (1988), os resultados esperados não são totalmente aplicáveis por uma indústria individual da cadeia, mas por toda a cadeia produtiva do biodiesel.

Outro fator importante é que, neste modelo, não estão incorporados os custos de transporte do subproduto glicerina, resultante do processo de transesterificação. Muitos autores indicam que esse subproduto será importante para viabilizar a produção de biodiesel por ter um atraente valor econômico.

## 5 RESULTADO DO MODELO

Para a determinação dos locais de instalação de fábricas de biodiesel, formularam-se dois cenários. No primeiro cenário, foram consideradas seis alternativas de localização (Cachoeira do Sul, Canoas, Cruz Alta, Passo Fundo, Rosário do Sul e Veranópolis) cada uma com a possibilidade de instalar uma usina de capacidade média (60.000 tom/ano) e/ou grande (120.000 ton/ano) e uma demanda de B2 (2% de biodiesel adicionado em todo diesel previsto para ser comercializado no Estado do Rio Grande do Sul) para o ano de 2008.

No segundo cenário, foram mantidas as mesmas seis alternativas de localização, no entanto com uma demanda de B10 (10% de biodiesel adicionado em todo diesel previsto para ser comercializado no estado do Rio Grande do Sul), que é uma possível tendência para as próximas décadas.

Antes de chegar aos resultados, é importante destacar os pressupostos e premissas que foram considerados na aplicação teórica desse modelo:

- a) o modelo designou o fluxo e a localização baseado nas alternativas designadas pelo pesquisador;
- b) o critério é o custo de transporte dos insumos e do produto acabado;
- c) considera-se que o custo de instalação é o mesmo em todas as localidades, variando apenas em relação ao tamanho da usina: média ou grande;

- d) a demanda é baseada nas vendas de óleo diesel dentro do Estado do Rio Grande do Sul;
- e) oito bases de distribuição, sendo duas refinarias, Canoas e Rio Grande, efetuarão a mistura do óleo diesel ao biodiesel;
- f) pressupõe-se que todas as indústrias de esmagamento de soja serão fornecedoras potenciais para as usinas de biodiesel;
- g) consideraram-se apenas dois tamanhos de usinas de biodiesel: grande (120.000 ton/ano) e médio (60.000 ton/ano).

Num cenário de demanda de B2, ou seja, necessidade de produzir 2% de biodiesel em relação à previsão de consumo de diesel no Rio Grande do Sul para o ano de 2008, o modelo designou uma usina média na cidade de Canoas para minimizar os custos totais do sistema (transporte e instalação). A escolha da cidade de Canoas se justifica por essa estar mais próxima ao principal consumidor (refinaria de Canoas) e, também, por se localizar perto de um possível fornecedor localizado na mesma região.

No segundo cenário, no qual a demanda por biodiesel é cinco vezes maior que a do primeiro, a configuração do sistema que minimizaria os custos totais seria a instalação de três usinas de biodiesel: uma usina grande e uma média em Canoas, e uma usina média em Passo Fundo.

A distribuição entre as indústrias e demais dados pode ser encontrada em Dal Zot (2006).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo a proposição de um modelo para auxiliar a tomada de decisão quanto à localização de usinas de biodiesel no Rio Grande do Sul. Após descrever a cadeia de suprimentos (ou produtiva) do biodiesel, foi possível propor um modelo de localização, visando a minimizar os custos de transporte e instalação das futuras usinas de biodiesel.

Os resultados mostram que o local que minimiza os custos de transporte do sistema (cadeia produtiva) é a cidade de Canoas. Ressalta-se, aqui, que o modelo não inclui os custos da matéria-prima (óleo de soja), pois se considera que todos os fornecedores comercializam o óleo de soja pelo mesmo preço, visto que se trata de uma *commodity* de preço atrelado à bolsa de valores de Nova York. O modelo, entretanto, é flexível para incluir tais parâmetros e mostrar uma nova configuração do sistema.

Como a demanda por biodiesel está concentrada em apenas um ponto, base de distribuição de Canoas (refinaria REFAP), e próximo a este ponto se encontram dois fornecedores potenciais, as esmagadoras Bianchini (Canoas) e Bunge/Solae (Esteio), existe um forte indício que a melhor opção para localizar uma planta de biodiesel seja a proximidade de um desses três pontos.

Os resultados do modelo mostraram que o local deve ser um ponto intermediário entre as bases de distribuição e as indústrias de esmagamento de soja, uma vez que o peso dos insumos difere muito pouco do peso do produto acabado e, portanto, o custo de frete da matéria-prima é relativamente semelhante ao custo do frete do produto acabado. Portanto, a localização não está limitada às fontes de matérias-primas nem aos mercados consumidores.

Outro ponto que merece atenção é o fato que uma demanda de B2, no Estado do Rio Grande do Sul, representaria apenas 13% da capacidade de produção que se está planejando construir, em relação às cinco usinas no Estado. Mesmo uma demanda de B10 necessitaria em torno de 65% desta capacidade (360.000 toneladas/ano). Entretanto, este maior dimensionamento da capacidade produtiva talvez se justifique caso o Rio Grande do Sul venha a se tornar um Estado exportador de biodiesel, tanto para o exterior como para os outros estados do país, visto que possui uma competitiva cadeia produtiva de soja, principal fonte de insumo, e potencial para expandi-la ainda mais.

O Governo, ao impor que, a partir de 2008, será obrigatório adicionar 2% de biodiesel puro ao óleo diesel, está gerando uma demanda segura e estimulando a iniciativa privada a fazer investimentos nessa promissora área de energia alternativa.

Embora os cenários indiquem o melhor local para instalação de uma usina de biodiesel, conforme as premissas de cada um, a principal contribuição desse trabalho é, principalmente, a flexibilidade do modelo, permitindo alternativas e proposições de modo a incluir situações ainda não consideradas.

O projeto nacional de inserção do biodiesel na matriz dos combustíveis é uma iniciativa para o desenvolvimento sustentável do país, para a distribuição de renda e fortalecimento da agricultura, porém é fundamental o investimento em pesquisas em todas as etapas da cadeia do biodiesel, para que essa promissora alternativa se concretize de forma a proporcionar melhorias no quadro socioeconômico nacional.

## REFERÊNCIAS

ABIOVE – Associação Brasileira de Indústrias de Óleos Vegetais. Base de dados. Disponível em: <<http://www.abiove.com.br/>> Acesso em: maio 2006.

ANUÁRIO EXAME. Infra-Estrutura 2004 – 2005. São Paulo: Abril, nov. 2004.

BRASIL. MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. Base de Dados. Disponível em: <http://www.transportes.gov.br/>. Acesso em: mar. 2006.

BRASIL. LEI nº 11.097. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira. Presidência da República, Brasília, DF, 2005.

BRASIL. MME – Ministério de Minas e Energia. Balanço Energético Nacional. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/>> Brasília, 2005.

BISWAS, S.; NARAHARI, Y. Object Oriented modeling and decision support for supply chain. **European Journal of Operation Reserch**, v. 153, p. 704-26, 2004.

CÁNEPA, Daniela L. **Alternativas de constituição da cadeia produtiva do biodiesel na perspectiva dos centros de P&D**. Porto Alegre: UFRGS, 2004. Dissertação (Mestrado em Agronegócios) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2004.

DAL ZOT, Fernando. **Biodiesel no Rio Grande do Sul: Um modelo para sua distribuição e localização de usinas**. Porto Alegre: UFRGS, 2006. Dissertação (Mestrado em Administração) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006.

D'SOUZA, G.E. Structure of the U.S Soybean Processing Industry in the 1990s. **Agribusiness**, v.4, n.1, 11-23, 1988.

GOMIDE, Ricardo. Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel. In: SEMINÁRIO BIODIESEL NO RIO GRANDE DO SUL, 2005, REFAP, Canoas. Disponível em: <<http://www.refapsa.com.br/biodiesel/>>. Acesso: 1º jun. 2005.

HASS, Michael J. et al. A process model to estimate biodiesel production costs. **Bioresource Technology**, n. 97, p. 671-8, 2006.

JENSEN, Paul A.; JONATHAN, F. Bard. **Operation research models and methods**. EUA: John Wiley & Sons, 2003.

KÖKSALAN, Murat; SÜRAL, Haldun. Efes Beverage Group Makes Location and Distribution Decisions for its Malt Plants. **Interfaces**, v. 29, n. 2, p. 89-103, maio-abr. 1999.

LAMBERT, D.M.; COOPER, M. C.; PAGH, J. D. Supply chain management: Implementation issues and research opportunities. **The International Journal of Logistics Management**, v. 9, n. 2, 1998.

LINDO SYSTEM'S. Base de dados. Disponível em: <<http://www.lindo.com/>>. Acesso em: mar. 2005.

LOPES, L.R; CAIXETA FILHO, J.V. Suinocultura no Estado de Goiás: Aplicação de um modelo de localização. **Pesquisa Operacional**, v. 20, n.2, p. 213-32, dez. 2000.

MIN, H.; ZHOU, G. Supply chain modeling: past, present and future. **Computers & Industrial Engineering**, v.43, p. 231-49, 2002.

PIDD, Michael. **Modelagem empresarial**: ferramentas para a tomada de decisão. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.

PIRES, Adriano. A energia além do petróleo. **Anuário Exame Infra-Estrutura 2004-2005**, São Paulo: Abril, p. 91-4, nov. 2004.

PLÁ, Juan Algorta. Perspectivas do Biodiesel no Brasil. **Indicadores Econômicos**. FEE, Porto Alegre, v.30, n.2, p.179-90, set. 2002.

RAMOS, L.P. et al. Biodiesel: Um Projeto de sustentabilidade econômica e sócio-ambiental para o Brasil. **Revista Biotecnologia & Desenvolvimento**, n. 31, jul.-dez. 2003.

RIBEIRO, S. Atenção para o coadjuvante. **Zero Hora**, Porto Alegre, n. 1.120, p. 2-3, 16 jun. 2006. Campo e Lavoura.

SINDICOM – Sindicato Nacional das Empresas Distribuidoras de Combustíveis e Lubrificantes. Banco de Dados. Disponível em: <<http://www.sindicom.com.br/>>. Acesso em: maio 2006.

SIOLEO – Sindicato das Indústrias de Óleos Vegetais do Rio Grande do Sul. **Capacidade instalada de processamento e refino**. [Mensagem pessoal] Mensagem recebida por <ferdz@via.rs.net.>, em 27 mar. 2006. 2 p.

THEIL, Stefan. The next petroleum. **Newsweek**, ago. 2005.

TURBAN, Efraim; MEREDITH, Jack R. **Fundamentals of Management Science**. Estados Unidos: Irwin, 1994.

YIN, Rober K. Estudo de Caso. **Planejamento e métodos**. São Paulo: Bookman, 1994.