

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ADMINISTRAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO DE EMPRESAS

**BIODIESEL NO RIO GRANDE DO SUL:
UM MODELO PARA SUA DISTRIBUIÇÃO
E LOCALIZAÇÃO DE USINAS**

FERNANDO DAL ZOT

Porto Alegre

2006

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ADMINISTRAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO DE EMPRESAS

FERNANDO DAL ZOT

**BIODIESEL NO RIO GRANDE DO SUL:
UM MODELO PARA SUA DISTRIBUIÇÃO
E LOCALIZAÇÃO DE USINAS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Administração.

Orientador: Antônio Domingos Padula

Co-orientador: Eduardo Ribas Santos

Porto Alegre

2006

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

D153b Dal Zot, Fernando

Biodiesel no Rio Grande do Sul: um modelo para sua distribuição e localização de usinas / Fernando Dal Zot – Porto Alegre, 2006.

119 f. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Administração, Programa de Pós-Graduação em Administração, 2006.

“Orientador: Prof. Dr. Antônio Domingos Padula”

“Co-orientador: Prof. Dr. Eduardo Ribas Santos”

1. Biodiesel. 2. Modelo de localização e distribuição. 3. Cadeia produtiva. 4. Pesquisa operacional. I. Título.

CDU 658.5

AGRADECIMENTOS

Ao professor orientador da dissertação, Antonio Domingos Padula;

ao professor co-orientador da dissertação, Eduardo Ribas Santos;

ao colega de Pesquisa Operacional, Luís Francisco Ramos Lima;

aos professores do Programa de Pós-Graduação em Administração;

aos professores: André Luis Thomas, Argimiro Resende Secchi, Dênis Borenstein e Juan Algorta Plá;

ao coordenador do programa Probiodiesel-RS, David Turk Chazan e ao gerente de qualidade da Ipiranga S/A, Sérgio Viscardi;

aos bolsistas, Omar Inácio Benedetti Santos e Régis Rathmann;

aos colegas do Curso de Mestrado Acadêmico da Escola de Administração,

agradeço pelo apoio e orientação para escrever esta dissertação.

Por fim, agradeço

aos meus pais, Wili e Jussara, e

aos meus irmãos Eduardo e Renato.

***A idade da pedra não acabou por falta de pedra,
então a idade do petróleo não acabará por falta do
petróleo.***

Sheik Zaki Yamani
Ministro do Petróleo da Arábia Saudita,
durante o primeiro e o segundo choque do
petróleo.

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 do ano de 2008. O biodiesel é um produto obtido da transesterificação de óleos e gorduras de origem vegetal, animal ou residual que possui características muito semelhantes ao diesel do petróleo. Sendo assim, não é preciso “reinventar o carro” nem modificar a distribuição para o consumidor final, visto que os motores a diesel podem rodar, facilmente, com porções de biodiesel ao diesel o qual pode ser comercializado nos atuais postos de combustíveis. Assim, é necessário estruturar a cadeia produtiva do biodiesel, para que se possa atender a uma demanda capaz de substituir 2% do diesel comercializado, a partir do ano de 2008. Diante disso, este trabalho visa a elaborar um modelo matemático, utilizando as técnicas da programação linear para auxiliar na decisão sobre a localização das futuras usinas de biodiesel e a sua estrutura de distribuição. Como cada Estado do Brasil poderá utilizar diferentes fontes de óleo vegetal, com base em suas características (geoclimáticas) para a produção de biodiesel, cada Estado poderá ter diferentes configurações da cadeia produtiva. 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 em Canoas, seria a alternativa que minimizaria os custos totais de transporte e de instalação. Entretanto, o modelo proposto é flexível para diferentes contextos e distintos parâmetros, adaptando-se às necessidades de cada região.

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

ABSTRACT

The age of oil seems to be near the end and new sources of energy, renewable and more environmentally friendly, are already available for society. Amongst these sources, biodiesel has been standing out for its compatibility with diesel and for its potential of wealth generation in this field. The Brazilian law 11,097/2005 authorizes the introduction of biodiesel in Brazil, compelling a 2% addition into diesel oil from the year 2008. Biodiesel is results from the transesterification of oils and fats of vegetal, animal or residual origins, and has very similar characteristics to diesel oil. Thus, one does not need to “reinvent the car” or modify distribution for the final consumer, once diesel-run engines can easily work with portions of biodiesel mixed within diesel oil that is commercialized in current service stations. Thus, it is necessary to structure the productive chain of biodiesel so that it can take care of a demand replacing 2% of the diesel commercialized from the year 2008. Therefore, this work aims to elaborate a mathematical model, using linear programming techniques to help decide where to locate the future biodiesel plants as well as their distribution structure. As each state of Brazil will make use of different vegetal oil sources, due to geographic characteristics, when producing biodiesel, each state might have different configurations of productive chain. This work tests the model in the State of Rio Grande do Sul, where producing biodiesel from the soy oil is the trend. It demonstrates, amongst the alternatives chosen and based on the assumptions throughout this work, that a plant of large scale (120,000 tons per year) located in the city of Canoas would most probably be the alternative to minimize the total costs of transport and installation. However, the model proposed is flexible for different contexts and parameters, able to adapt to the necessities of each region.

Key words: biodiesel, location, linear programming, productive chain.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Abrangência da problemática do biodiesel	14
Figura 2 – Cadeia produtiva do biodiesel e foco da pesquisa.	16
Figura 3 – Relação entre o processo de tomada de decisão com a abordagem científica	21
Figura 4 – Esquema do processo de solução de problemas	24
Figura 5 – Estrutura geral de um modelo	26
Figura 6 – Simplificação de um modelo de produção.....	29
Figura 7 – Matriz do problema de transporte.....	40
Figura 8 – Modelo do fluxo de rede do problema de transporte	41
Figura 9 – Solução ótima, $z = 46$	42
Figura 10 – Problema de transbordo	43
Figura 11 – Representação do problema de transbordo como modelo de transporte.....	44
Figura 12 – Solução do modelo de transporte, $z=100$	45
Figura 13 – Representação gráfica do problema de transbordo	47
Figura 14 – Representação do modelo	49
Figura 15 – Estrutura da pesquisa x o processo de solução de problemas.....	51
Figura 16 – Estrutura lógica do modelo	54
Figura 17 – Oferta interna de energia no Brasil	56
Figura 18 – Dependência externa de energia	57
Figura 19 – Matriz atual de combustíveis veiculares.....	59
Figura 20 – Composição do consumo do óleo diesel	60
Figura 21 – O processo químico de transesterificação.....	62
Figura 22 – O processo da transesterificação.....	63
Figura 23 – Características de alguns vegetais oleaginosos de potencial uso energético	66
Figura 24 – Evolução do marco regulatório.....	69
Figura 25 – Cadeia produtiva do biodiesel.....	71
Figura 26 – Simplificação da cadeia produtiva do biodiesel	72
Figura 27 – Localização das indústrias de esmagamento.....	76
Figura 28 – Infra-estrutura para a movimentação do petróleo, seus derivados e álcool etílico em 2004.	77
Figura 29 – Sistema simplificado de produção de biodiesel.....	78

Figura 30 – Processo de fabricação do biodiesel	79
Figura 31 – Cadeia de suprimentos de combustíveis	80
Figura 32 – Bases de distribuição de combustíveis.....	82
Figura 33 – Distribuição do biodiesel	83
Figura 34 – Localização dos fornecedores e dos clientes	85
Figura 35 – Simplificação do modelo	88
Figura 36 – Simplificação gráfica do modelo de transbordo	89
Figura 37 – Exemplo de arco que liga os nós.....	100

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Alternativas para a produção de biodiesel no Rio Grande do Sul.....	66
Tabela 2 – Saldo comercial de sementes e frutos oleaginosos selecionados, Brasil, 2002 (US\$FOB).....	67
Tabela 3 – Capacidade das esmagadoras de óleo de soja no Rio Grande do Sul.....	75
Tabela 4 – Projetos de usinas de biodiesel no Rio Grande do Sul.....	78
Tabela 5 – Capacidade de fornecimento de óleo de soja por “nós”.....	96
Tabela 6 – Escala de produção e investimento.....	98
Tabela 7 – Vendas de óleo diesel (m ³) no Rio Grande do Sul: 2000-2005.....	99
Tabela 8 – Perspectiva de demanda de biodiesel.....	99
Tabela 9 – Demanda das bases de distribuição para B2, B5 e B10.....	100
Tabela 10 – Fretes gerais para transporte ferroviário.....	101
Tabela 11 – Fluxo do insumo óleo de soja (ton) entre o Elo 1 e Elo 2 para B2.....	103
Tabela 12 – Fluxo de álcool entre o Elo 1 e Elo 2 para B2.....	103
Tabela 13 – Fluxo de biodiesel entre o Elo 2 e Elo 3 para B2.....	103
Tabela 14 – Fluxo de biodiesel entre o Elo 1 e Elo 2 para B5.....	104
Tabela 15 – Fluxo de biodiesel entre o Elo 2 e Elo 3 para B5.....	105
Tabela 16 – Fluxo de álcool entre o Elo 1 e Elo 2 para B5.....	105
Tabela 17 – Fluxo do insumo óleo de soja (ton) entre o Elo 1 e Elo 2 para B10.....	106
Tabela 18 – Fluxo do biodiesel entre o Elo 2 e Elo 3 para B10.....	106
Tabela 19 – Fluxo de álcool entre o Elo 1 e Elo 2 para B10.....	107
Tabela 20 – Fluxo do insumo óleo de soja (ton) entre o Elo 1 e Elo 2 para B5, adicionando um ponto de transbordo (Canoas).....	107
Tabela 21 – Fluxo do biodiesel entre o Elo 2 e Elo 3 para B5, adicionando um ponto de transbordo (Canoas).....	108
Tabela 22 – Fluxo do álcool entre o Elo 2 e Elo 3 para B5, adicionando um ponto de transbordo (Canoas).....	108
Tabela 23 – Projetos de plantas de biodiesel no Rio Grande do Sul.....	110

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA	15
1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA	16
1.3 DELIMITAÇÕES DA PESQUISA	16
1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	17
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1 PESQUISA OPERACIONAL	18
2.1.1 Processo de tomada de decisão	19
2.1.1.1 A abordagem científica e a tomada de decisão	20
2.1.2 Modelos	21
2.2 PROCESSO DE SOLUÇÃO DE PROBLEMAS	24
2.2.1 Definição do problema	25
2.2.2 Construção do modelo	25
2.2.2.1 Os componentes do modelo	26
2.2.2.2 Métodos de solução	27
2.2.2.3 Relações matemáticas em um modelo	28
2.2.3 Solução do modelo	29
2.2.4 Validação do modelo e teste de sensibilidade	31
2.2.5 Estabelecimento de controles	33
2.2.6 Implantação	33
2.3 DECISÃO NA ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO	33
2.3.1 Decisão de localização	34
2.3.2 Teoria da Localização	35
2.3.3 Modelos de programação de Fluxo de Rede	38
2.3.3.1 Terminologia dos problemas de Fluxo de Rede	39
2.3.3.2 Problemas de transporte	40
2.3.3.3 Problema de transbordo	43
2.3.4 Aplicação de modelos de localização em contextos agroalimentares	45
2.4 ESQUEMA ANALÍTICO PARA O PROBLEMA DE LOCALIZAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO	47
3 MÉTODO	51

4 O CONTEXTO ENERGÉTICO BRASILEIRO E INTRODUÇÃO DO BIODIESEL NO PAÍS	55
4.1 CONTEXTO ENERGÉTICO DO BRASIL	55
4.2 O ÓLEO DIESEL	59
4.3 EXPERIÊNCIA DO BRASIL EM COMBUSTÍVEIS DE BIOMASSA	61
4.4 O BIODIESEL	61
4.4.1 Matérias-primas para a produção do biodiesel	65
4.4.2 Introdução do biodiesel no Brasil – Lei 11.097/2005	68
5 CARACTERIZAÇÃO DA CADEIA DO BIODIESEL NO RIO GRANDE DO SUL	70
5.1 ELO FORNECEDOR	72
5.1.1 Indústria de esmagamento de soja	72
5.1.1.1 Capacidade e localização das indústrias processadoras de soja no Rio Grande do Sul	74
5.1.2 Usinas de álcool	76
5.2 ELO 2 – ELO PRODUTOR	78
5.3 ELO 3 – CLIENTE	80
5.3.1 Bases de distribuição	81
5.4 DISTRIBUIÇÃO DO BIODIESEL	82
6 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	85
7 CONSTRUÇÃO DO MODELO	87
7.1 MODELO MATEMÁTICO	90
7.1.1 Função objetivo	91
7.1.2 Restrições	92
7.1.3 Limitação da modelagem	94
8 TESTE DO MODELO E MENSURAÇÃO DOS PARÂMETROS	95
8.1 PARÂMETROS DO ELO 1	95
8.2 PARÂMETROS DO ELO 2	97
8.3 PARÂMETROS DO ELO 3	98
8.4 CUSTO DE TRANSPORTE	100
8.5 RESULTADO DO MODELO	102
8.5.1 Cenário 1	103
8.5.2 Cenário 2	104
8.5.3 Cenário 3	105
8.5.4 Cenário 4	107
9 CONSIDERAÇÕES FINAIS	109
9.1 LIMITAÇÕES DA PESQUISA E SUGESTÕES DE NOVAS PESQUISAS	111
REFERÊNCIAS	113
APÊNDICE A: ROTEIRO DE ENTREVISTAS UTILIZADO COM OS PESQUISADORES	119

1 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. Com o recente conflito entre Líbano e Israel, no Oriente Médio, região de maior produção de petróleo no mundo, o barril do petróleo voltou a subir, beirando a casa dos US\$ 80,00.

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.

O consumo per capita de energia vem crescendo em torno de 3% ao ano, no mundo, desde 1985 (PIRES, 2004). A substituição do carvão por derivados do petróleo contribui ainda mais para o aumento na demanda por petróleo. Nesse contexto, essa alta demanda provoca situações de escassez relativa e abre possibilidade para um possível desabastecimento futuro.

Com o aumento da demanda por petróleo e a escassez desse recurso não renovável, é fundamental o estudo de fontes alternativas, principalmente fontes renováveis e de menor impacto no ambiente. Graças aos avanços tecnológicos em diversas áreas do conhecimento, novas fontes de energia começam a ser pesquisadas como alternativas aos derivados do

petróleo. Grandes empresas petrolíferas do mundo, como a ExxonMobil, Shell e a Petrobras, já tornaram público seus interesses 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), etc. (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 substituir 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).

Conforme o gerente de qualidade da Ipiranga, em entrevista realizada, há quase um consenso que mesclas de diesel com biodiesel, adequadamente especificado, em teores até 20%, podem ser empregadas sem problemas operacionais ou de desempenho em motores convencionais, sem qualquer ajuste ou modificação. Em termos ambientais, a adoção do biodiesel, mesmo que de forma progressiva, ou seja, em adições de 2 a 5% no diesel de petróleo, resultará em uma redução significativa no padrão de emissões de materiais particulados, óxidos de enxofre e gases que contribuem para o efeito estufa (RAMOS et al., 2003).

Essa compatibilidade significa que o biodiesel pode participar das já existentes cadeias de suprimentos de combustíveis e ser distribuído pelos convencionais postos de gasolina. Por não demandar que ninguém reinvente o carro, o biodiesel apresenta uma relativa vantagem em relação às alternativas de energias renováveis.

Essa compatibilidade é a razão pela qual muitos países escolhem os biocombustíveis (tanto o biodiesel como o etanol) para reduzirem suas contas de importação de petróleo. A União Européia, por exemplo, deixa clara sua estratégia de utilização, até 2010, de, aproximadamente, 6% de biocombustíveis. Para isso, será preciso aumentar em torno de cinco vezes sua plantação de biomassa (girassol, soja, dendê, milho, palma, amendoim, etc.).

Surge, assim, uma grande oportunidade para países com potencial agrícola como o Brasil. 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).

O Brasil é referência mundial na utilização de biomassa como combustível. Na década iniciada em 1970, estimulado pela crise do petróleo, o Brasil criou um programa buscando uma nova fonte combustível com o objetivo de diminuir a dependência do petróleo e de desenvolver uma fonte renovável de energia. Foi, então, criado, em 1975, o Programa Nacional do Álcool – Proálcool que visava à substituição parcial do consumo de gasolina por etanol (álcool etílico), obtido a partir da cana-de-açúcar. Esse programa levou à queda da participação do petróleo e de seus derivados na matriz de 51% para 38%, entre 1978 e 1984 (PIRES, 2004). O Brasil foi um dos poucos países do mundo a conseguir uma penetração efetiva da biomassa em sua matriz energética.

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.

Conforme os dados do Balanço Energético Nacional (BEN), referente ao ano de 2004, (BRASIL, 2005-d), o diesel é a fonte de energia de maior consumo dos derivados de petróleo no Brasil, pois representa, aproximadamente, cerca de 39% do consumo dos derivados de petróleo. Esse alto consumo se explica pela opção do transporte rodoviário como principal meio em um país de dimensões continentais como o Brasil. O setor de transportes representa 78% do consumo total de diesel no país.

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 2008 (BRASIL, 2005-c).

Para que esse projeto não se transforme em uma ilusão demagógica, é imprescindível que se chame a atenção para o fato de que esta é uma atividade de fronteira tecnológica, pautada pela pesquisa de países avançados e por grandes companhias. Portanto, para a concretização do biodiesel, como alternativa para o diesel, é fundamental o investimento em pesquisas em todas as áreas relacionadas ao tema (Fig. 1).

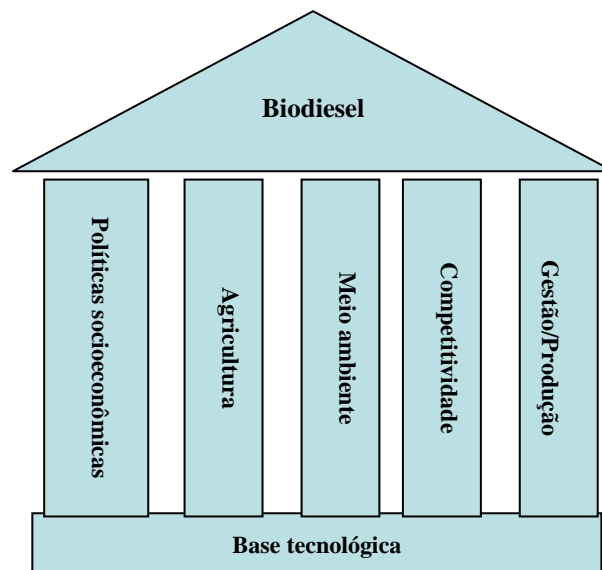


Figura 1 – Abrangência da problemática do Biodiesel

Fonte: Elaborada pelo autor

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 para agentes 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 perto 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?

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

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 Canepa (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.

Nesse contexto, surge uma dúvida, como foi salientado anteriormente: Qual é o melhor local para produzir o biodiesel: perto dos fornecedores (produção de óleo ou de etanol) ou perto dos mercados consumidores?

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.

Para tal, é preciso conhecer a estrutura de uma possível cadeia produtiva do biodiesel: identificando os custos de transportes da matéria-prima e do produto acabado, a localização das indústrias de insumos (álcool e óleo vegetal) e as suas capacidades para atender a uma possível demanda introduzida pelo biodiesel, a localização e a demanda dos mercados consumidores.

É importante ressaltar que a questão da localização deve ser analisada de região a região, em função das diferentes disposições das matérias-primas para a produção de biodiesel. 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.

1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Tendo em vista a problemática de pesquisa apresentada no item anterior, o objetivo central desta pesquisa 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.

Os objetivos específicos decorrentes do objetivo central são:

- a) identificar os “atores” da cadeia produtiva do biodiesel;
- b) identificar as variáveis envolvidas nos sistemas de produção e distribuição do biodiesel;
- c) modelar o problema de localização e distribuição do biodiesel, utilizando as técnicas da programação linear.

1.3 DELIMITAÇÕES DA PESQUISA

O tema biodiesel é complexo e abrangente, envolve questões ambientais, políticas, sociais, tecnológicas, econômicas e produtivas. O foco deste trabalho são os aspectos ligados à localização e distribuição do biodiesel que, por sua vez, afetam e são afetados pelos outros aspectos antes mencionados.

O trabalho será delimitado nas questões de localização e distribuição que compreendem os aspectos ligados às indústrias de óleos vegetais até os distribuidores de combustíveis, ou seja, o foco será a “parte” do meio da cadeia produtiva do biodiesel (Fig. 2).

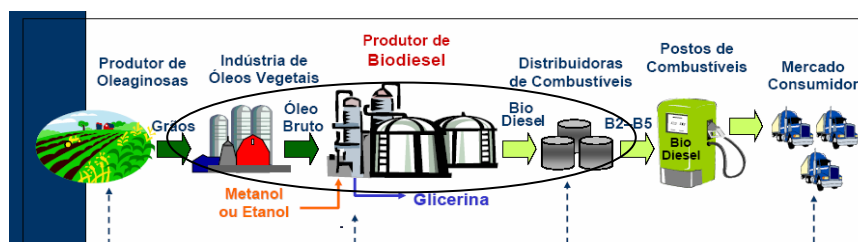


Figura 2 – Cadeia produtiva do biodiesel e foco da pesquisa.

Fonte: Adaptado da NAPPO (2005)

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Essa dissertação estrutura-se da seguinte forma: o capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica, abordando a disciplina Pesquisa Operacional e seus métodos de modelagem para solucionar problemas quanto às tomadas de decisão do mundo empresarial, mais especificamente, referentes aos problemas de localização. No capítulo 3, descreve-se a metodologia empregada para atingir o propósito desta pesquisa. Os capítulos 4 e 5 contextualizam o cenário no qual o biodiesel fará parte, dando um destaque para a cadeia produtiva da soja e dos combustíveis as quais influenciarão a dinâmica da cadeia produtiva do biodiesel. O problema e a construção do modelo estão nos capítulos 6 e 7, respectivamente. A aplicação teórica do modelo, no Estado do Rio Grande do Sul, é abordada no capítulo 8. Por fim, são apresentadas considerações finais e recomendações para futuras pesquisas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Tendo em vista que a proposição deste trabalho é desenvolver um modelo para auxiliar na decisão quanto à localização de fábricas de biodiesel e sua distribuição, este capítulo tem como objetivo revisar conteúdos referentes à disciplina Pesquisa Operacional, incluindo processos de tomada de decisão e de modelagem, da teoria da localização e dos modelos de transporte.

A teoria relatada a seguir relaciona-se com as disciplinas da Teoria da Decisão, Ciência Administrativa, Gestão das Operações, entre outros campos que estudam o processo de solução de problemas e de tomada de decisão nas organizações.

2.1 PESQUISA OPERACIONAL

A Pesquisa Operacional (PO) é um método científico de tomada de decisão. Foi, no entanto, durante a segunda guerra mundial que o termo “pesquisa operacional” foi utilizado, pela primeira vez, quando equipes interdisciplinares de cientistas procuraram desenvolver métodos para resolver determinados problemas de operações militares. O sucesso desse método motivou o mundo empresarial e acadêmico a utilizar essas técnicas para solução de problemas organizacionais (SHAMBLIN; STEVENS, 1979).

A Pesquisa Operacional apresenta um enfoque sistêmico, ou seja, valoriza o conhecimento científico de várias disciplinas e tem a concepção de que os problemas reais são representados por sistemas complexos que interagem com fatores internos e externos do ambiente (ANDRADE, 1989).

Outro aspecto importante da PO, facilitador do processo de tomada de decisão, é a utilização de modelos, pois permitem a “experimentação”, o que significa que uma decisão pode ser melhor avaliada e testada antes de ser implementada (ANDRADE, 1989).

O campo da Pesquisa Operacional surgiu com o propósito de resolver problemas reais. Ela começa descrevendo um sistema por intermédio de um modelo e, depois, manipula esse modelo para descobrir o melhor modo de operar o sistema (SHAMBLIN; STEVENS, 1979). Para Jensen e Bard (2003), a PO procura estudar um sistema ou uma organização com o objetivo de melhorar as suas operações. A utilização de modelos e técnicas matemáticas é apenas o meio e não o fim do estudo.

Embora o desenvolvimento de técnicas quantitativas para resolver complexos modelos matemáticos seja muito valioso e considere-se uma importante contribuição de acadêmicos e pesquisadores, para a Pesquisa Operacional o principal foco é a aplicação desses métodos (JENSEN; BARD, 2003).

Antes de entrar, detalhadamente, no processo de solução de problemas da PO, será realizada, a seguir, uma breve revisão sobre a tomada de decisão e a conceituação de modelo.

2.1.1 Processo de tomada de decisão

Tomar decisão sobre como planejar, organizar, dirigir e controlar as atividades são questões que todas as organizações enfrentam. Uma pessoa física pode analisar o problema e escolher a melhor alternativa de decisão de modo informal. Em uma organização, os problemas são muito mais amplos e complexos, envolvendo riscos e incertezas. O processo de decisão, em uma organização, conforme Shimizu (2001), deve ser estruturado e resolvido de maneira formal, detalhada, consistente e transparente.

Para Turban e Meredith (1994), decisão é a conclusão de um processo em que é escolhido um curso de ação entre duas ou mais alternativas para atingir determinado objetivo. Esse processo é chamado de tomada de decisão e é sinônimo de todo processo de gestão/administração. Por exemplo, o processo de planejamento envolve várias questões de decisão, tais quais: O que deve ser feito? Quando? Como? Onde? Por quem? Portanto, planejamento implica uma tomada de decisão.

Em geral, os processos de tomada de decisão consistem em quatro etapas principais (TURBAN; MEREDITH, 1994):

- 1ª) definição do problema;
- 2ª) busca de alternativas para resolver o problema;
- 3ª) avaliação das alternativas;
- 4ª) escolha de uma alternativa.

A tomada de decisão envolve uma situação problema na qual a organização se depara com alternativas para decisão. Se apenas uma solução se apresentar como viável, não há, em princípio, um problema de decisão. Todo o problema de decisão apresenta “dados”, ou seja, um conjunto de informações a partir das quais o problema deve ser analisado. A natureza e variedade dessas informações se modificam conforme o caso analisado.

Existem problemas quando há poucas informações e muitas dúvidas, e a solução depende muito da qualidade pessoal de quem efetua a decisão. Esses problemas chamam-se “problemas mal-estruturados”. Por outro lado, existem os problemas bem estruturados que se caracterizam por possuírem dados bem definidos, em geral numéricos, nos quais inexistem pesquisas sem respostas. Em geral, na prática, os problemas ficam em um ponto intermediário entre muito bem estruturado e muito mal-estruturado (MOREIRA, 1993).

2.1.1.1 A abordagem científica e a tomada de decisão

A abordagem científica é um processo racional, formalizado, e muitas descobertas científicas, desde Descartes, podem a ela ser creditadas. Consiste nos seguintes passos, segundo Turban e Meredith (1994):

- a) o problema para análise é definido, e as condições para observação são determinadas;
- b) observações são feitas sob diferentes condições para determinar o comportamento do sistema que contém o problema;
- c) baseando-se nas observações, uma hipótese é concebida, descrevendo como se relacionam os fatores envolvidos ou qual é a melhor solução para o problema;

- d) para testar a hipótese, um experimento é projetado;
- e) o experimento é executado e medidas são obtidas e registradas;
- f) o resultado do experimento é analisado, e a hipótese pode ser aceita ou rejeitada.

O processo de tomada de decisão é muito similar ao processo científico, conforme se pode visualizar na Figura 3:

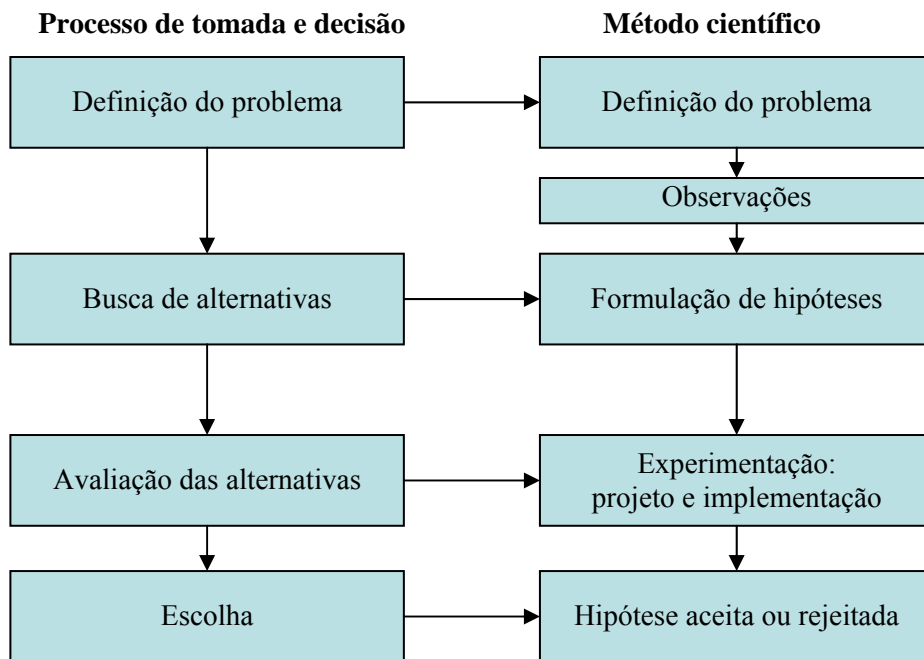


Figura 3 – Relação entre o processo de tomada de decisão com a abordagem científica

Fonte: Adaptado de TURBAN; MEREDITH (1994, p.19)

2.1.2 Modelos

Um modelo pode ser definido, segundo Pidd (p. 1998, p. 23), como: “[...] uma representação da realidade projetada para algum propósito definido”.

Em geral, a pesquisa operacional analisa os problemas de decisão por meio de modelos matemáticos que são representações simbólicas do problema em questão. O que se faz é procurar enquadrar o problema em um modelo já disponível e de utilidade comprovada.

Um problema pode ser visto de várias formas por distintas pessoas devido às diferentes percepções de realidade do mundo que cada indivíduo possui. Em outras palavras,

diferentes modelagens da realidade podem ser construídas para uma única realidade aparente. Outra consideração importante, a respeito de modelar a realidade, é o fato de aceitar que um modelo jamais possa estar completo, por duas razões (PIDD, 1998, p. 24):

- 1^a) se um modelo fosse um mapeamento completo de algo, então, ele apenas seria tão complexo quanto a coisa real;
- 2^a) a menos que se inclua o universo inteiro em um modelo, sempre haverá o risco de faltar algo.

Baseando-se nos argumentos apresentados, e somando-se ao fato de que, geralmente, constrói-se um modelo para melhorar algo ou resolver um problema, chega-se à seguinte definição: “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” (PIDD, 1998, p. 25).

Os benefícios da utilização de modelos, conforme Turban e Meredith (1994), para a tomada de decisão são:

- a) modelos possibilitam a compreensão do tempo; anos de operação podem ser simulados, em minutos ou segundos, em um computador;
- b) manipulação do modelo é muito mais fácil do que a manipulação de um sistema real;
- c) o custo de cometer erros, durante experimentos de tentativa e erro, é muito mais baixo quando feitos no modelo;
- d) o ambiente envolve muitas incertezas. O uso de modelos permite o cálculo de riscos num processo de tomada de decisão;
- e) o custo de modelar é muito mais baixo do que um experimento similar conduzido num sistema real;
- f) modelos realçam e reforçam o aprendizado;
- g) a utilização de modelos matemáticos permite uma rápida identificação e análise de uma grande e, muitas vezes, quase infinita, possibilidade de soluções.

Os modelos são, basicamente, simplificações e representações aproximadas de algum aspecto da realidade. Apesar de não serem 100% fidedignos da realidade, Pidd (1998) ressalta que eles não precisam ser exatos para serem úteis. O mesmo autor cita o exemplo das rotas de

metrô que são exibidas nas estações para o público. Esses mapas permitem que o leitor entenda as possíveis rotas por uma distorção deliberada da realidade. Portanto, os elementos necessários em um modelo dependerão do objetivo a que ele se destina.

Conforme Pidd (1998), as impressões do mundo são sempre parciais, tanto no sentido de não se vivenciar, quanto no de poder estar influenciado. Portanto, para se construir um modelo, devem-se coletar essas percepções mal definidas e implícitas e montá-las, de alguma forma suficientemente bem definida, para ser, pelo menos, interpretada e argumentada por outras pessoas.

Shimizu (2001, p. 39) classifica os vários tipos de modelo em:

- a) verbais: quando descritos e representados por palavras e sentenças. Exemplos: questionários, sistemas especialistas, etc.;
- b) físicos: quando representados por algum tipo de material ou *hardware*, alternando-se suas dimensões, formato e custo. Exemplos: maquete, protótipo;
- c) esquemáticos: quando representados por meio de gráficos, tabelas, diagramas ou árvores de decisão;
- d) matemáticos: quando representados por equações e valores numéricos ou valores da lógica simbólica. Exemplos: Programação Linear, Rede Neural, etc.

Dentre os diversos tipos de modelos, entretanto, os que mais interessam para essa pesquisa são os modelos matemáticos, pois podem descrever um problema de forma resumida, são prontamente computadorizados e facilmente manipulados para testar os diversos resultados. Conforme Moreira (1993), modelos matemáticos são aqueles em que a situação problema ou as propriedades de um objeto são representadas por um sistema de símbolos e relações matemáticas, como equações e inequações, passíveis de manipulação na busca de uma solução ou no estudo do comportamento do objeto sob certas condições.

Conforme Shimizu (2001, p. 39), um modelo matemático “pode ser visto como uma caixa preta que recebe as entradas (parâmetros, variáveis exógenas e decisões), e processa essas informações para produzir as saídas (variáveis endógenas ou resultados da decisão)”.

2.2 PROCESSO DE SOLUÇÃO DE PROBLEMAS

As decisões, na sociedade moderna, são, geralmente, feitas sob circunstâncias caracterizadas por conflitos de objetivos, ambiente instável, recursos limitados, incertezas, competição acirrada, etc. A PO é uma disciplina que visa a contribuir para o processo de tomada de decisão, neste ambiente complexo e turbulento. Portanto, o objetivo da pesquisa operacional é fornecer uma estrutura básica (*framework*) para a construção de modelos de problemas de decisão, providenciar a melhor solução e implementar tal solução para resolver o problema. Alguns campos da ciência são muito semelhantes com a PO tais como: ciência administrativa, ciência da decisão, gestão das operações e engenharia de sistemas, por exemplo (JENSEN; BARD, 2003).

Jensen e Bard (2003) chamam a metodologia de um estudo de PO de processo de solução de problemas (*problem-solving process*), composto pelos seguintes passos, conforme ilustra a Figura 4:

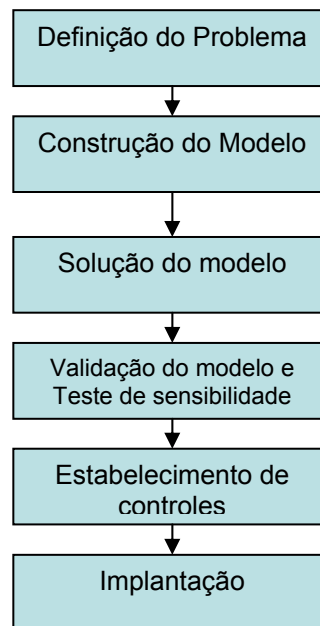


Figura 4 - Esquema do processo de solução de problemas

Fonte: Adaptado de JENSEN; BARD (2003)

A seguir, serão discutidas as principais etapas do processo de solução de problemas.

2.2.1 Definição do problema

A tomada de decisão tem início a partir da constatação de um problema que pode ser real ou abstrato, envolver operações atuais ou futuras e ser um esforço para melhorar a eficiência de uma operação ou a resposta a uma crise inesperada (JESEN; BARD, 2003).

Na formulação do problema, devem-se estabelecer, com clareza, os objetivos, os cursos alternativos de ações, as restrições, as suposições apropriadas, as descrições dos processos e os dados necessários. É essencial em PO que o problema, em consideração, seja claramente definido. É praticamente impossível obter uma resposta “certa” para um problema mal formulado (SHAMBLIM; STEVENS, 1979).

É nessa etapa que os limites do sistema em estudo devem ser identificados. Jensen e Bard (2003) alertam que as decisões, em geral, têm impactos que vão além do interesse imediato do tomador de decisão e, portanto, os limites devem abranger esses efeitos preliminares. Em geral, usa-se uma abordagem sistêmica para mostrar que a análise tem uma abrangência que vai além dos efeitos locais de uma ação, entretanto, todos os estudos têm limites que precisam estar bem definidos nesta etapa.

2.2.2 Construção do modelo

Modelar ou formular um problema envolve a concepção e a abstração de um problema para uma forma matemática. Nessa etapa, todas as variáveis relevantes são identificadas e é formulada uma equação descrevendo as relações entre as variáveis. Simplificações são feitas, quando necessário, por meio de um conjunto de suposições (TURBAN; MEREDITH, 1994).

A tarefa de modelar envolve uma série de atividades inter-relacionadas e metodologias. Conforme Turban e Meredith (1994), as mais importantes são:

- a) os componentes do modelo;
- b) métodos de solução;
- c) relações matemáticas.

2.2.2.1 Os componentes do modelo

Todos os modelos matemáticos são compostos por três componentes básicos: variáveis de resultado, variáveis de decisão e fatores não controláveis. Esses componentes são conectados por relações matemáticas (Fig. 5):

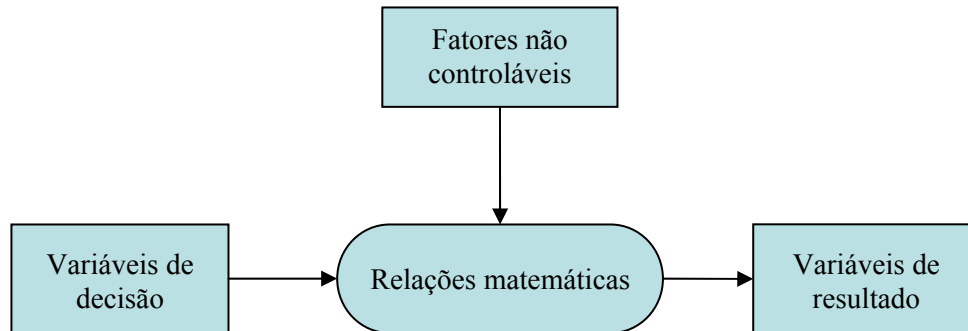


Figura 5 – Estrutura geral de um modelo

Fonte: TURBAN; MEREDITH (1994, p. 29)

a) Variáveis de resultado

As variáveis de resultado refletem a efetividade de um sistema e informam como foi a performance do sistema e os resultados. São variáveis dependentes, o que significa que, para que o evento representado por essa variável ocorra, outro evento deve ocorrer primeiro. Ou seja, as variáveis de resultado dependem dos eventos representados pelas variáveis de decisão e pelos fatores não controláveis. Elas também têm outros nomes (TURBAN; MEREDITH, 1994):

- saídas do sistema;
- medidas de performance;
- medidas de efetividade;
- resultados;
- objetivos.

b) Variáveis de decisão

As variáveis de decisão são os valores que devem ser determinados pelo modelo, de acordo com os objetivos e restrições do sistema. As variáveis de decisão são chamadas de “desconhecidas” e, matematicamente, classificadas como sendo independentes. O que se

procura é encontrar os melhores valores (ou satisfatórios) para as variáveis de decisão (TURBAN; MEREDITH, 1994).

c) Fatores não controláveis

Em todas as situações de decisão, existem fatores (variáveis, constantes e parâmetros) que afetam as variáveis de resultado, mas não estão sob o controle do tomador de decisão. Exemplos: taxa de atratividade, leis e regulamentações, impostos, preços dos fornecedores, etc. Essas variáveis pertencem ao ambiente e influenciam o processo de tomada de decisão (TURBAN; MEREDITH, 1994).

2.2.2.2 Métodos de solução

a) Modelos analíticos

Os modelos analíticos usam fórmulas matemáticas para derivar diretamente, em um passo, uma solução ótima ou predizer certo resultado. Os modelos analíticos são dedutivos, ao contrário dos modelos numéricos os quais são essencialmente indutivos (TURBAN; MEREDITH, 1994).

b) Modelos heurísticos

São modelos com procedimentos passo a passo ou regras que, em um número finito de passos, fornecem uma solução satisfatória. Essas regras são baseadas tanto em experimentos como em aspectos lógicos. São técnicas fáceis e rápidas de aplicar, mas com limitações. Em muitos casos, a heurística é o único meio econômico e prático para resolver problemas complexos (TURBAN; MEREDITH, 1994).

c) Modelos numéricos

Técnicas numéricas consistem em comparações de tentativa e erro de muitas soluções, tanto ótimas como não ótimas. Os modelos que geram soluções ótimas são aqueles baseados em enumeração completa e em algoritmos (TURBAN; MEREDITH, 1994).

d) Enumeração completa

Quando se verificam todas as possíveis soluções, então, está-se fazendo uma enumeração completa. Essa técnica é viável quando o número de alternativas é relativamente pequeno; do contrário, a abordagem é lenta ou mesmo impossível de aplicar (TURBAN; MEREDITH, 1994).

2.2.2.3 Relações matemáticas em um modelo

Os componentes de um modelo matemático são relacionados por um conjunto de expressões matemáticas como as equações ou inequações. As relações matemáticas em um modelo, em geral, incluem duas principais partes: a função objetivo e as restrições (TURBAN; MEREDITH, 1994):

a) Função objetivo:

A função objetivo expressa a relação das variáveis dependentes do modelo com as variáveis independentes, conforme ilustra o exemplo abaixo:

$$Z = 10x_1 + 5x_2,$$

onde Z simboliza a receita total da produção (variável dependente); x_1 e x_2 são as quantidades de dois produtos que são produzidos e vendidos (variáveis de decisão) e 10 e 5 são os preços dos produtos definidos pelo mercado (fatores não controláveis). O objetivo é maximizar a receita e, geralmente, é limitado por restrições.

As restrições representam as limitações e as necessidades impostas pelo sistema de produção devido a leis, competição, escassez de recursos, tecnologia, capacidade produtiva, entre outros fatores. Por exemplo, uma restrição de demanda imposta pelo mercado poderia ser:

$$x_1 + x_2 \leq 80$$

ou seja, a quantidade que pode ser vendida dos produtos x_1 e x_2 deve ser igual ou menor a 80 unidades. A Figura 6 ilustra esse modelo de produção:

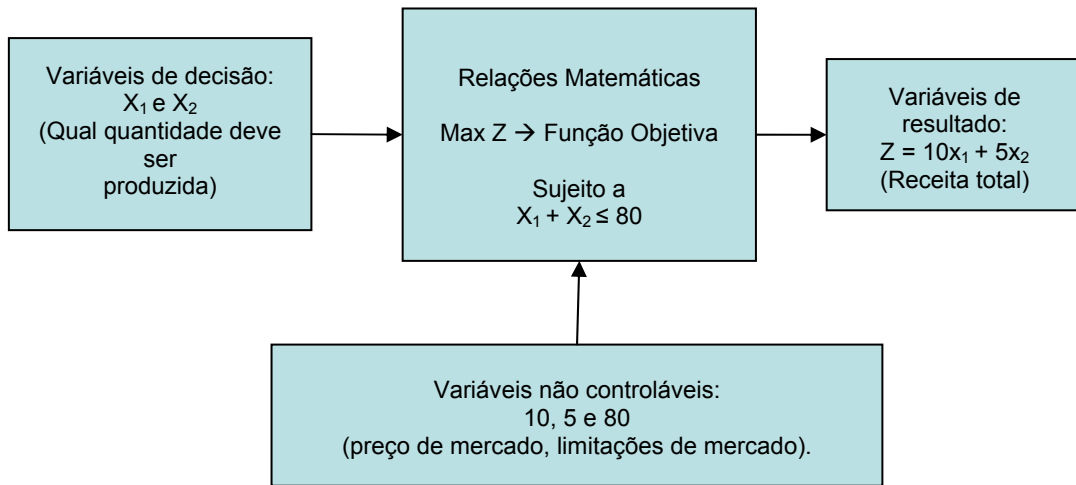


Figura 6 – Simplificação de um modelo de produção

Fonte: Adaptado de TURBAN; MEREDITH (1994)

2.2.3 Solução do modelo

Conforme Turban e Meredith (1994), solução para um modelo significa encontrar um específico conjunto de valores para as variáveis de decisão que resultam num nível desejado de resultado. Os procedimentos para solucionar problemas padrões de Pesquisa Operacional estão bem desenvolvidos e já existem programas de computadores com códigos para resolver a maioria dos problemas. Porém, o importante para o usuário desses programas é entender alguns conceitos e metodologias envolvidas nesta etapa.

Alguns métodos podem prescrever soluções ótimas, enquanto outros apenas avaliam soluções candidatas e, assim, necessitam de uma abordagem de tentativa e erro para achar a alternativa de ação mais aceitável (JESEN; BARD, 2003).

Primeiramente, é importante entender o critério de escolha. O tomador de decisão está procurando a melhor solução ou uma solução aceitável? Entre vários critérios de escolha, Turban e Meredith (1994) destacam os seguintes:

a) Otimização

Uma alternativa ótima é aquela que demonstra ser a melhor entre todas as possíveis alternativas. “A otimização prescreve o curso de ação que o tomador de decisão deve seguir”

(TURBAN; MERETHID, 1994, p. 35). Portanto, modelos que buscam a otimização são referidos como modelos normativos e estão baseados nos seguintes pressupostos:

- o Homem é um ser econômico cujo objetivo é maximizar suas metas pessoais, ou seja, o tomador de decisão é racional;
- em uma situação de tomada de decisão, todas as alternativas de ações e suas conseqüências são conhecidas.

Nos termos da pesquisa operacional, a otimização pode ser alcançada em dois caminhos básicos: 1º) atingindo o maior nível (maximização) de um objetivo realizado por um conjunto de recursos; 2º) achando a alternativa de menor custo (minimização) que vai atender à necessidade de um determinado objetivo.

b) Subotimização

Pela definição, otimizar requer que o tomador de decisão considere o impacto de cada alternativa de decisão em toda organização ou sistema em questão. Uma decisão feita em uma área (departamento, sistema, região, etc.) irá afetar outras áreas. Por exemplo, uma decisão de baixar o preço de determinado produto para aumentar as vendas poderá afetar o departamento de produção que deverá aumentar sua produtividade. Porém, muitas vezes, é inviável resolver um problema de pesquisa operacional, levando em conta todos os efeitos de cada alternativa de solução num sistema (organização, departamento, área) inteiro. Portanto, para fins práticos, é necessário “fechar” o sistema definindo limites. Essa abordagem é chamada de subotimização e é muito utilizada por ser mais rápida e fácil de modelar, rendendo resultados aceitáveis. Quando uma solução é posta em prática, pode-se verificar se ela produziu efeitos negativos nos demais sistemas (áreas, departamentos, organizações). Não constatando efeitos negativos significativos, então, pode-se considerar que tal solução é ótima sob um ponto de vista sistêmico (TURBAN; MERETHID, 1994).

c) Solução satisfatória

O modelo da solução satisfatória é baseado no modelo da racionalidade limitada, no qual, segundo Herbert Simon (apud MOTTA; VASCONCELOS, 2004), é muito difícil que um tomador de decisões tenha acesso e possa mensurar todas as possibilidades de ação, tendo em vista a impossibilidade física de ter acesso a todas as informações e aos altos custos

envolvidos. Portanto, a maioria das decisões humanas, tanto individuais como organizacionais, envolvem certa aceitação para o estabelecimento de uma decisão satisfatória.

Nos problemas de pesquisa operacional, isso acontece, pois, em geral, a otimização não é atingível devido ao custo e tempo requerido. Nesse tipo de solução, o tomador de decisão estabelece um nível desejado de solução para seu objetivo e procura pela alternativa até que encontra aquela adequada ao seu objetivo.

Os modelos da Pesquisa Operacional que utilizam o critério satisfatório são classificados como descritivos, pois descrevem sistemas ou fenômenos como eles são. Modelos descritivos são usualmente aplicados em problemas de decisão, quando os modelos normativos não podem ser aplicados, e são usados para prever o comportamento de um sistema sob vários pressupostos (TURBAN; MERETHID, 1994).

Nessa etapa, é importante conhecer o tipo de soluções que os modelos de PO geram, as quais podem ser classificadas em possíveis ou não possíveis, ótimas e não ótimas e únicas ou múltiplas (TURBAN; MERETHID, 1994):

- possíveis ou não possíveis: uma solução é dita possível quando ela satisfaz todas as restrições e requisitos do problema. Violando uma ou mais restrições, a solução se torna “não possível”;
- ótima ou não ótima: uma solução ótima é a melhor de todas as possíveis soluções. Para uma solução ser dita “ótima”, é necessário verificar todas as soluções possíveis e obter a confirmação de que a que foi proposta é a melhor. Uma solução possível que não seja ótima é dita “não ótima”;
- única ou múltipla solução: quando só existe uma única ótima solução, esta é denominada de solução única. Quando existe mais de uma solução ótima, então, existem múltiplas soluções para um problema.

2.2.4 Validação do modelo e teste de sensibilidade

Após um modelo ser construído, é importante saber o quanto ele representa a realidade. Será que as predições feitas no modelo são exatas? O modelo representa o comportamento do sistema sob reais circunstâncias? O modelo tem relevância para o

problema original? Soluções obtidas por estudos quantitativos podem não ser previsíveis, mas, muitas vezes, é comum não surpreenderem.

Uma maneira de testar o modelo é tentar colocar outros dados e ver se a solução se assemelha com o comportamento histórico do sistema. É muito comum, também, a utilização de testes de sensibilidade, ou seja, usar o modelo sob uma variedade de conjunturas, modificando o conjunto de valores dos parâmetros (JENSEN; BARD, 2003).

A análise de sensibilidade tem a função de ajudar o tomador de decisão, quando existe incerteza quanto à acuracidade de suas informações. Na análise de sensibilidade, as informações e dados são alterados para verificar que efeitos surtirão na solução. Em outras palavras, a análise de sensibilidade tem o objetivo de determinar o efeito de variações nas variáveis independentes sobre as variáveis dependentes (TURBAN; MEREDITH, 1994). A análise de sensibilidade também tem o objetivo de determinar o efeito de variação dos “fatores não-controláveis” sobre a função objetivo e as variáveis dependentes.

Conforme Turban e Meredith (1994), o que se busca com a análise de sensibilidade é a resposta às seguintes questões:

- a) Que mudança pode ocorrer, numa certa variável independente, sem que haja uma mudança na solução proposta?
- b) Qual a magnitude da mudança ocorrida na solução resultante de uma mudança nas variáveis independentes?
- c) Quais das variáveis independentes são mais sensíveis? Quais das variáveis independentes são menos sensíveis?
- d) A solução proposta é muito sensível? Ou seja, a solução inclui variáveis sensíveis que, quando ocorrem pequenas alterações, poderão alterar a solução, fazendo com que ela não seja mais ótima?

É importante ter a noção de que a solução do modelo é apenas uma proposta que serve como guia para a tomada de decisão. O tomador de decisão pode incorporar outros valores intangíveis e práticos que não foram incorporados no modelo no momento da decisão.

2.2.5 Estabelecimento de controles

Depois que o modelo e sua solução foram considerados aceitáveis, estabelecem-se procedimentos para solucionar o problema de forma rotineira, o que pode ser feito definindo um conjunto de regras, descrição de tarefas e regulamentos, para que uma pessoa ou um programa de computador possa solucionar um problema a partir de um conjunto de dados e informações.

O problema é que o mundo é dinâmico, ou seja, as situações mudam, tornando o modelo e sua solução inapropriados. Sendo assim, é importante que se criem formas de controle que indiquem, imediatamente, as mudanças no sistema, de modo que o modelo possa ser revisto e/ou atualizado sistematicamente (SHAMBLIN; STEVENS, 1979).

2.2.6 Implantação

Os resultados gerados por um modelo representam uma solução para um simplificado cenário da realidade. Implementar, talvez, seja a tarefa mais difícil da pesquisa operacional, por implicar mudanças, seja numa organização, num sistema ou num departamento. Jensen e Bard (2003) recomendam que todos os envolvidos no problema devem participar do processo ou, pelo menos, serem consultados durante as várias etapas, incluindo a formulação do problema, teste da solução e do estabelecimento de procedimentos de controle.

Shamblin e Stevens (1979) ponderam que as etapas do estudo de PO não são rígidas e, freqüentemente, devem ser modificadas. Além disso, há muita inter-relação entre as várias fases. O estudo de PO deve ser visto de maneira criativa e engenhosa.

2.3 DECISÃO NA ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO

A Administração da Produção é uma das áreas funcionais que utiliza o conceito sistêmico e a análise quantitativa para analisar e tomar decisões sobre os problemas de produção. Conforme Shimizu (2001), as seguintes decisões estão relacionadas aos sistemas que formam a Administração da Produção:

- a) previsão e planejamento a longo prazo sobre a capacidade de produção;
- b) projeto do produto e planejamento do processo;
- c) projeto e medida do trabalho;
- d) localização da fábrica;
- f) *layout* ou arranjo físico da fábrica.

Como o tema desse trabalho é a localização de fábricas de biodiesel, tratar-se-á, a seguir, a questão da localização sob o enfoque da Pesquisa Operacional.

2.3.1 Decisão de localização

As decisões de localização são questões estratégicas e fazem parte do processo de planejamento de qualquer negócio, principalmente, se a empresa for uma indústria. Conforme Moreira (1993, p.175), “localizar significa determinar o local onde será a base das operações, onde serão fabricados os produtos ou prestados os serviços, e/ou onde se fará a administração do empreendimento”.

Definir pontos fixos para as instalações de plantas, ao longo da cadeia produtiva, é uma questão importante de decisão que dá formato, estrutura e forma ao sistema logístico inteiro. Lacerda (2000) salienta que as decisões de localização são de suma importância para as empresas, pois envolvem altos investimentos e têm profundos impactos nos custos logísticos. Conforme Ballou (2001, p. 379), “as decisões de localização incluem a determinação do número, da localização e do tamanho das instalações a serem usadas”. Essas instalações incluem pontos nodais na rede, como plantas, portos, fornecedores, armazéns, filiais de varejo e centros de serviços. As instalações representam pontos na rede logística onde os produtos param, temporariamente, no seu caminho até os consumidores finais.

Muitas variáveis devem ser levadas em consideração no momento da escolha do local para a instalação de uma empresa. As particularidades que as empresas apresentam, individualmente, fazem com que o problema da localização seja específico para cada uma. Para algumas empresas, por exemplo, é mais interessante uma instalação perto do mercado (supermercados, hospitais, lojas de departamento), enquanto que outras são atraídas pela proximidade das matérias-primas e/ou dos componentes (metalúrgica, fábrica de cimento).

Outras variáveis, como custo e qualificação da mão-de-obra, também influenciam as decisões de localização (MOREIRA, 1993).

Nenhum procedimento pode garantir a escolha do melhor local, no entanto, conforme ressalta Monks (1987), evitar um local desastroso pode ser melhor que achar um local ideal. Em geral, segundo o mesmo autor, as firmas conduzem, primeiramente, uma análise quantitativa para estabelecer a viabilidade dos locais alternativos e, depois, prosseguem com uma revisão completa dos fatores qualitativos (menos tangíveis).

Como será utilizado, neste trabalho, um modelo quantitativo para resolver o problema de localização das plantas de biodiesel no Rio Grande do Sul, a próxima seção abordará a teoria dos problemas de localização.

2.3.2 Teoria da Localização

Muitas teorias iniciais sobre localização foram formuladas por economistas e geógrafos, tais como Johann Von Thünen (1826, apud LUCAS; CHHAJED, 2004), Alfred Weber (1909, apud GALVÃO, 1981), Edgar Hoover (1957, apud BALLOU, 2001), Melvin Greenhut (1956, apud BALLOU, 2001), e Walter Isard (1960, apud BALLOU, 2001). Um tema comum, em todos esses trabalhos iniciais, é a importância dos custos de transporte na determinação da localização (BALLOU, 2001).

Um dos primeiros pesquisadores a lançar os fundamentos da teoria da localização foi Von Thünen, no ano de 1826 (apud LUCAS; CHHAJED, 2004). Em seu livro, *Isolated state with respect to agriculture and national economy*, o autor investiga o impacto da distância do mercado no uso das terras agrícolas.

Foi, no entanto, em 1909, que a teoria da localização foi formalmente introduzida por Alfred Weber (apud GALVÃO, 1981) que considerou o problema de localizar uma única instalação com o objetivo de minimizar os custos de transporte entre três pontos fixos (uma demanda e duas fontes).

Weber reconheceu o papel que as matérias-primas desempenham no processo de produção e como elas afetam a localização. Em linhas gerais, identificou três tipos de processo de produção que direcionam a localização das empresas para as proximidades das fontes de matérias-primas ou dos mercados consumidores (BALLOU, 2001):

- 1º) perdedores de peso: o peso é perdido, no processo, devido a subprodutos não utilizáveis (o peso da matéria-prima é maior que o peso dos produtos acabados). Para evitar embarques de subprodutos para o mercado, tais processos são retirados das fontes de matérias-primas, de forma a minimizar os custos de transporte.
- 2º) ganhadores de peso: ocorre, geralmente, quando as ubiqüidades – que incluem as matérias-primas disponíveis em toda a parte, como ar e água – participam no processo. Portanto, para minimizar os custos de transportar tais ubiqüidades, as instalações devem se localizar o mais próximo possível dos mercados.
- 3º) nem ganhadores, nem perdedores de peso: são os processo que não alteram o peso do produto, ou seja, o produto acabado é a soma dos pesos das partes e componentes montados. Portanto, a localização não está limitada às fontes de matérias-primas nem aos mercados.

Com o surgimento da programação linear, em meados da década iniciada em 1940, em especial o modelo de transporte, tornou-se possível estudar problemas mais complexos, com várias regiões de demanda, bem como com várias regiões de oferta de matéria-prima (LOPES; CAIXETA, 2000).

Em geral, os problemas de localização de instalações procuram definir a melhor maneira de suprir uma população de uma dada área geográfica a partir de centros de distribuição ou fábricas. O que se pretende determinar, nesses problemas, é o número e a localização de centros que possam fornecer, da forma mais econômica, produtos a um conjunto de clientes de localização conhecida. A escolha sobre a melhor localização de tais instalações deve ser feita de modo a otimizar uma função objetivo bem definida, obedecendo às restrições específicas do problema em questão (GALVÃO, 1981).

Podem-se classificar os problemas de localização em duas categorias principais:

- 1ª) localização no plano com espaço de solução infinito (modelo contínuo): Nessa classe, o espaço é considerado como um fenômeno contínuo. O número de possibilidades de localizar novas instalações é infinito. Em geral, a distância entre dois pontos é Euclidiana (LUCAS; CHHAJED, 2004). Os problemas de localização de mais de uma instalação com espaço de soluções infinito são, comumente, denominados problemas de Weber de centros múltiplos. Esse tipo de problema foi investigado por Cooper (1967), Morris (1975) e Juarez e Romero (1986), entre outros;

2^a) localização no plano com espaço de solução finito (modelo discreto): Nessa classe de problemas, o número de possibilidades para novas instalações é finito. A interação dos custos entre os pares de instalações pode derivar de distâncias planares, distâncias de rede ou outro tipo de custo de transporte proporcional à distância. Em geral, a modelagem de problemas discretos envolve a utilização de programação inteira mista (*mixed-integer programs*) e possibilita a incorporação de muitas suposições realistas que não poderiam ser incluídas nos modelos planares (infinitos) ou de rede (LUCAS; CHHAJED, 2004). Em linhas gerais, conforme Galvão (1981), o problema pode ser definido como: dados clientes de localização conhecida, cada um dos quais com demanda conhecida, e um conjunto de pontos alternativos para a localização das instalações (fábricas, centros de distribuição, etc.), determinar o número de instalações a construir e sua localização, bem como que clientes devem ser servidos a partir de cada instalação. O objetivo é, então, minimizar a soma dos custos fixos de construção das instalações, mais os custos variáveis de transporte – o problema também pode ser formulado como um problema de maximização de lucro –, podendo ou não haver limites de capacidade. Quando há limites de capacidade, o problema é dito capacitado; se tais limites inexistem, então, denomina-se problema não-capacitado ou problema simples. Aplicações de modelos discretos podem ser encontradas em Stollsteimer (1963) e Krarup e Pruzan (1983);

Dentro da categoria de localização no plano com espaço de solução finito, os modelos de rede para a localização são uma importante contribuição para aplicações práticas. Nos trabalhos iniciais em localização, o foco eram modelos para localização, no plano, com espaço de solução infinito. A localização em redes passou a receber mais atenção a partir da publicação dos resultados de Hakimi (1964) que considerou o problema geral de localizar uma ou mais instalações (facility), em uma rede, para minimizar tanto a soma das distâncias ou a máxima distância entre as possíveis instalações e os pontos da rede (BRANDEAU; CHIU, 1989).

Nessa classe de modelos, é considerada a existência de uma rede de transportes, como um sistema de rodovias e/ou ruas, na qual a viagem ocorre. As distâncias representadas, nesses modelos, são, geralmente, mais acuradas do que nos modelos planares, porém é preciso maior precisão de coleta de dados, pois é necessário mensurar a distância de cada segmento da rede (LUCAS; CHHAJED, 2004).

Na localização em redes, o espaço de soluções fica restrito aos arcos e vértices da rede, e as distâncias são medidas ao longo dos arcos. Nos problemas para os quais os resultados de Hakimi são válidos (localização ótima dos centros nos vértice da rede), a localização em redes é um caso especial de localização no plano, com espaço de soluções finito (GALVÃO, 1981).

Um importante tipo de problemas de redes são os de transporte/transbordo (LUCAS; CHHAJED, 2004). No contexto agroalimentar, pode-se destacar a contribuição de King e Logan (1964) que desenvolveram uma metodologia para determinar a localização, número e tamanho ótimo de abatedouros de bovinos para o estado da Califórnia, Estados Unidos. Baseados no trabalho de Orden (1956), King e Logan modificaram o modelo básico de transporte para possibilitar que ocorra em qualquer seqüência de pontos, em vez de ir das zonas de excesso (*surplus*) para as regiões deficitárias. O problema foi reformulado pela especificação de que cada ponto de produção e consumo pudesse ser, também, um ponto de transporte ou transbordo (*transshipment*) (LUCAS; CHHAJED, 2004). Assim, os autores puderam determinar o fluxo, simultaneamente, dos produtos primários até as indústrias processadoras, e destas para os mercados consumidores. Extensões do problema de rede podem ser encontradas em Hurt e Tramel (1965) e Toft et al. (1970).

2.3.3 Modelos de programação de Fluxo de Rede

Devido à importância dos modelos de rede para o desenvolvimento de modelos de localização, será feita uma breve revisão sobre os modelos de programação de fluxo de rede dos quais o modelo de transporte/transbordo faz parte.

Uma rede é um conjunto de nós ligados por um conjunto de arcos, como um sistema de estradas ligando as principais cidades. Nos modelos de rede, considera-se que os arcos carregam fluxo, e todo esse fluxo que entra em cada nó deve ser igual ao total de fluxo que sai de cada nó. Um problema de otimização em problemas de rede é atribuir quais os fluxos que se conectarão a quais arcos, de modo a minimizar o custo total dos fluxos. Esse é um problema de programação de fluxo de rede (*network flow programming* – NFP) e tem um modelo de programação linear (JENSEN; BARD, 2003).

NFP são modelos importantes, pois muitas situações da realidade podem ser visualizadas como problemas de redes. O modelo de rede pode ser representado como um

simples gráfico que possibilita ao analista perceber, rapidamente, a essência do problema. Alguns problemas clássicos da Pesquisa Operacional que podem ser modelados como NFP incluem problemas de atribuição, caminho mais curto, fluxo máximo, problema do fluxo de custo mínimo e de transporte/transbordo.

2.3.3.1 Terminologia dos problemas de fluxo de rede

Em geral, utiliza-se a seguinte terminologia para problemas de fluxo de rede (JENSEN; BARD, 2003):

- a) nós e arcos: As redes consistem em nós e arcos. Cada nó é apresentado com um círculo representando um aspecto do problema, como uma localização física, um trabalhador individual, ou um ponto no tempo. Arcos são segmentos de linhas que, geralmente, passam de um nó de origem até um nó final, embora, em casos de fluxo externo, um arco pode incidir em apenas um nó. O número de nós é denotado por m e o número de arcos por n ;
- b) fluxo do arco: O fluxo é associado à rede, entrando e saindo nos nós e passando através dos arcos. O fluxo no arco k é x_k . Quando um fluxo é conservado em um nó, todo o fluxo que entra no nó deve ser igual ao fluxo que sai do nó. Os fluxos dos arcos são as variáveis de decisão para os modelos de fluxo de rede;
- c) limite inferior e superior do fluxo: O fluxo é limitado em um arco por limites superiores e inferiores. Muitas vezes, o termo “capacidade” se refere ao limite superior do fluxo. Pode-se utilizar l_k e u_k para os limites inferiores e superiores do arco k , respectivamente;
- d) custo: O critério para otimização é o custo. Associado a cada arco k está o custo por unidade do fluxo c_k . Valores negativos para c_k significam rendimentos;
- e) ganho: O arco pode ganhar uma variável g_k que multiplica o fluxo no início do arco, modificando o valor no final do arco. Assim fluxo x_k sai de um nó inicial e passa por um arco chegando a outro nó final com fluxo $g_k x_k$. Ganhos menores que 1 significam que houve perda no fluxo, como, por exemplo, evaporação. Ganhos maiores que 1 significam que houve crescimento no fluxo;

- f) fluxo externo. O fluxo externo em um nó i , denotado como d_i , é o fluxo que deve entrar no nó i vindo das fontes, ou sair do nó i para os destinos fora da rede. Um fluxo positivo entra no nó e um fluxo negativo sai do nó;
- g) fluxo praticável: Quando a atribuição dos fluxos para os arcos satisfazem a conservação do fluxo para cada nó e está dentro dos limites de cada arco, o fluxo é dito praticável (*feasible flow*);
- h) fluxo ótimo: É o fluxo praticável que minimiza a soma dos custos totais dos arcos.

2.3.3.2 Problemas de transporte

O problema de transporte faz parte do conjunto do *network flow programming* (NFP - programação de fluxo de rede). Em geral, a solução desse problema procura determinar o carregamento (distribuição) de uma rede de transporte que liga várias fontes a diversos destinos, de forma que o custo total de transporte seja mínimo (ANDRADE, 1989).

Os componentes de um típico problema de transporte são demonstrados na Figura 7. Esse problema lida com um conjunto de fontes ou fornecedores, rotuladas como F_1 , F_2 e F_3 , que fornecem certo produto, e um conjunto de destinos ou demandas, rotulados como D_1 , D_2 e D_3 , onde os produtos são demandados. Os custos de transportes estão especificados na matriz 3x3, e os dados de suprimento e demanda estão apresentados na parte de fora da matriz (JENSEN; BARD, 2003).

	D ₁	D ₂	D ₃	Fonte
F ₁	3	1	M	5
F ₂	4	2	4	7
F ₃	M	3	3	3
Demanda	7	3	5	

Figura 7 – Matriz do problema de transporte

Fonte: Adaptado de JENSEN; BARD (2003)

Em geral, para resolver os problemas de transporte, é utilizada uma matriz, ou tabela, na qual as linhas representam as fontes, e as colunas, os destinos. O algoritmo para resolver o problema é baseado na representação da matriz. O custo c_{ij} de transportar um produto, de uma fonte i para uma destinação j , é indicado pela entrada apropriada na matriz. Se o transporte entre uma determinada fonte e um determinado destino não é possível, então um M é inserido na matriz, representando um alto custo. Isso desencoraja a utilização daquela célula para solucionar o problema.

Os dados das fontes e das demandas são mostrados ao longo das margens da matriz e são rotulados, simbolicamente, como F_i e D_j , onde $i=1, \dots, m$ e $j=1, \dots, n$. Nos modelos clássicos de transporte, o pressuposto do balanceamento está presente, ou seja, o total das fontes deve ser igual à demanda total. Quando os dados no problema não estiverem balanceados, então, será necessário acrescentar uma demanda ou fonte fictícia para resolver o problema.

O modelo do transporte é apresentado na Figura 8. As fontes são representadas por nódulos à esquerda, e as demandas por nódulos à direita. As rotas de transportes possíveis são as retas representadas como arcos, enquanto que as rotas não possíveis estão omitidas.

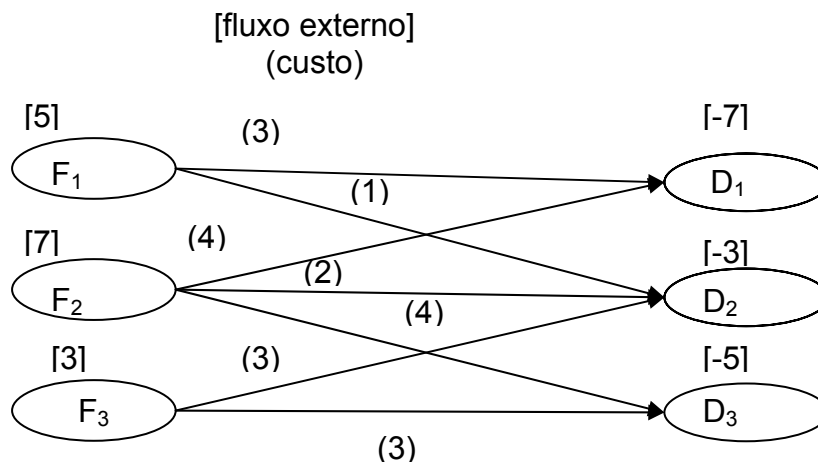


Figura 8 – Modelo do fluxo de rede do problema de transporte

Fonte: JESEN; BARD (2003, p. 150)

Conforme Jensen e Bard (2003), variações no problema clássico de transporte podem ser facilmente adaptadas no modelo NFP. Se os arcos têm capacidade finita, podem ser colocadas restrições de capacidade máxima em cada arco. Se o suprimento representa matéria-prima que é transformada em produtos nas fontes, e a demanda está em unidade de produto, fatores de ganho podem ser utilizados para representar a eficiência da transformação em cada fonte.

A solução ótima para esse exemplo é mostrada na Figura 9, na qual as entradas da matriz correspondem ao fluxo, em vez dos custos de transporte. Verifica-se que cinco arcos têm fluxos positivos. O custo mínimo associado a esses valores é $z = 46$.

	D1	D2	D3	Fonte/suprim
F1	2	3	0	5
F2	5	0	2	7
F3	0	0	3	3

Figura 9 – Solução ótima, $z = 46$

Fonte: JESEN; BARD (2003, p. 150)

Para formular o problema de transporte como um problema de programação linear, considera-se x_{ij} como o fluxo da fonte i para a destinação j e c_{ij} como o custo de transportar unidades da fonte i para o ponto de demanda j . O objetivo é minimizar o custo total de transporte (JESEN; BARD, 2003):

$$\text{Min } \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

Esta função está sujeita às seguintes restrições:

1º) o suprimento de cada fonte deve ser usado:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = f_i, i = 1, \dots, m \quad (1)$$

2º) a demanda de cada destino deve ser atendida:

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = d_j, j = 1, \dots, n \quad (2)$$

3º) as células de fluxo devem ser não-negativas:

$$x_{ij} \geq 0, i = 1, \dots, m \text{ e } j = 1, \dots, n. \quad (3)$$

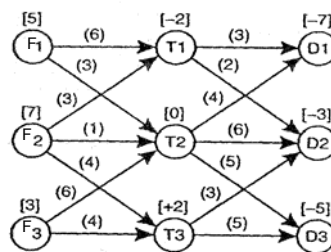
2.3.3.3 Problema de transbordo

Uma importante extensão do modelo clássico de transporte inclui a introdução de nós, por exemplo, armazém - fábrica, que podem agir como ponto de transbordo. Tais locais podem ser, ou não, pontos de suprimento ou demanda. Por exemplo, o transbordo ocorre, freqüentemente, no sistema de distribuição de cadeias nacionais de lojas de departamento. Tais companhias têm, geralmente, depósitos estaduais que remetem para depósitos regionais que, por sua vez, enviam para as lojas. Nesse exemplo, os depósitos regionais servem como pontos de transbordo.

O modelo de transbordo é uma ferramenta útil para uma companhia decidir sobre o número e os locais ótimos de seus depósitos, uma vez que a análise de redes produz um plano de rotas de mínimo custo para qualquer configuração específica de depósitos (WAGNER, 1986).

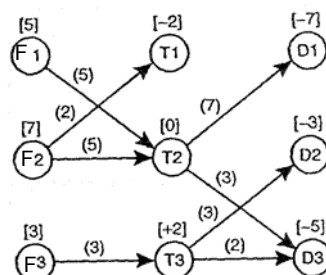
O problema de transbordo é um modelo de rede que não é bipartite. O modelo tem nós intermediários com necessidades de demanda ou suprimento não negativos e com arcos entre os pares de recursos ou de demanda. Um exemplo com três fontes (F_i), três pontos de transbordo (T_k) e três destinos (D_j), é mostrado na Figura 10 (JENSEN; BARD, 2003).

[Fluxo]; (Custo)



a. Modelo de Rede

[Fluxo externo]; (fluxo)



b. Solução do modelo, $z=100$

Figura 10 – Problema de transbordo

Fonte: JENSEN; BARD (2003, p.157)

Para tornar viável a resolução de um problema de transbordo, a fim de que ele fique equivalente ao problema clássico de transporte, é necessário fazer algumas transformações. O modelo modificado será “bipartite”: Primeiramente, será assumido que existem m pontos puros de suprimento, n pontos puros de demanda e p pontos de transbordo (JENSEN; BARD, 2003). Para um problema de rede, um ponto puro de suprimento deveria ter apenas arcos saindo, enquanto que um ponto puro de demanda apenas arcos entrando.

Considera-se, então, f_i ser a quantidade total de fontes (suprimentos) disponíveis para o problema (ex: $f_i = \sum_{i=1}^{m+p} F_i$) e t_k ser o estoque de rede posicionado no ponto de transbordo k para $k=1, \dots, p$. Se o estoque é suprido no nó (ponto) k , então t_k é positivo. Se o estoque é demandado no nó k , então t_k é negativo. No exemplo, $m=n=p=3$, com $f_i=17$.

- Passo 1: Se necessário, adiciona-se um ponto artificial de demanda ou fonte para balancear o problema: demanda deve ser igual as fontes. Transporte para/ou proveniente de um ponto artificial terá custo de transporte igual a zero.
- Passo 2: Constrói-se uma tabela de transporte com $m + p$ linhas – uma para cada ponto de suprimento e de transbordo, e $n + p$ colunas – uma para cada ponto de demanda e transbordo. Cada ponto puro de fonte i terá o suprimento igual ao seu valor original f_i , e cada ponto puro de demanda também terá valor igual ao seu valor original d_j . Cada ponto de transbordo k , no entanto, terá valor de suprimento igual à $f_k = t_k + f_i$ e demanda igual à $d_k = f_i$.

Na construção da tabela, no passo 2, quando não é possível efetuar um transporte de um ponto até outro se atribui um alto custo M . Para facilitar a modelagem, é permitido o transporte de um ponto de transbordo até o mesmo e atribuído valor 0 ao custo de transporte unitário, ou seja, inclui-se x_{kk} no modelo, e confere-se c_{kk} igual a zero para $k=1, \dots, p$. A transformação do modelo para o exemplo é mostrada na Figura 11, e a solução na Figura 12.

	D ₁	D ₂	D ₃	T ₁	T ₂	T ₃	Fonte
F ₁	M	M	M	6	3	M	5
F ₂	M	M	M	3	1	4	7
F ₃	M	M	M	M	6	4	3
T ₁	3	2	M	0	M	M	15
T ₂	4	6	5	M	0	M	17
T ₃	M	3	5	M	M	0	19
Demanda	7	3	5	17	17	17	

Figura 11 – Representação do problema de transbordo como modelo de transporte

Fonte: JENSEN; BARD (2003, p.158)

	D ₁	D ₂	D ₃	T ₁	T ₂	T ₃	Fonte
F ₁	0	0	0	0	5	0	5
F ₂	0	0	0	2	5	0	7
F ₃	0	0	0	0	0	3	3
T ₁	0	0	0	15	0	0	15
T ₂	7	0	3	0	7	0	17
T ₃	0	3	2	0	0	14	19
Demanda	7	3	5	17	17	17	

Figura 12 – Solução do modelo de transporte, z=100

Fonte: JENSEN; BARD (2003, p.158)

As variáveis de decisão x_{kk} correspondem ao transporte fictício. Para cada ponto de transbordo que tem uma quantidade não-negativa para ser suprida ($t_k \geq 0$), a diferença da rede entre a quantidade demandada ($d_k = f_i$) e o transporte fictício x_{kk} representa a quantidade de transbordo. O mesmo vale para cada ponto de transbordo k que tem quantidade negativa ($t_k < 0$), indicando o número de unidade demandada. A diferença da rede entre a quantidade suprida ($f_k = d_k + f_i$) e o transporte fictício x_{kk} representa a quantidade de transbordo. Como a variável fictícia de transporte x_{kk} tem $c_{kk} = 0$, seu valor não contribui para os custos totais de transporte.

Em síntese, para converter o problema de transbordo para o modelo clássico de transporte, foi introduzido f_i , que pode ser visto como um estoque fictício amortecedor para cada nó k . Como s_i foi introduzido em f_k e d_k , a soma de todos s_i permanece igual à soma de todos os d_i ; portanto o balanceamento é mantido. O total de estoque transportado, através do ponto k , é: $f_i - x_{kk}$, se $t_k \geq 0$; e $t_k + f_i - x_{kk}$, se $t_k < 0$.

2.3.4 Aplicação de modelos de localização em contextos agroalimentares

Existem, atualmente, muitas pesquisas publicadas sobre a aplicação de modelos de localização 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 agroalimentares.

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, inclui 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, assim, 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.

Von Oppen e Scott (1976) utilizaram o modelo de equilíbrio espacial para localização de plantas processadoras de soja na Índia. O modelo incorporou importantes funções econômicas como transporte de insumos e produtos, custos médios, ofertas e demandas regionais. Conforme os autores, as indústrias privadas seguiram os padrões computados pelo modelo para as instalações de novas fábricas.

Klingman et al. (1976) utilizaram o modelo de redes para examinar o problema de localização de plantas da indústria de processamento de algodão nos estados americanos do Novo México e do Texas. O modelo indicou as usinas que deveriam ser utilizadas, tendo em vista os custos de transporte, a capacidade das usinas e a sazonalidade do produto.

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.

Baseado nesses estudos publicados em conceituados periódicos, foi desenvolvido, no capítulo 7, um modelo de localização para indicar os melhores locais para instalação de plantas de biodiesel no Rio Grande do Sul, a quantidade de fábricas e a melhor distribuição de óleo de soja e biodiesel para atender a uma demanda específica.

2.4 ESQUEMA ANALÍTICO PARA O PROBLEMA DE LOCALIZAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO

Após fazer uma revisão sobre os métodos de pesquisa operacional e problema de transporte, nessa seção, faz-se uma síntese da base teórica para modelar um problema de localização e distribuição do biodiesel. Como foi visto na seção anterior, em geral, os modelos de pesquisa operacional têm por objetivo maximizar o lucro ou minimizar o custo de uma operação, de um sistema de produção, de um processo, etc.

Como o problema deste estudo é definir os locais para instalar plantas de biodiesel, assim como uma estrutura de distribuição, os modelos de fluxo de rede parecem ser adequados para resolver o problema.

Uma rede é um conjunto de nós ligados por um conjunto de arcos. Os nós, portanto, podem representar fornecedores, indústrias e clientes; os arcos podem representar as estradas ou distâncias entre fornecedores, indústria e clientes. Esses arcos carregam um fluxo, por exemplo: óleo de soja, etanol, biodiesel.

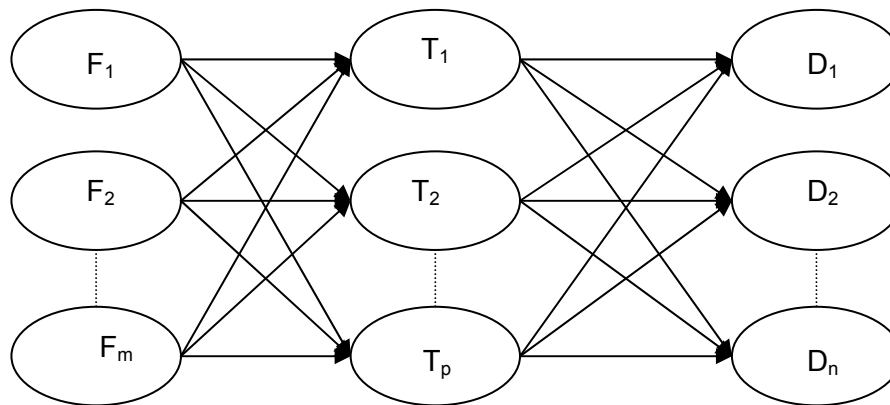


Figura 13 – Representação gráfica do problema de transbordo

Fonte: Adaptado de JENSEN; BARD (2003)

Otimizar um problema de rede significa atribuir quais fluxos conectarão a quais arcos, de modo a minimizar o custo total dos fluxos.

Dentre os problemas de fluxo de rede, os problemas de transbordo (Ver Fig. 13), extensão do problema clássico de transporte, são os mais compatíveis para a situação

problemática deste estudo. Em geral, os problemas de transbordo procuram determinar o carregamento (distribuição) de uma rede de transporte que liga várias fontes a distintos pontos intermediários (pontos de transbordo), e estes a vários destinos, de forma que o custo de transporte seja mínimo.

Neste estudo, o critério para a escolha do local dos pontos intermediários e o padrão de distribuição entre os nós do sistema será o custo de transporte que, na Figura 13, é representado pelo custo de carregar fluxo em cada arco.

Para colocar a questão da localização na lógica desse modelo, deve-se entender que os pontos intermediários (pontos de transbordo) representam as regiões potenciais para instalar fábricas. A solução do modelo determinará o carregamento (distribuição) de cada arco, de modo a minimizar o custo total de transporte. Portanto, quando não houver carregamento para um determinado ponto intermediário (T_k), significa que aquele local não é recomendado para instalar uma fábrica.

Conforme foi visto na seção anterior, esse problema pode ser formulado como um problema de programação linear. Considera-se x_{ik} como o fluxo do nó fornecedor i para o nó de transbordo k , e x_{kj} como o fluxo do nó de transbordo k para o nó do mercado consumidor j (nó de demanda). O custo de transportar unidades de fornecedor i para o nó de transbordo k é c_{ik} , e o custo de transportar unidades do nó de transbordo para o mercado consumidor é c_{kj} . O objetivo é minimizar o custo de transporte.

As variáveis de decisão do problema são os fluxos transportados pelos arcos entre os nós do sistema (fornecedor, transbordo, cliente). Essas variáveis de decisão serão afetadas por parâmetros como a capacidade e localização dos fornecedores, demanda e localização dos consumidores e o custo de transporte. Esses parâmetros são fatores não controláveis, pertencem ao ambiente onde o problema se encontra e influenciam o resultado do problema. A Figura 14 ilustra as relações lógicas do modelo:

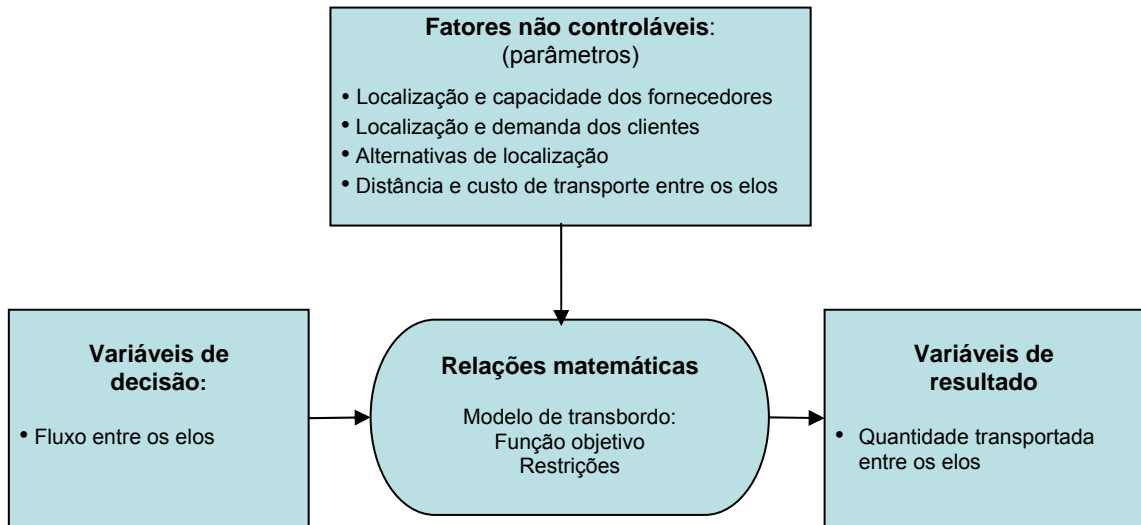


Figura 14 – Representação do modelo

Fonte: Adaptado de TURBAN; MEREDITH (1994)

Quando as variáveis de resultado indicam um fluxo (quantidade de insumos) entrando e saindo de um ponto de transbordo (local potencial para instalar a fábrica), isso significa que, naquele ponto (local), é recomendada a instalação de uma fábrica de biodiesel, pois os custos de transporte serão menores que nas outras alternativas. Entretanto, para evitar que o modelo distribua fluxos relativamente pequenos para diversos pontos de transbordo, foi adicionado ao modelo o custo u de instalação de uma usina, ou seja, a cada designação de fluxo para um nó de transbordo incorrerá um custo de instalação de uma usina. A variável b , é uma variável binária $(0,1)$ indicando que, quando um fluxo for designado para um nó k , então, a variável binária será 1 , adicionando o custo de instalação de uma usina para este nó k .

$$\text{Min } \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^p c_{ik} x_{ik} + \sum_{k=1}^p \sum_{j=1}^n c_{kj} x_{kj} + \sum_{k=1}^p u_k b_k$$

Essa função objetivo está sujeita às seguintes restrições:

1^a) o fluxo entre o fornecedor i e o nó de transbordo k deve respeitar a capacidade f_i de oferta de cada nó fornecedor:

$$\sum_{k=1}^p x_{ik} \leq f_i, \text{ para } i=1, \dots, m;$$

2ª) a demanda d_j , de cada nó mercado consumidor j , deve ser atendida:

$$\sum_{k=1}^p x_{kj} \geq d_j, \text{ para } j=1, \dots, n;$$

3ª) o fluxo que entra nos nós de transbordo k deve ser igual ao que sai.

$$\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^p x_{ik} = \sum_{k=1}^p \sum_{j=1}^n x_{kj}.$$

3 MÉTODO

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 (JESEN; 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:

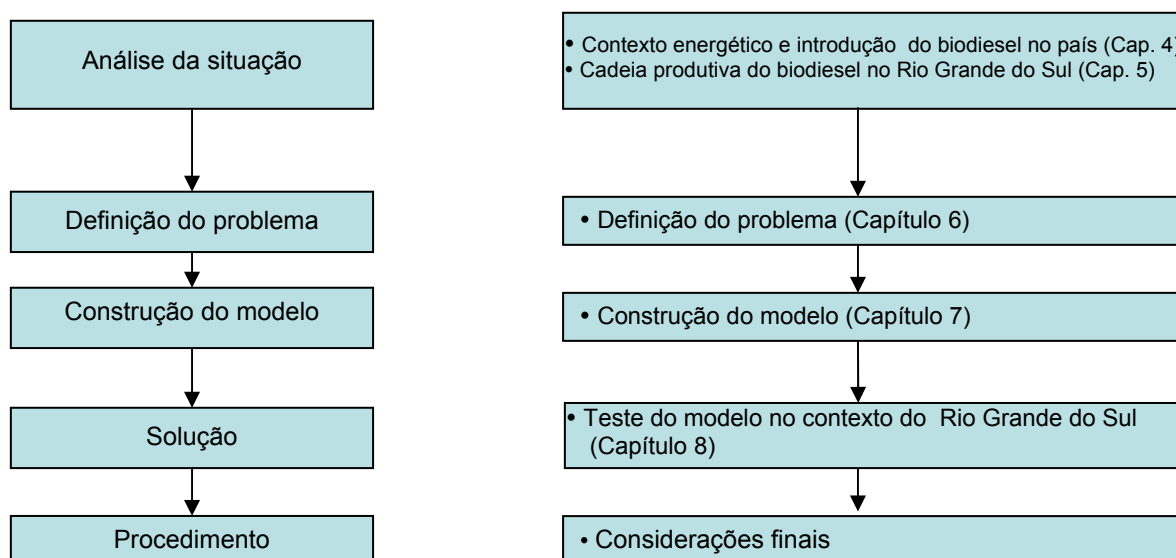


Figura 15 – Estrutura da pesquisa x o processo de solução de problemas

Fonte: Adaptado de TURBAN; MEREDITH (1994)

a) Etapa 1: Análise da situação

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 a 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; o Prof. Dr. Argimiro Resende Secchi, Departamento de Engenharia Química; 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 e eventos realizados com a temática do biodiesel, envolvendo as seguintes questões:

- a) Como funcionará a cadeia do biodiesel no Rio Grande do Sul?
- b) Quais são as fontes de óleos indicadas para a produção do biodiesel no Rio Grande do Sul?
- c) Qual é a capacidade e a localização das indústrias de óleos no Rio Grande do Sul?
- d) Qual é a demanda prevista para o biodiesel?
- e) Onde estão sendo construídas as indústrias de biodiesel?
- f) Quais são os custos de produção do biodiesel?
- g) Existe compatibilidade com o diesel?
- h) Como será feita a distribuição do biodiesel no Rio Grande do Sul?

Com base nessa investigação, foi possível aprofundar os conhecimentos sobre a problemática do biodiesel e projetar uma possível estrutura de uma futura cadeia produtiva do biodiesel no Estado do Rio Grande do Sul.

b) Etapa 2: Definição do problema

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

etapa de definição do problema constitui-se, entre outros, da identificação dos seguintes elementos:

- objetivos: minimização de custos de transportes para atender a uma demanda determinada de biodiesel;
- restrições: capacidade das indústrias de esmagamento de óleo de soja, capacidade das usinas de biodiesel;
- entidades: indústrias de esmagamento de soja, centros distribuidores de álcool, bases de distribuição de combustíveis, usinas de biodiesel;
- variáveis de decisão: quantidade de biodiesel a ser transportado entre um fábrica de biodiesel até uma base de distribuição, quantidade de álcool a ser distribuído entre um centro coletor de álcool a uma usina de biodiesel, quantidade de óleo de soja a ser distribuído entre uma indústria de esmagamento de soja até uma usina de biodiesel;
- parâmetros: custos de transporte, capacidade das indústrias de esmagamento, demanda dos bases de distribuição de combustíveis.

c) Etapa 3: Construção do modelo

Nesta etapa, o problema deve ser 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 local de localização;
- implementação computacional do modelo.

Em síntese, o modelo que será desenvolvido na seção 8 irá definir os melhores locais para instalar plantas de biodiesel, tendo em vista a minimização dos custos de transporte e indicará o melhor fluxo (distribuição) de movimentação dos insumos e produtos ao longo do sistema (fornecedor-produtor-cliente). A Figura 16 ilustra a estrutura do modelo:

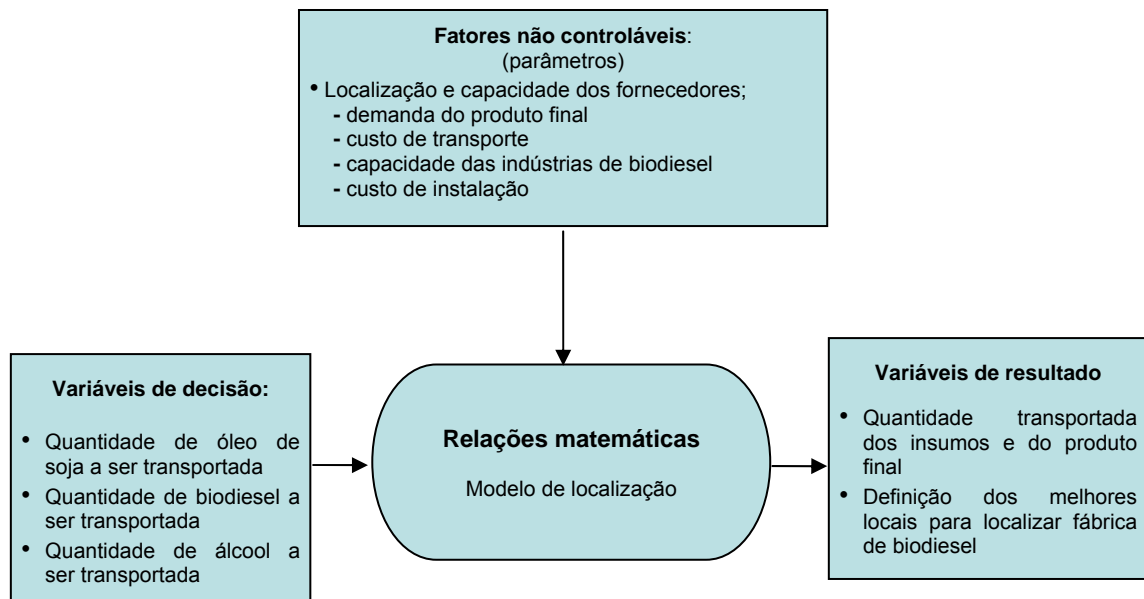


Figura 16 – Estrutura lógica do modelo

Fonte: Adaptado de TURBAN; MEREDITH (1994)

d) Etapa 4: 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 solução mais aceitável, por meio de uma abordagem de tentativa e erro. Um modelo que é impossível de resolver pode ter sido formulado de maneira errônea ou sobrecarregado de detalhes. 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) apresenta códigos para resolver a maioria dos problemas de Pesquisa Operacional. Jesen 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 quatro cenários.

4 O CONTEXTO ENERGÉTICO BRASILEIRO E INTRODUÇÃO DO BIODIESEL NO PAÍS

Nesta seção, será contextualizado o atual cenário energético brasileiro, no qual as fontes renováveis de energia já vêm sendo utilizadas há algumas décadas pelo Brasil. É neste cenário que surge o biodiesel, combustível renovável obtido a partir de óleos vegetais que promete ser uma promissora alternativa ao diesel de petróleo.

4.1 CONTEXTO ENERGÉTICO DO BRASIL

As fontes de energia utilizadas pela humanidade podem ser divididas em dois grandes grupos: 1º) fontes não renováveis, energia nuclear e os combustíveis fósseis (petróleo, carvão mineral, gás natural) cujas reservas são finitas e geram resíduos prejudiciais ao meio ambiente; e 2º) fontes renováveis, como a energia solar, eólica, biomassa, cuja utilização adequada tem menor impacto ambiental se comparadas com as fontes não renováveis.

No Brasil, 43,8% da oferta interna de energia têm origem em fontes renováveis, enquanto que, no mundo, essa taxa é de 13,6% e, nos países desenvolvidos, é de apenas 6%. Dessa participação da energia renovável, 14,6% correspondem à geração hidráulica e 29,2% à biomassa. Os 56,2% restantes da oferta interna de energia provêm de fontes fósseis e outras, conforme se pode observar na Figura 17.

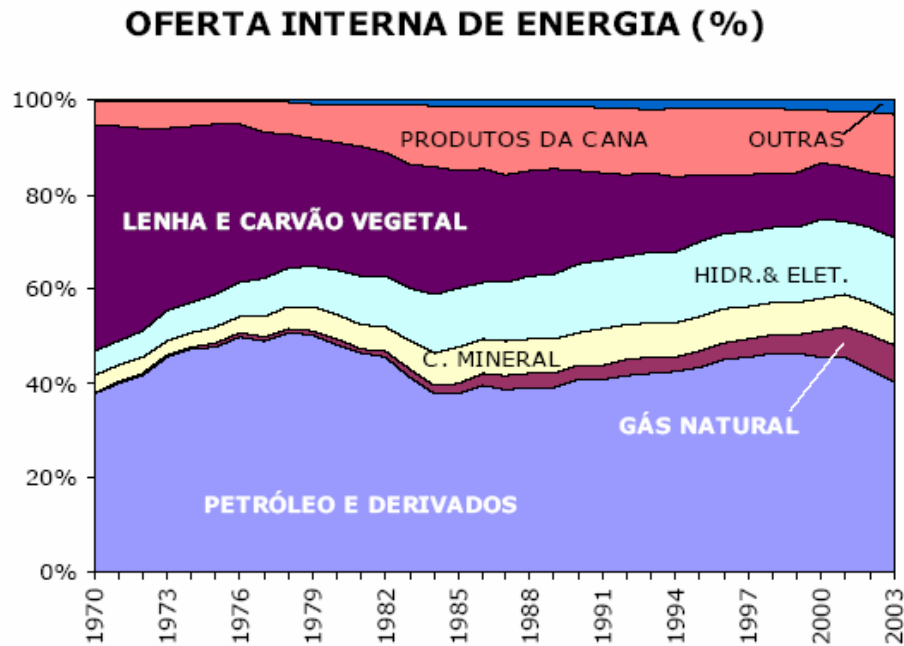


Figura 17 – Oferta interna de energia no Brasil

Fonte: Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2005-d)

Essa estrutura, bastante particular do Brasil, resulta do grande desenvolvimento do parque gerador de energia hidrelétrica, desde a década iniciada em 1950 e de políticas públicas adotadas após a segunda crise do petróleo, ocorrida em 1979. Essas políticas visavam à redução do consumo de combustíveis oriundos de fontes fósseis e dos custos correspondentes à sua importação, à época, responsáveis por quase 50% das importações totais do país (BRASIL, 2005-d).

A indústria de energia brasileira abastece 89% do consumo nacional. Os 11% restantes são importados (petróleo, carvão mineral, gás natural e energia elétrica). Na década iniciada em 1970, a dependência externa de energia foi crescente (Fig. 18), passando de 28% para 46% das necessidades globais. Os dados de 2003 mostram uma redução desse nível para perto de 10%. Em termos da dependência do petróleo, a diminuição foi ainda mais significativa: cerca de 85% em 1979, para 4,3%, em 2003 (BRASIL, 2005-d).

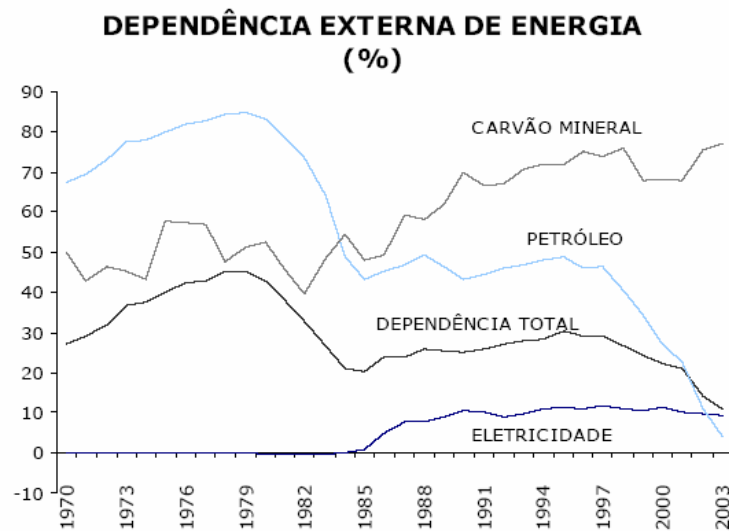


Figura 18 – Dependência externa de energia

Fonte: Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2005-d)

No período de 1979 a 1985, notam-se significativas mudanças na estrutura da oferta de energia, resultantes das políticas adotadas, como o Proálcool que visava a substituir parte da gasolina utilizada na frota nacional de veículos de passageiros (álcool hidratado em veículos com motores movidos a álcool) por álcool etílico. O álcool, ainda, seria utilizado como aditivo à gasolina (álcool anidro), tornando menos poluente a sua combustão (BRASIL, 2005-d).

Nos dias de hoje, a indústria do petróleo, no Brasil, vive uma de suas fases mais importantes desde a fundação da Petrobras, há, aproximadamente, cinquenta anos. Nos anos 90, o Brasil produziu, em média, 65% do petróleo que consumia. Atualmente, a produção nacional atingiu a auto-suficiência, com a entrada, em operação, da plataforma P-50, na Bacia de Campos (Rio de Janeiro), no dia 21 de abril de 2006 (GUANDALINI; BORSATO, 2006). Isso se deve a vultosos investimentos em prospecção e exploração que permitiram à Petrobras a aplicação de tecnologia pioneira no mundo de extração de petróleo em águas profundas, com lâminas de água de mais de 1000 metros (BRASIL, 2005-d). Porém, deve-se ressaltar que a auto-suficiência foi influenciada pelo baixo crescimento econômico do país nos últimos anos e pela diversificação da matriz energética, com o aumento da utilização do gás natural e do álcool combustível. Entre 2000 e 2005, o consumo de derivados de petróleo caiu em média, 0,4% ao ano, reflexo tanto do baixo crescimento econômico e do maior uso de fontes alternativas (GUANDALINI; BORSATO, 2006).

No cenário internacional, o setor do petróleo é afetado, constantemente, por crises ligadas a fatores aparentemente passageiros: guerras, sanções comerciais, formação de cartéis, etc., no entanto, o que mais preocupa o setor é a questão da escassez dessa fonte não-renovável.

Discussões sobre o tema vêm ganhando espaço, nas empresas e nas universidades, e já estão produzindo mudanças, ainda que sutis, na vida das pessoas. Países como Japão, Alemanha e o próprio Brasil já estudam medidas para reduzir o consumo do petróleo. Adição do álcool à gasolina, do biodiesel ao diesel e investimentos em redes de gás natural são algumas medidas que já estão sendo tomadas em diversos países (PIRES, 2004).

Alguns países estudam proibir a instalação de novas refinarias. Gigantes do setor petrolífero estão se reestruturando para operar com novas fontes energéticas. Isso não significa o fim da era do petróleo, mas a perspectiva de uma era em que o petróleo não reine de forma absoluta, como fez durante todo o século XX. O fato é que ficará, cada vez mais cara, a exploração do petróleo e maiores serão as resistências ambientais impostas pela sociedade e pelo próprio meio-ambiente, sem falar nas alternativas realmente promissoras que surgem, como é o caso do biodiesel, objeto dessa dissertação.

Atualmente, a busca por fontes renováveis vem ganhando destaque no mundo empresarial e acadêmico e nas esferas públicas em nível mundial. Conforme Cánepa (2004), há dois fatores fundamentais que motivam o interesse na substituição dos combustíveis fósseis:

- 1º) os combustíveis fósseis constituem fontes esgotáveis de energia e suas reservas estão concentradas em áreas de grandes conflitos internacionais, tornando crítica a situação de dependência externa de tais produtos.
- 2º) a queima de combustíveis fósseis é a principal causa das emissões de gases do efeito estufa, em especial de CO₂, contribuindo para o aquecimento global.

Antes de entrar nas questões mais específicas do biodiesel, é importante contextualizar o diesel na economia brasileira, pois este é o principal concorrente do biodiesel.

4.2 O ÓLEO DIESEL

O óleo diesel é o derivado de petróleo mais consumido no Brasil (Fig. 19), sendo utilizado em motores de combustão interna e ignição por compressão, por exemplo, os motores de caminhões e ônibus. A Petrobras atende à maior parte da demanda de óleo diesel no país, seja com produção própria ou importação. O consumo brasileiro se deve, basicamente, ao setor de transporte, principalmente, o rodoviário (PETROBRAS, 2006)

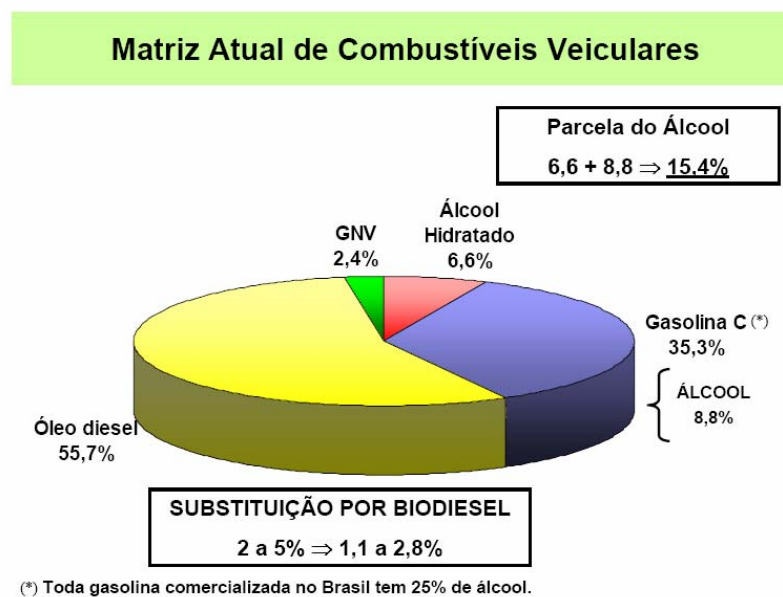


Figura 19 – Matriz atual de combustíveis veiculares

Fonte: GOMIDE (2005)

Em 2004, o Brasil gastou, com importações, dada a não suficiência interna de produção do óleo diesel, aproximadamente, US\$ 826 milhões, em dólares correntes (ANP, 2005). Estima-se que a diminuição de importações com petróleo e derivados, proveniente da mistura de biodiesel a 2% no óleo diesel (B2), geraria uma economia em divisas de US\$ 160 milhões/ano, enquanto que para a mistura de biodiesel, a 5% no óleo diesel (B5), haveria uma economia de US\$ 400 milhões/ano (ANP, 2005).

O óleo diesel, no Brasil, é consumido em três setores principais (Fig 20): transporte rodoviário (75%), agropecuário (16%) e a geração de energia elétrica (5%). No setor rodoviário, o diesel é consumido, basicamente, pelos veículos de transporte coletivo e de

carga. Isso se deve ao fato de que, logo após a primeira crise do petróleo, foi considerado “combustível social”, ganhando subsídios e sendo estabelecido para ele um menor preço por unidade de energia. É uma política que continua nos dias de hoje. Essa vantagem, por sua vez, era ainda reforçada pelo maior rendimento dos motores do ciclo diesel comparados com os do ciclo otto (gasolina, mistura carburante, álcool hidratado e gás natural). O resultado foi uma migração de veículos pesados inteiramente para o ciclo diesel (ALVIM, 2001).

COMPOSIÇÃO DO CONSUMO DO ÓLEO DIESEL (%)

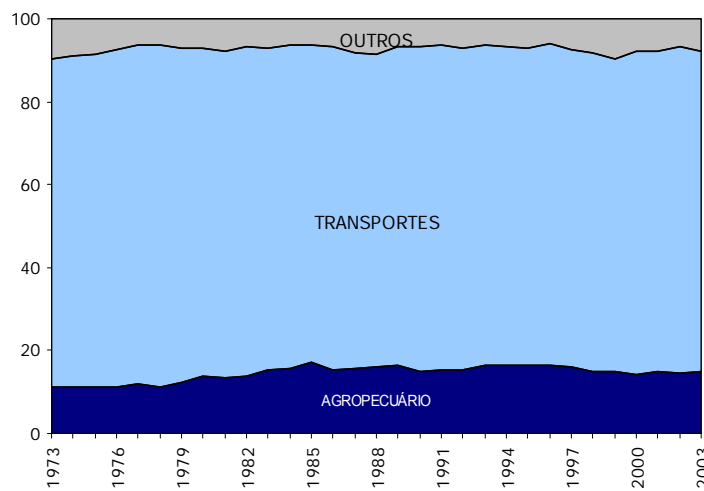


Figura 20 – Composição do consumo do óleo diesel

Fonte: Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2005-d)

Plá (2002), partindo da previsão de demanda de óleo diesel para 2006 de 45 milhões de metros cúbicos, sugere que as importações de diesel poderiam ser substituídas pelo biodiesel, produzido a partir do óleo de soja. O autor ainda acrescenta: “Se esse óleo (de soja), em vez de ser exportado, fosse destinado a produzir combustível, poder-se-ia poupar um volume importante de divisas, ao reduzir as importações de diesel convencional” (PLA, 2002, p. 184).

A utilização de biomassa, como fonte para combustíveis, não é algo novo no Brasil. A seguir, será relatada a experiência nacional do álcool como alternativa à gasolina.

4.3 EXPERIÊNCIA DO BRASIL EM COMBUSTÍVEIS DE BIOMASSA

Os choques do petróleo, na década iniciada em 1970, motivaram o Brasil a aumentar o uso de fontes renováveis, em substituição ao combustível fóssil: energia hidráulica, carvão vegetal e produtos da cana-de-açúcar – álcool e bagaço de cana. Nessa linha, implantou-se, também, o Programa de Produção de Álcool Combustível, o Proálcool que, criado em 1975, pelo Decreto 76.593, tinha como objetivo substituir parte da gasolina utilizada na frota nacional de veículos de passageiros (álcool hidratado em veículos com motores movidos a álcool) e, ainda, a utilização do álcool como aditivo à gasolina (álcool anidro), tornando menos poluente a sua combustão (BRASIL, 2005-d).

Essa política levou a queda da participação do petróleo e de seus derivados na matriz de 51% para 38%, entre 1978 e 1984. A cana e seus derivados representavam, em 1994, 14,4% de toda a energia bruta ofertada no país. Em relação ao transporte rodoviário, o álcool atingiu a participação de 23% de todo o combustível consumido no setor em 1989. Entretanto, no ano de 2002, a participação dos derivados da cana caiu, para 12,6% do total da oferta de energia, e para 13% do combustível rodoviário. Uma explicação pode ser a baixa do preço do petróleo, ao longo do período de 1980 a 1990 (PIRES, 2004).

Atualmente, diante de um cenário de preços de petróleo em torno de US\$ 70 a 80 o barril, até o final da década, novas iniciativas de substituição estão surgindo no país e no mundo. O lançamento, em 2003, dos veículos *flex-fuel* voltou a estimular as vendas de álcool combustível que, atualmente, corresponde a quase 15% da matriz dos combustíveis brasileiros (Fig. 19). Conforme Pires (2004), no contexto atual, é fundamental elaborar uma política que crie mecanismos para a promoção do uso de combustíveis alternativos aos derivados de petróleo.

4.4 O BIODIESEL

Desde a invenção do motor de combustão interna, com ignição por compressão (ciclo diesel), sabe-se que os motores podem usar óleos vegetais como alternativa de combustível. Conforme Nogueira e Pikman (2002), ao desenvolver o motor de combustão interna com queima a pressão constante, em 1897, Rodolphe Diesel considerou dois combustíveis: carvão

pulverizado e óleo de amendoim. No decorrer de suas pesquisas, Diesel acabou por adotar uma fração de destilados de petróleo que, atualmente, recebe seu nome. Entretanto, a biomassa energética está na origem dessa tecnologia, e o problema era que a utilização de óleos vegetais, sem qualquer modificação, provocava problemas quanto ao funcionamento dos motores. O que acontecia era que, com o uso prolongado de óleos vegetais, devido a uma combustão incompleta, o processo de combustão produzia depósitos de carbono nos motores, provocando a adesão dos anéis, assim como o entupimento dos injetores, ocasionando, eventualmente, a falha geral dos motores (MEHER et al., 2006). Alguns pesquisadores demonstraram que a alta viscosidade e a baixa volatilidade dos óleos vegetais *in natura* podem gerar sérios problemas ao bom funcionamento do motor (RAMOS et al., 2003).

Esses problemas foram resolvidos pelas modificações nos óleos que originaram os diversos tipos de biodiesel. Os processos mais difundidos, responsáveis pela adaptação dos óleos vegetais para motores do ciclo diesel, são o de pirólise, de transesterificação com catalisador alcalino ou com catalisador ácido. Atualmente, o processo mais difundido é o de transesterificação com catalisador alcalino (MACEDO; MACEDO, 2004; PRAMANIK; TRIPATHI, 2005).

O processo de transesterificação (Fig. 21) envolve a reação do óleo vegetal (triglicerídeo) com um álcool, utilizando como catalisador a soda cáustica. O resultado dessa reação é um éster e como subproduto a glicerina (MACEDO; MACEDO, 2004)

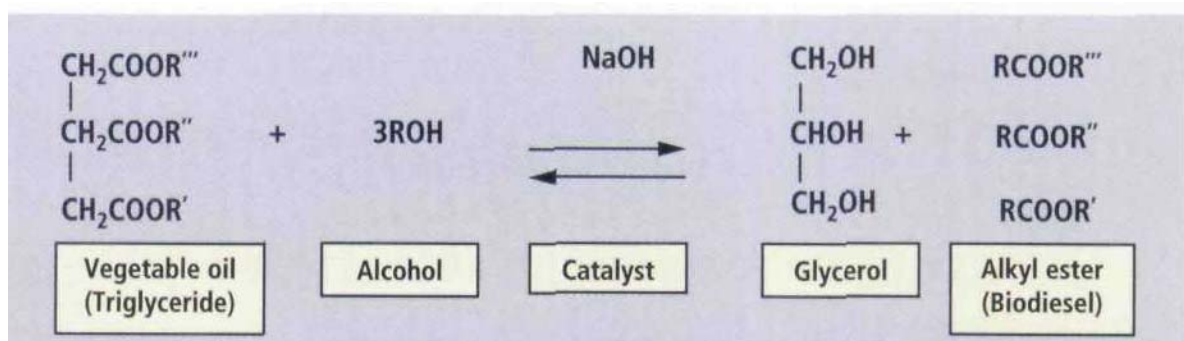


Figura 21 – O processo químico de transesterificação

Fonte: PRAMANIK; TRIPATHI (2005)

O processo de transesterificação envolve, portanto, basicamente, duas matérias primas: uma principal, o óleo vegetal, e uma secundária, o álcool. O resultado é um éster (biodiesel puro), um subproduto, a glicerina (Fig. 22).

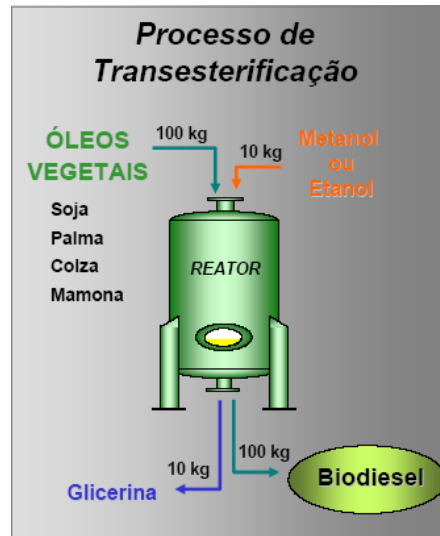


Figura 22 – O processo da transesterificação

Fonte: NAPPO (2005)

Conforme o Prof. Dr. Argimiro, em entrevista realizada, o processo de transesterificação do óleo vegetal é a transformação de um tri-éster de cadeia longa em três moléculas de éster de cadeias menores. Durante o processo, a glicerina é removida deixando o óleo mais fino e reduzindo sua viscosidade, e substituída pelo álcool (MACEDO; MACEDO, 2004).

Como as propriedades físicas e químicas deste éster de ácido graxo são similares ou até superiores ao óleo diesel de petróleo, ele é, geralmente, chamado de biodiesel (PRAMANIK; TRIPATHI, 2005)

Conforme o Conselho Americano de Biodiesel, fundado em 1992, o biodiesel é assim definido:

Biodiesel é um combustível doméstico e renovável para os motores diesel, derivado dos óleos naturais, como o óleo de soja, e que se encontra com as especificações de ASTM (*American Society of Testing and Materials*) D 6751 (ESTADOS UNIDOS. National Biodiesel Board, 2005).

O Biodiesel pode ser usado em qualquer concentração com combustível diesel baseado no petróleo nos motores diesel existentes com pouca ou nenhuma modificação. Biodiesel não é a mesma coisa que o óleo vegetal cru. É produzido por um processo químico que remove a glicerina do óleo (ESTADOS UNIDOS. National Biodiesel Board, 2005).

Em uma linguagem mais técnica, encontra-se a seguinte definição:

O Biodiesel é o derivado mono-álquil éster de ácidos graxos de cadeia longa, proveniente de fontes renováveis como óleos vegetais, cuja utilização está associada

à substituição de combustíveis fósseis em motores de ignição por compressão (ciclo diesel) (ESTADOS UNIDOS. National Biodiesel Board, 2005).

Como está em fase introdutória e, também, experimental, o biodiesel, no Brasil, será misturado ao diesel para a comercialização. Para identificar a concentração de biodiesel, é comum a utilização de uma nomenclatura específica, definida como **BX**, onde **X** refere-se à percentagem em volume do biodiesel adicionado ao diesel de petróleo. Assim, **B5**, **B20** e **B100** significam, respectivamente, combustíveis com uma concentração de 5%, 20% e 100% de biodiesel.

Conforme Ramos et al. (2003, p. 30),

A grande compatibilidade do biodiesel com o diesel convencional o caracteriza como uma alternativa capaz de atender à maior parte da frota de veículos a diesel já existentes no mercado, sem qualquer necessidade de investimentos tecnológicos no desenvolvimento de motores.

Plá (2002) acrescenta que os motores funcionam melhor com o biodiesel devido à sua maior lubrificação. Segundo o gerente de qualidade da empresa de combustíveis Ipiranga, os motores do ciclo diesel podem suportar, sem maiores problemas, misturas de até 20% (**B20**); acima dessa porção, ainda não há testes que garantam a qualidade do funcionamento do motor, sem que haja necessidades de adaptações.

Mesmo misturando com o diesel mineral, o biodiesel melhora as características do combustível fóssil, pois possibilita a redução dos níveis de ruído e melhora a eficiência da combustão pelo aumento do número de cetano (RAMOS et al., 2003). Além da compatibilidade técnica, a adoção do biodiesel, mesmo em proporções pequenas, ou seja, adições de 2% a 5% no diesel de petróleo, proporcionará impactos positivos no meio-ambiente, reduzindo as emissões de óxido de enxofre e gases que contribuem para o efeito estufa (RAMOS et al., 2003).

Na combustão, os derivados de petróleo liberam para o ambiente, pelo processo, o dióxido de carbono (CO₂) e a água. Entretanto, como o processo, na prática, não é perfeito, devido a problemas de regulação, desgaste e outras variáveis, os motores também liberam pequenas quantidades de monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos diversos, óxidos de enxofre (SO_x) e de nitrogênio (NO_x) e fuligem (PLÁ, 2002).

Segundo Plá (2002), a emissão de óxidos de enxofre e de nitrogênio provoca irritações nas vias respiratórias e contribui para a formação de chuvas ácidas. Uma das vantagens da utilização do biodiesel, em sua forma pura, é que os óxidos de enxofre estão praticamente

ausentes no escapamento dos motores. Outra vantagem é que biodiesel é facilmente biodegradável, ou seja, em caso de vazamento ou liberação ao meio-ambiente, de maneira acidental, não haveria prejuízo para os demais seres-vivos.

4.4.1 Matérias-primas para a produção do biodiesel

Como foi mencionado anteriormente, os dois principais insumos para a produção do biodiesel são um óleo vegetal - matéria-prima principal, que representa cerca de 90% da composição do produto, e um álcool - matéria-prima secundária, que representa cerca de 10%.

A matéria-prima principal para a produção do biodiesel pode ser um dos óleos vegetais, como o de soja, canola, mamona, amendoim, coco ou milho. Também podem ser utilizados óleos e gorduras animais, como o óleo de peixe ou o sebo bovino (PLÁ, 2002; RAMOS et al., 2003). O óleo vegetal é “energia solar acumulada bioquimicamente em sua densidade máxima” (SHRIMPFF, 2006, p. 32). Em cada semente dessas oleaginosas (soja, mamona, dendê, amendoim, etc), existe uma porção de óleo vegetal. Em comparação com matérias biológicas sólidas (madeira, palha) e com o biogás, o óleo vegetal é a forma mais densa de energia da fotossíntese, com cerca de 9,2 kWh por litro, situando-se entre a gasolina (8,6 kWh/l) e o diesel (9,8 kWh/l) (SHRIMPFF, 2006).

As fontes de óleos vegetais são diversas e podem ser obtidas conforme as espécies cultivadas em cada região. Segundo Meirelles (2006), a soja é a única oleaginosa com escala suficiente para a produção imediata de biodiesel no país, já que 90% da produção de óleo provêm dessa oleaginosa. Posteriormente, outros óleos vegetais poderiam ser aproveitados, como o óleo de dendê, de mamona, de algodão ou de amendoim. O biodiesel pode, também, ser produzido a partir do óleo residual das frituras. Além de o custo ser baixo, a utilização desses óleos poderia eliminar uma fonte de poluição ambiental, tendo em vista que esses resíduos acabam sendo jogados em lagos ou em aterros sanitários (PLÁ, 2002).

Espécie	Origem do Óleo	Conteúdo de Óleo (%)	Ciclo para Máxima Eficiência	Meses de Colheita	Rendimento em Óleo (t/ha)
Dendê (<i>Elacis guineensis</i>)	Amêndoa	20	8 anos	12	3,0-6,0
Abacate (<i>Persia americana</i>)	Fruto	7-35	7 anos	12	1,3-5,0
Coco (<i>Cocus numifera</i>)	Fruto	55-60	7 anos	12	1,3-1,9
Babaçu (<i>Orbinya martiana</i>)	Amêndoa	66	7 anos	12	0,1-0,3
Girassol (<i>Helianthus annus</i>)	Grão	38-48	Anual	3	0,5-1,9
Colza - Canola (<i>Brassica campestris</i>)	Grão	40-48	Anual	3	0,5-0,9
Rícino (<i>Ricinus comunis</i>)	Grão	43-45	Anual	3	0,5-0,9
Amendoim (<i>Orachis hypogeeae</i>)	Grão	40-43	Anual	3	0,6-0,8
Soja (<i>Glycine max</i>)	Grão	17	Anual	3	0,2-0,4
Algodão (<i>Gossypium hirsut</i>)	Grão	15	Anual	3	0,1-0,2

Figura 23 - Características de alguns vegetais oleaginosos de potencial uso energético

Fonte: NOGUEIRA et al. (2000, p. 43)

Observando a Figura 23, constata-se que a soja não é a oleaginosa com melhor rendimento em óleo, entretanto sua indicação para ser insumo para o biodiesel parte do princípio que é a oleaginosa mais produzida no país e, em especial, no Estado do Rio Grande do Sul, contexto deste estudo, conforme elucidada a tabela abaixo (Tab. 1):

Tabela 1 – Alternativas para a produção de biodiesel no Rio Grande do Sul

Cultura	Área (em hectares)
Soja	4 milhões
Girassol	28 mil
Canola	15 mil
Mamona	1 mil

Fonte: EMATER (apud RIBEIRO, 2006)

A maioria das oleaginosas é, em potencial, um insumo para a produção de biodiesel. No entanto, a maioria das oleaginosas comestíveis, exceto a soja, não é suficiente, sequer, para abastecer o segmento alimentar, gerando evasão de divisas da ordem de US\$9,8 milhões (Tab. 2).

**Tabela 2 – Saldo comercial de sementes e frutos oleaginosos selecionados, Brasil, 2002
(US\$FOB)**

Oleaginosas selecionadas	Importação	Exportação	Saldo comercial
Soja e derivados			
Soja para semeadura	282	2.806.794	2.806.512
Outros grãos de soja, mesmo triturados	174.670.441	3.029.177.169	2.854.506.728
Óleo bruto, mesmo degomado	52.700.349	675.049.516	622.349.167
Óleo de soja refinado, em recipiente		57.656.071	57.656.071
Outros óleos de soja	10.592	45.370.632	45.360.040
Subtotal soja	227.381.664	3.810.060.182	3.582.678.518
Girassol e derivados			
Sementes de girassol para semeadura	749.872		-749.872
Outras sementes de girassol, mesmo triturados	925.788	4.364	-921.424
Óleo de girassol, em bruto	6.758.763	6.067.245	-691.518
Outros óleos de girassol	467.215	8.900	-458.315
Óleo de girassol, refinado, em recipiente	4.979.298	2.654	-4.976.644
Subtotal girassol	13.880.936	6.083.163	-7.797.773
Dendê			
Óleo de dendê, em bruto		2.300.533	2.300.533
Outros óleos de dendê	2.969.926	433.045	-2.536.881
Subtotal dendê	2.969.926	2.733.578	-236.348
Gergelim			
Outros sementes de gergelim, mesmo triturados	1.887.085	589	-1.886.496
Óleo de gergelim	2.377.911		-2.377.911
Subtotal gergelim	4.264.996	589	-4.264.407
Amendoim			
Amendoim descascado	423.415		-423.415
Óleo de amendoim, em bruto		785.932	785.932
Outros óleos de amendoim	174.898	41.052	-133.846
Subtotal amendoim	598.313	826.984	228.671
Mamona			
Sementes de rícino para semeadura		20.000	20.000
Outras sementes de rícino, mesmo trituradas	390.709		-390.709
Óleo de rícino	588.898	3.144.943	2.556.045
Subtotal mamona	979.607	3.164.943	2.185.336
Total de oleaginosas	250.075.442	3.822.869.439	3.572.793.997
Total de oleaginosas exceto soja	22.693.778	12.809.257	-9.884.521

Fonte: FREITAS (2004, p.84)

No Brasil, a soja é a única oleaginosa produzida em escala (cerca de 51 milhões de toneladas, em 2003), de modo que é quase consenso sua utilização na primeira fase de implantação do biodiesel (FREITAS, 2004).

Conforme foi mencionado anteriormente, para a produção do biodiesel, é preciso reagir um óleo ou gordura com um álcool de cadeia curta, como o etanol ou metanol. Em países como França, Alemanha, etc., onde o biodiesel é produzido atualmente, o álcool utilizado na reação de transesterificação é o metanol (CÁNEPA, 2004).

No Brasil, recomenda-se a utilização do etanol, pois este é renovável, por originar-se da cana-de-açúcar, e é produzido em larga escala no país. O metanol, por sua vez, além de

tóxico, precisa ser importado, havendo, no Brasil, uma importação de cerca de 6 milhões de m³ por ano.

Desse modo, é quase consenso que o etanol é a melhor alternativa para a produção brasileira de biodiesel, mesmo que para isso seja necessário aperfeiçoar o processo de produção de biodiesel (FREITAS, 2004).

4.4.2 Introdução do biodiesel no Brasil – Lei 11.097/2005

A autorização para a mistura do biodiesel ao óleo oriundo do petróleo é um importante passo numa caminhada que começou em outubro de 2002, quando o Ministério da Ciência e Tecnologia criou e passou a comandar o Programa Brasileiro de Biocombustíveis – Probi biodiesel. Foi montado um projeto de trabalho envolvendo vários ministérios, a Embrapa, centros de pesquisas de universidades e empresários. Resultado: já existem, no país, vários experimentos de produção de biodiesel, e a Petrobras pesquisou e apontou a viabilidade técnica do “óleo verde”, como é chamado o biodiesel.

O biodiesel já é uma realidade, com a publicação da Lei 11.097/2005 – a Lei do Biodiesel –, no Diário Oficial da União, dia 14 de janeiro de 2005, em que o Governo autoriza a introdução do biodiesel e estabelece que, a partir de 2008, será obrigatória a adição mínima de 2% do biodiesel ao óleo diesel, em qualquer parte do território nacional, sendo que, a partir de 2013, o mínimo será de 5% (B5). Os prazos para atendimento do percentual mínimo podem ser reduzidos em razão de resolução do Conselho Nacional de Política Energética – CNPE, observados os seguintes critérios (BRASIL, 2005-c):

- I - a disponibilidade de oferta de matéria-prima e a capacidade industrial para produção de biodiesel;
- II - a participação da agricultura familiar na oferta de matérias-primas;
- III - a redução das desigualdades regionais;
- IV - o desempenho dos motores com a utilização do combustível;
- V - as políticas industriais e de inovação tecnológica.

Conforme a Lei, caberá à Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP definir os limites de variação admissíveis para efeito de medição e aferição dos percentuais da mistura do biodiesel ao diesel de petróleo. A própria Agência Nacional de Petróleo (ANP) tem seu nome alterado para Agência Nacional do Petróleo, Gás

Natural e Biocombustíveis. Essa lei representa um importante passo para o desenvolvimento de uma fonte alternativa na matriz energética brasileira.

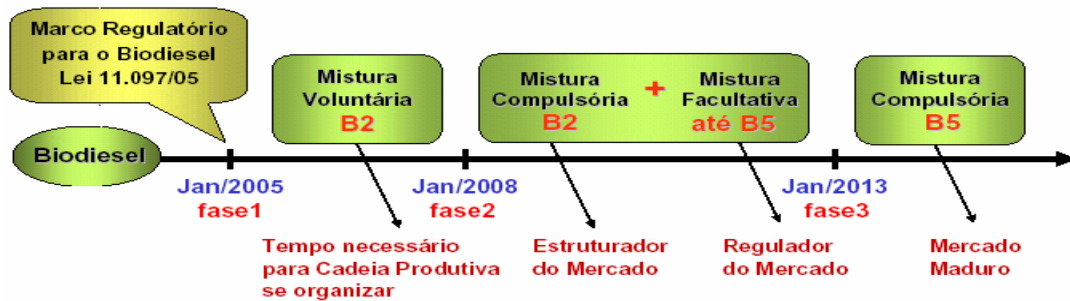


Figura 24 – Evolução do marco regulatório

Fonte: NAPPO (2005).

Conforme a resolução ANP nº 42 (BRASIL, 2005-a), somente os distribuidores de combustíveis líquidos e as refinarias, autorizados pela ANP, poderão proceder à mistura óleo diesel/biodiesel – B2, contendo 98% em volume de óleo diesel, conforme a especificação determinada pela ANP, e 2% em volume de biodiesel, respectivamente, para efetivar sua comercialização. Conforme o Decreto nº 5.448 (BRASIL, 2005-b) para o uso automotivo só poderá ser comercializada a mistura óleo diesel/biodiesel – B2 até o prazo vigente, sendo que o volume adicionado de biodiesel poderá ser superior a 2%, quando for destinado a teste ou uso em:

- I - frotas veiculares cativas ou específicas;
- II - transporte aquaviário ou ferroviário;
- III - geração de energia elétrica; e
- IV - processo industrial específico

Feitas essas considerações sobre o contexto energético brasileiro e a introdução do biodiesel na matriz energética, o próximo capítulo discorrerá sobre a cadeia produtiva do biodiesel, para, então, partir para a construção de um modelo que auxilie na escolha de locais para a instalação de plantas de biodiesel e sobre a distribuição dos insumos e do produto final.

5 CARACTERIZAÇÃO DA CADEIA DO BIODIESEL NO RIO GRANDE DO SUL

Para que se possa propor um modelo de localização para instalar plantas de biodiesel, é necessário identificar os atores (fornecedores, produtores e clientes) de uma futura cadeia produtiva do biodiesel no Rio Grande do Sul. Esse capítulo 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 (triglicerídio) ou gordura com um álcool de cadeia curta como o etanol ou metanol. Segundo o coordenador do programa de biodiesel no Rio Grande do Sul), a provável fonte de óleo para a cadeia do biodiesel no Estado deverá ser a soja. (CHAZAN, informação verbal)

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 se 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:

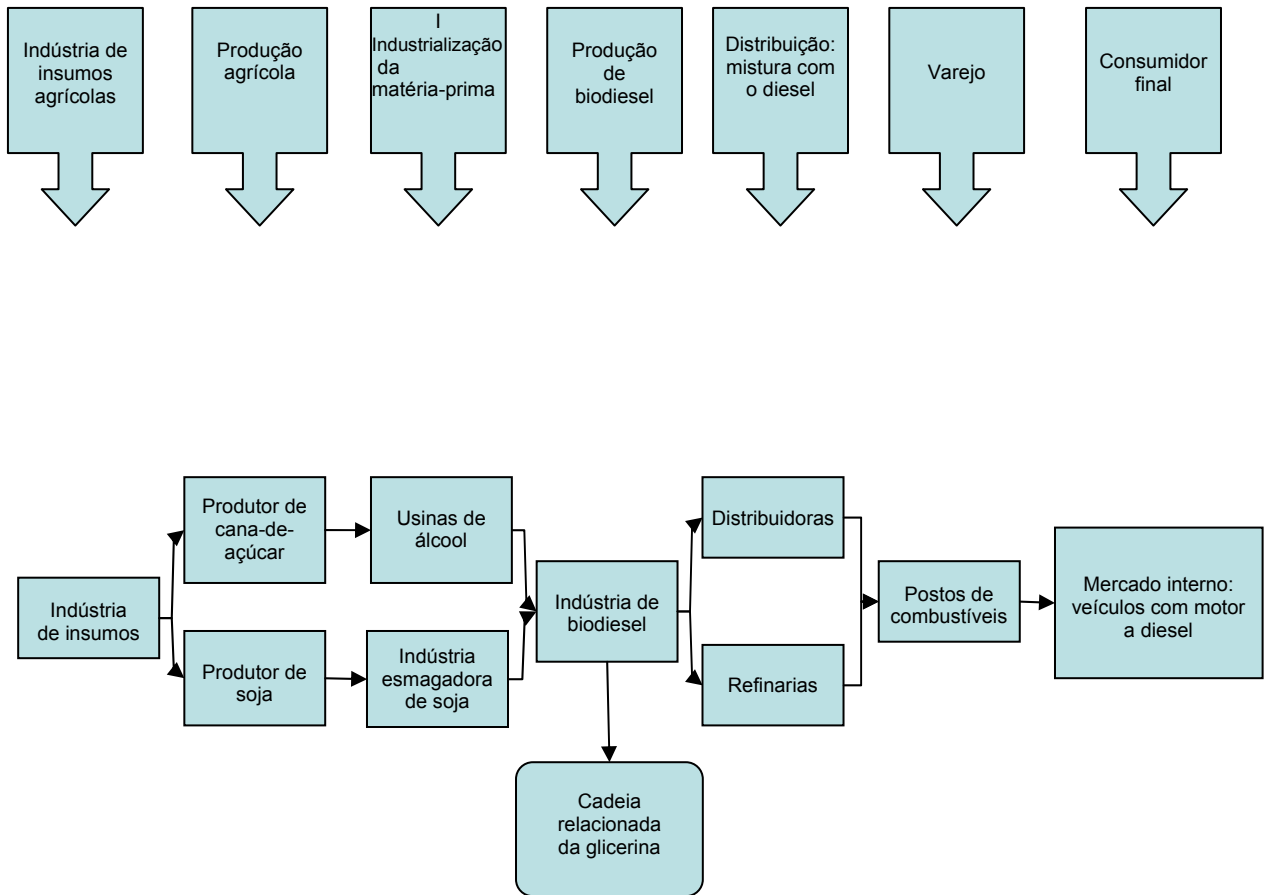


Figura 25 – Cadeia produtiva do biodiesel

Fonte: Adaptado de CÁNEPA (2004)

Visto que se pretende utilizar as técnicas de pesquisa operacional (ver cap. 2.1) 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 - indústria de biodiesel.

Portanto, este trabalho considerará os três elos da cadeia produtiva do biodiesel expostas acima. As indústrias de esmagamento de soja e as usinas de álcool serão os dois principais fornecedores - Elo 1 - para as futuras plantas de biodiesel no Rio Grande do Sul. O Elo dois será representado pelas próprias fábricas 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 Lei (ver cap.4.4.2), poderão fazer a mistura do biodiesel puro (éster) ao diesel de petróleo. 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.

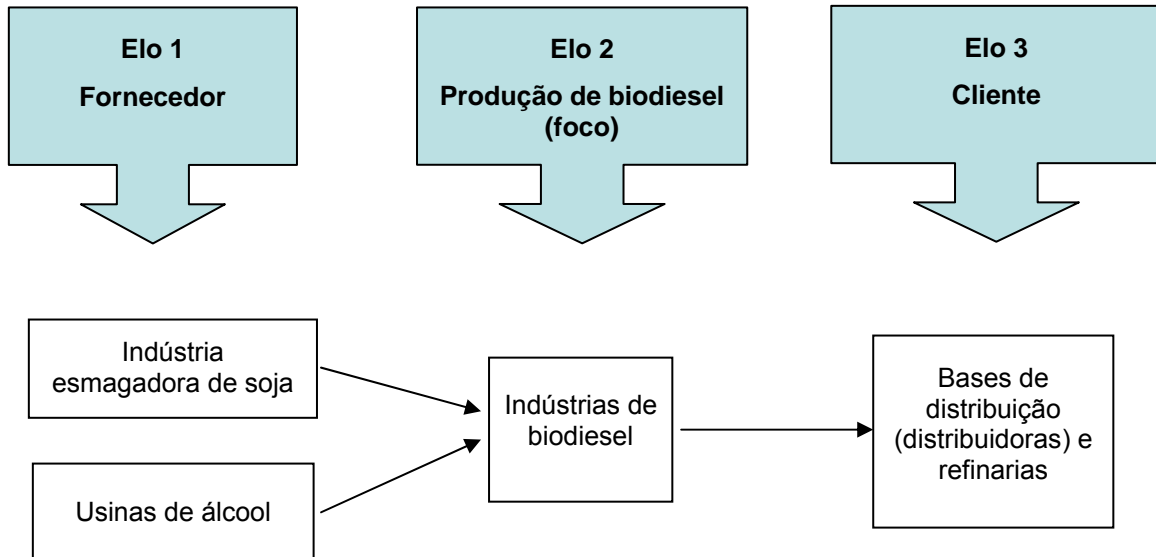


Figura 26 – Simplificação da cadeia produtiva do biodiesel

Fonte: Elaborada pelo autor

A seguir, serão caracterizados esses três “elos” da cadeia produtiva do biodiesel no Rio Grande do Sul que formarão o contexto para o desenvolvimento de um modelo de localização para plantas de biodiesel.

5.1 ELO FORNECEDOR

Este elo é composto pelas indústrias esmagadoras de soja e pelas usinas de álcool.

5.1.1 Indústria de esmagamento de soja

O elo da cadeia produtiva da soja de maior importância para este trabalho é a indústria de esmagamento de soja, pois ela fornecerá em torno de 90% da matéria-prima para a indústria de biodiesel.

O processo de industrialização da soja inicia com o esmagamento e a extração do óleo. Após passar por processos de secagem, para retirada de umidade, e limpeza, o grão é quebrado e prensado em pequenas lâminas que, transformadas em massa, passa por um processo de extração de óleo por solvente de petróleo (hexano) (PAULA; FAVARET FILHO, 1998).

O produto fica impregnado com óleo e, posteriormente, é feita a separação, por evaporação, passando, ainda, por um sistema de retirada de goma (degomagem) para alcançar o estágio de óleo degomado. A massa restante, após secagem e tostagem, resulta no farelo. A goma tanto pode ser utilizada para a produção de lecitina de soja quanto ser adicionada ao farelo (PAULA; FAVARET FILHO, 1998).

Em geral, o destino do óleo é o refino, e o farelo vai para a alimentação animal, diretamente ou através das misturas feitas pelas fábricas de ração. O aproveitamento médio do grão é de 79% de farelo e 19,8% de óleo bruto (PAULA; FAVARET FILHO, 1998). Outro destino importante é a alimentação humana por meio da proteína de soja retirada do farelo.

O farelo destaca-se como a principal *commodity* no comércio internacional do complexo da soja. Já o óleo é mais direcionado para o consumo interno, embora uma parte significativa seja exportada, especialmente na forma de óleo bruto.

A operação de esmagamento, a retirada do óleo e seu posterior refino merecem as maiores atenções, quando se fala do complexo soja, seja porque a maior parte do produto é farelo ou porque a maior parte do óleo destina-se ao consumo doméstico de óleo refinado e à exportação de óleo bruto (PAULA; FAVARET FILHO, 1998).

A cadeia não pára nesses dois produtos. O óleo segue seu caminho, sendo transformado em vários produtos, dos quais a margarina se coloca em maior destaque, embora outros subprodutos de uso alimentar e químico façam parte da seqüência de aproveitamento da soja.

A capacidade instalada da indústria esmagadora, no Brasil, em 2005, era da ordem de 137 mil toneladas/dia (ABIOVE, 2006). Em tese, seria capaz de processar uma safra de 41,1 milhões de toneladas, considerando-se o funcionamento em capacidade plena durante 300 dias no ano, o que pressupõe um fornecimento de matéria-prima firme e constante durante o ano todo.

Em termos de soja, a realidade não é esta. Embora o volume esmagado tenha crescido, em média, 6,5% ao ano (ABIOVE, 2006), nos últimos oito anos, esse acréscimo não

acompanhou a produção nacional de soja que cresceu, em média, 10,5% ao ano. Como consequência, a taxa de processamento permanece, em média, em torno de 62% da safra brasileira.

Tal desempenho decorreu do crescimento da exportação de grãos, fruto da desoneração do ICMS na exportação de produtos primários, eliminando a vantagem dos derivados sobre os grãos (PAULA; FAVARET FILHO, 1998).

Boa parte das esmagadoras funciona com capacidade ociosa acima de 40%, iniciando em março e parando em setembro, período de escoamento da safra, quando cerca de 79% de toda a soja esmagada é processada. O restante é processado nos outros meses, e pode originar-se de três situações: soja precoce no mês de fevereiro (4% a 5% do esmagamento total), *drawback*¹ e estoques (PAULA; FAVARET FILHO, 1998).

O motivo básico para o superdimensionamento das plantas industriais é a concorrência pela compra da matéria-prima, no início da safra, e o escoamento a preço equivalente, compatível com o preço de compra, já que a tendência dos preços é declinante do início para o meio da safra. Além disso, a maioria das plantas são conversíveis para o processamento de outras oleaginosas, não demandando maiores modificações de fluxo para esmagar soja, milho ou girassol (PAULA; FAVARET FILHO, 1998).

A indústria do esmagamento da soja é bastante concentrada, tanto em termos de empresas quanto de localização.

5.1.1.1 Capacidade e localização das indústrias processadoras de soja no Rio Grande do Sul

O Rio Grande do Sul é um dos maiores processadores de óleo de soja do país e, sendo assim, apresenta uma estrutura capaz de atender à demanda introduzida pela utilização do biodiesel (B2). Para este trabalho, os dados deste elo de maior interesse são a localização das atuais indústrias de esmagamento de soja e a capacidade de cada indústria (ver Tab. 3).

¹ O Regime de *Drawback*, criado pelo Decreto-Lei 37/66, é a desoneração de impostos na importação vinculada a um compromisso de exportação (BRASIL; MDIC, 2006)

Tabela 3 – Capacidade das esmagadoras de óleo de soja no Rio Grande do Sul

Empresa	Cidade	Capacidade nominal (ton/dia)
ADM 2001	Três Passos	1.000
ADM 2002	Três Passos	1.000
Baldo S.A.	Encantado	300
Bertol S.A.	Passo Fundo/01	1.000
Bertol S.A.	Passo Fundo/02	1.000
Bianchini	Canoas	1.500
Bianchini	Rio Grande	2.400
Bunge	Rio Grande	4.200
Cia. Zaffari	Passo Fundo	1.000
Giovelli	Guarani das Missões/01	750
Giovelli	Guarani das Missões/02	750
Granóleo	Lajeado	2.500
Oleoplan	Veranópolis	700
Pindorama	Panambi/02	33
Solae/Bunge	Esteio	700
Warpol	Guarani das Missões	720
		22.853

Fonte: SIOLEO (2006)

Conforme os dados fornecidos pelo Sindicato de Óleos do Rio Grande do Sul – SIOLEO, 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 ou 6.855.900,00 toneladas por ano, considerando 300 dias de operação e fornecimento constante de soja durante todo o ano.

A Figura 27 ilustra a distribuição das indústrias de esmagamento de soja e os locais onde se produz soja no Rio Grande do Sul. Observa-se que há plantio de soja na maior parte do Estado, com exceção da região litorânea, da metropolitana e da região nordeste. Algumas indústrias estão localizadas próximas às regiões produtoras, enquanto que as de Esteio estão nas proximidades do mercado consumidor (região metropolitana) e as de Rio Grande próximas do principal porto do Estado, tendo em vista, provavelmente, a exportação de óleo e farelo.

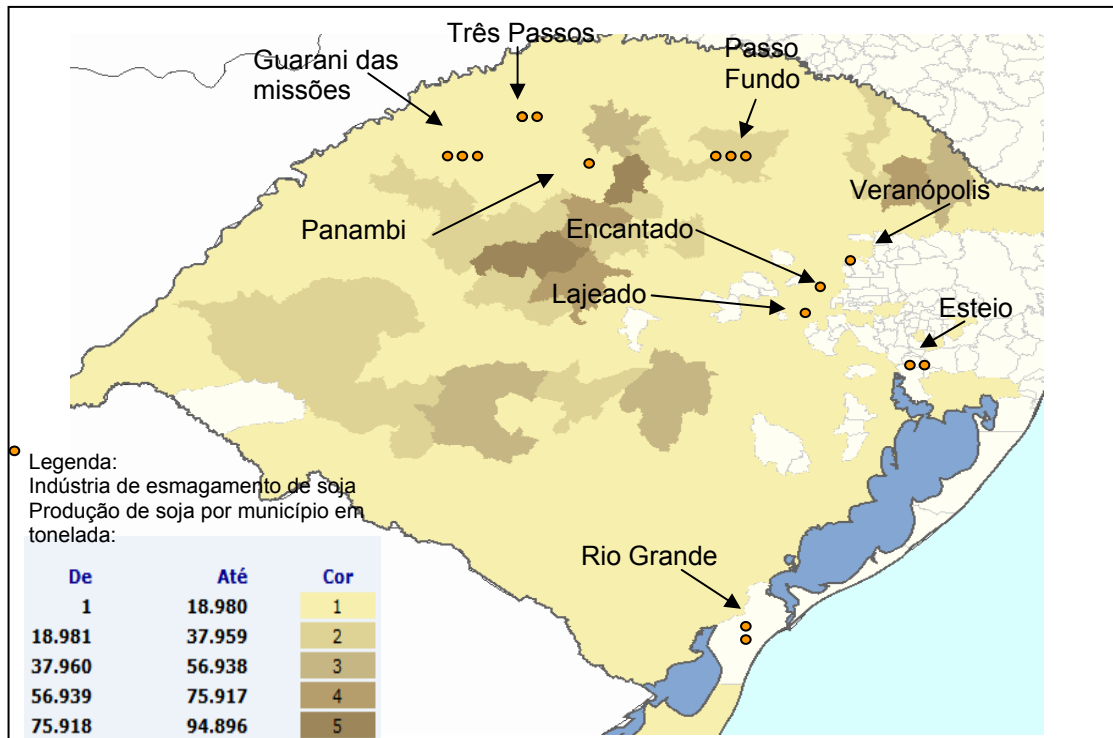


Figura 27 – Localização das indústrias de esmagamento

Fonte: Adaptado de IBGE (2006) e SIOLEO (2006)

O outro insumo para o biodiesel é o álcool etílico, que representa cerca de 10% da matéria-prima para a produção do biodiesel.

5.1.2 Usinas de álcool

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, seguido pela Índia e Austrália. Em média, 55% da cana brasileira transforma-se em álcool, e 45%, em açúcar. Planta-se cana no Centro-Sul e no Norte-Nordeste, o que permite dois períodos de safra. Produz-se, portanto, o ano todo. Dependendo do momento de plantio, a cana-de-açúcar demora um ano a um ano e meio para ser colhida e processada pela primeira vez (UNICA, 2006).

O Brasil é líder na produção de álcool. Na safra de 2003/2004, o Estado de São Paulo produziu 8,8 bilhões de litros de álcool (hidratado e anidro) e a região Centro-Sul foi responsável por 13 bilhões de litros.

São usinas e destilarias que processam a biomassa proveniente da cana-de-açúcar e alimentam um círculo virtuoso: produzem açúcar como alimento, energia elétrica vinda da queima do bagaço nas caldeiras, álcool hidratado para movimentar veículos e álcool anidro para melhorar o desempenho energético e ambiental da gasolina (UNICA, 2006).

Como no Rio Grande do Sul, praticamente, não existe produção de álcool etílico, apenas uma usina de pequena produção, em Francisco Xavier, para a produção de biodiesel, no Estado, será necessário comprar este insumo da região do Paraná ou de São Paulo (CHAZAN, 2006).

Levando em conta a estrutura da cadeia dos combustíveis, este estudo considerará como ponto de suprimento de álcool etílico para as usinas de biodiesel no Rio Grande do Sul, o centro coletor de álcool mais próximo do Estado: o centro coletor de Londrina (PR).

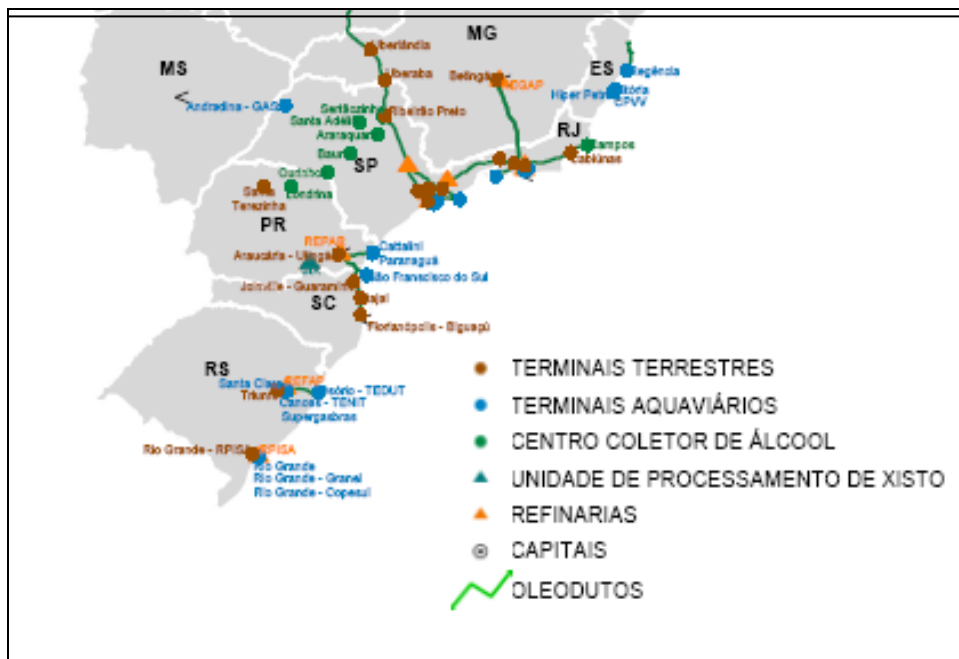


Figura 28 – Infra-estrutura para a movimentação do petróleo, seus derivados e álcool etílico em 2004.

Fonte: ANP (2006)

5.2 ELO 2 – ELO PRODUTOR

Este elo é composto pelas plantas de biodiesel, onde o óleo de soja e o álcool serão transformados em biodiesel, através do processo de transesterificação (ver cap.2), e este encaminhado para as bases de distribuição para ser adicionado ao diesel.

Para esse processo (Fig. 29), será considerado que para produzir uma tonelada de biodiesel é necessário 156 kg de etanol, 965 kg de óleo de soja e 15 kg de catalisador. Esse processo tem como subproduto 104 kg de glicerina e 32 kg de perdas.

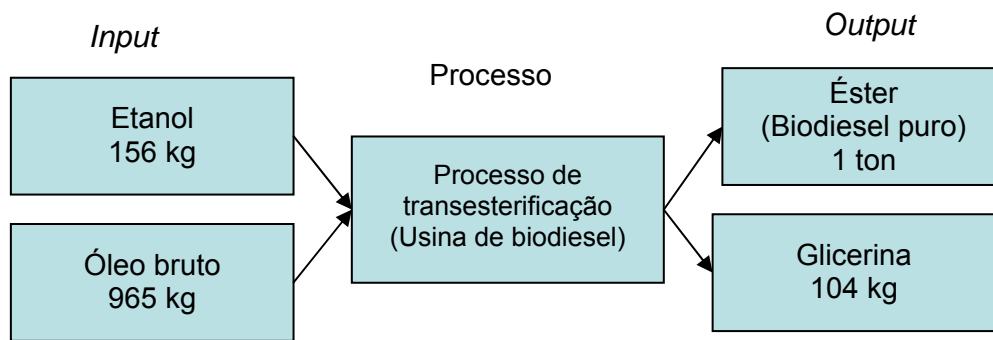


Figura 29 – Sistema simplificado de produção de biodiesel

Fonte: Elaborada pelo autor baseado nos dados de FERRES (apud PLÁ, 2005)

Vale lembrar que as indústrias de biodiesel têm estruturas flexíveis para produzir o éster (biodiesel), a partir de vários tipos de óleos, tanto de etanol como metanol.

Conforme Chazan, coordenador do Programa Probiodiesel do Rio Grande do Sul, em entrevista realizada, existem cinco projetos de instalação de usinas de biodiesel no Estado:

Tabela 4 – Projetos de usinas de biodiesel no Rio Grande do Sul

Usina	Local	Capacidade em m ³ /ano	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.

O processo de produção de biodiesel pode ser representado pelo fluxograma a seguir (Fig. 30):

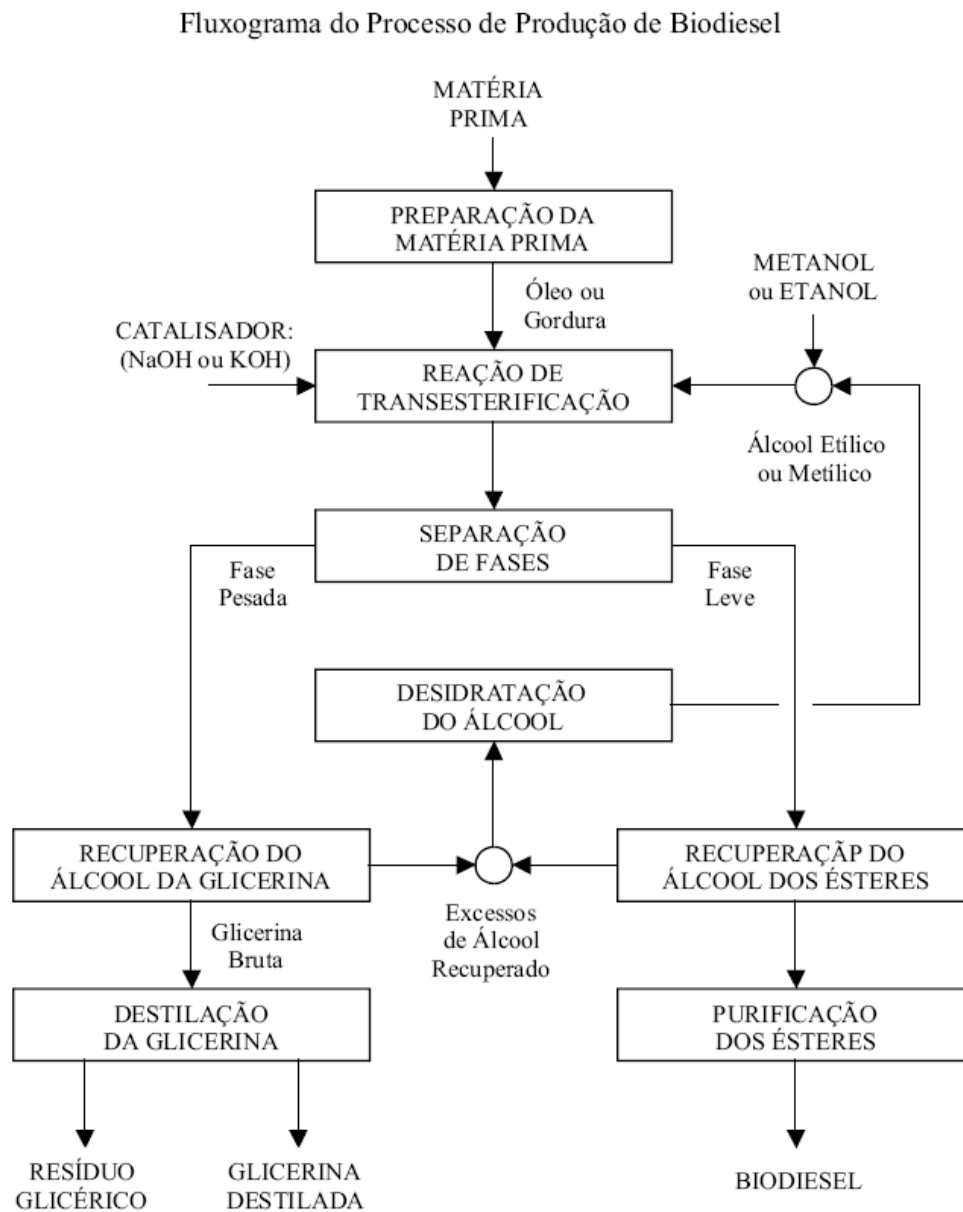


Figura 30 – Processo de fabricação do biodiesel

Fonte: PARENTE (2003)

5.3 ELO 3 - CLIENTE

Este elo é composto pelas distribuidoras de combustíveis que comprarão o biodiesel puro (B100) do produtor (Elo 2) e efetuarão a mistura com o diesel (B2, B5, BX), de acordo com a regulamentação do governo. Esse elo será responsável pela aquisição, armazenamento, transporte, controle e distribuição do biodiesel até os postos revendedores (postos de combustíveis) para o consumidor final.

As distribuidoras estão inseridas na cadeia produtiva dos combustíveis e com a entrada no mercado do biodiesel terão influência na cadeia deste biocombustível.

Atualmente, a cadeia produtiva dos combustíveis automotivos compreende desde os produtores (refinarias, centrais petroquímicas e usinas de álcool) até os varejistas (postos e TRR²) ou grandes consumidores, conforme está ilustrado na Figura 31. As distribuidoras compram produtos dos produtores e os revendem aos varejistas ou grandes consumidores. Para realizar suas operações, utilizam empresas de transporte de carga para movimentar os produtos entre as diversas instalações que compõem sua infra-estrutura, com o objetivo de distribuí-los, a partir do produtor, até as instalações que irão entregá-los aos clientes (MALIGO, 2005).



Figura 31 – Cadeia de suprimentos de combustíveis

Fonte: SINDICOM (2006)

² TRR – Transportador Revendedor Retalhista: Agente cuja atividade caracteriza-se pela aquisição de produtos a granel e sua revenda a retalho, com entrega no domicílio do comprador (MALIGO, 2005).

A entrada do biodiesel no mercado, provavelmente, não provocará muitas mudanças na atual cadeia de combustíveis. Tudo indica que a indústria de biodiesel estará para a cadeia de combustíveis assim como as usinas de álcool, ou seja, ela fará parte do primeiro elo da cadeia que fornecerá seu produto (biodiesel puro) para as bases de distribuição primárias ou secundárias.

5.3.1 Bases de distribuição

As bases são, usualmente, classificadas conforme sua posição na cadeia de suprimentos dos combustíveis automotivos. As bases que recebem produtos de uma refinaria são chamadas bases primárias, e as que recebem produtos dessas bases são chamadas bases secundárias (MALIGO, 2005).

Devido às dimensões continentais do país, as principais distribuidoras mantêm bases em diversas regiões. Essas instalações possuem toda a infra-estrutura necessária para receber, armazenar, misturar, embalar e distribuir os derivados de petróleo. As bases podem ser próprias (todos os ativos pertencentes a uma distribuidora), *pools* (cada distribuidora participa com um percentual do investimento) e bases operadas por terceiros, nas quais a empresa distribuidora não possui ativo algum além do produto a ser movimentado, e depende de terceiros para possibilitar a movimentação de seus produtos (DUMIT, 2005).

As principais distribuidoras no Brasil são: Agip3, Ipiranga, Esso, Petrobras Distribuidora, Shell, RepsolYPF e Texaco. Juntas detêm, aproximadamente, 79% do mercado, e fazem parte do Sindicato Nacional das Empresas Distribuidoras de Combustíveis e de Lubrificantes (SINDICOM, 2006).

Neste estudo, serão consideradas oito bases de distribuição para o Rio Grande do Sul, conforme pode ser visualizado na Figura 32: Canoas, Rio Grande, Cruz Alta, Passo Fundo, Santa Maria, Ijuí, Uruguaiana e Bagé.



Figura 32 – Bases de distribuição de combustíveis

Fonte: SINDICOM (2006)

5.4 DISTRIBUIÇÃO DO BIODIESEL

Por se tratar de um combustível de origem agrícola (soja), o biodiesel poderá ter sua estrutura logística muito parecida com a atual logística de distribuição de álcool combustível.

A logística de distribuição do álcool combustível é diferente da logística de distribuição dos derivados. As unidades produtoras de álcool (usinas e destilarias) são pulverizadas e localizadas em áreas rurais, no interior, próximas das culturas de cana de açúcar, seu insumo. O transporte de álcool dos produtores até as bases é conhecido, no mercado de distribuição de derivados, como coleta de álcool. O fluxo do álcool pela rede de distribuição, desde a coleta até o envio aos grandes centros de consumo, frequentemente, tem um sentido inverso ao da distribuição dos derivados. O álcool entra na rede pelas bases secundárias e segue para as primárias. Os derivados entram pelas bases primárias e são

distribuídos para as secundárias. A logística de coleta do álcool não influencia a classificação das bases como primárias ou secundárias, classificação esta criada pelo extinto Conselho Nacional do Petróleo, bem antes do aparecimento do álcool como combustível automotivo, que resiste até hoje (MALIGO, 2005).

Baseado na distribuição do álcool, este estudo considera da seguinte forma a logística de distribuição do biodiesel: as distribuidoras (Ipiranga, Petrobras, Texaco, etc.) comprarão o biodiesel puro (éster) das indústrias de biodiesel que poderão estar localizadas próxima às fontes da matéria-prima (no caso do Rio Grande do Sul, na região Noroeste) e o transportarão até suas bases de distribuição ou refinarias no Estado. As bases de distribuição e/ou as refinarias farão o controle de qualidade do combustível e a mistura ao diesel de petróleo, conforme a regulamentação prevista pela Lei. A partir desse ponto, a distribuição do biodiesel será como a atual distribuição dos combustíveis, ou seja, caminhões tanques e TRR's levarão o combustível para os postos que comercializarão para os consumidores finais.

Conforme a lei, para o mercado automotivo será adicionado 2% de biodiesel ao diesel, enquanto que, para o mercado de frotas cativas, processos industriais e transporte hidroviário e ferroviário a proporção de biodiesel poderá ser maior. A Figura 33 ilustra a logística do biodiesel.

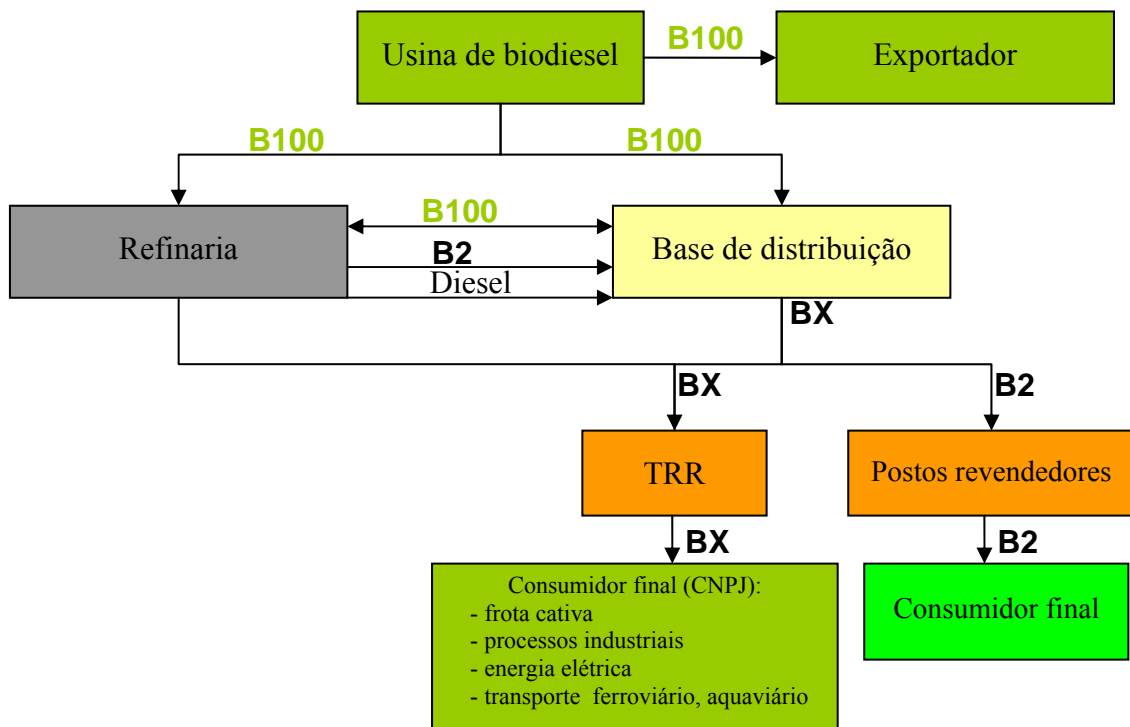


Figura 33 – Distribuição do biodiesel

Fonte: Elaborada pelo autor

Atualmente, a comercialização (produtor – distribuidora ou refinaria) do biodiesel está sendo realizada por leilões de compra futura pela ANP (Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis). Os leilões devem ser realizados até 2008, quando, então, as formas de comercialização serão negociadas diretamente entre o produtor e as distribuidoras e refinarias. Os leilões de venda futura, realizados pela ANP, têm por objetivo atrair novos investidores e estimular investimentos na cadeia de produção e comercialização do biodiesel (DORNELLES, 2006).

Tendo caracterizado a cadeia do biodiesel no Rio Grande do Sul, é oportuno, nesta etapa, resgatar a problemática deste estudo (ver cap. 1.1).

6 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

O objetivo deste capítulo é definir a situação problemática, o problema, o objetivo, a decisão e as restrições quanto à localização das usinas de biodiesel. à luz da metodologia da Pesquisa Operacional.

A situação problemática poder ser visualizada no mapa abaixo (Fig.34):

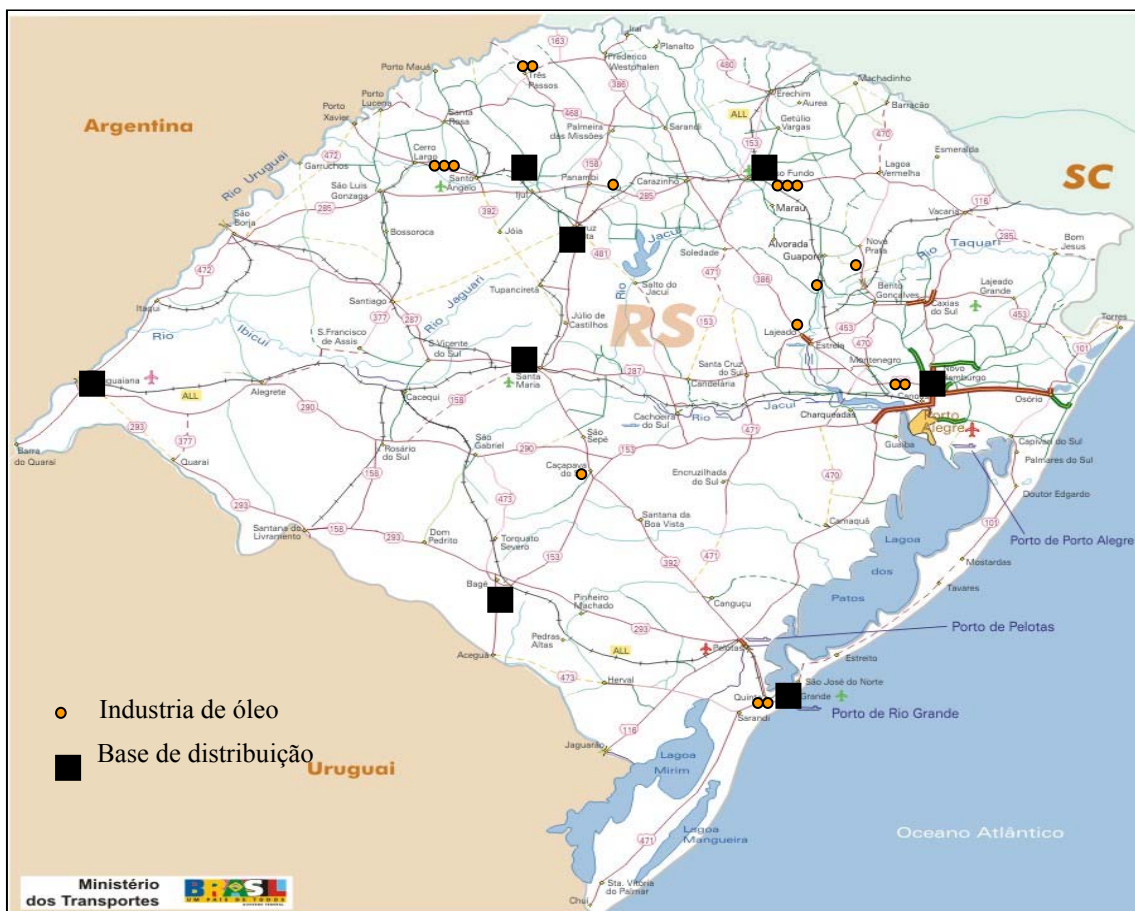


Figura 34 – Localização dos fornecedores e dos clientes

Fonte: Adaptado de BRASIL. Ministério dos Transportes (2006)

A situação problemática pode ser representada pela seguinte questão: dados os locais onde estão os fornecedores (indústria de esmagamento de soja e álcool) e suas respectivas capacidades de oferta (óleo de soja e etanol) e o local onde se encontram os consumidores (distribuidoras e refinarias) e suas respectivas demandas (biodiesel puro), quais são os locais para instalar fábricas de biodiesel e a distribuição dos insumos e do produto acabado que minimizem os custos de transporte e instalações totais das usinas de biodiesel?

Decorrente da situação problemática, pode-se identificar o problema, o objetivo, a decisão e as restrições:

- a) o problema: escolher a alternativa de localização e a quantidade de usinas que otimizem os custos de transporte da distribuição dos insumos e do produto final e de instalações de usinas de biodiesel;
- b) o objetivo: minimizar o custo de transporte e de instalação;
- c) decisão: em que locais devem-se instalar as fábricas de biodiesel e como será a distribuição (o fluxo entre os elos);
- d) a produção de biodiesel deverá respeitar a oferta de óleo de soja e de álcool e atender à demanda de abastecimento de cada mercado consumidor (bases de distribuição).

Tendo definido o problema, parte-se, agora, para a etapa de construção do modelo.

7 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, neste capítulo o modelo será traduzido de sua forma verbal e qualitativa, descrita no capítulo anterior, para termos lógicos e matemáticos.

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

Em síntese, para resolver tal problema é necessário um modelo (Fig. 35) que relacione as variáveis de decisão (fluxo a ser transportado entre os elos e regiões que receberão fábrica 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.

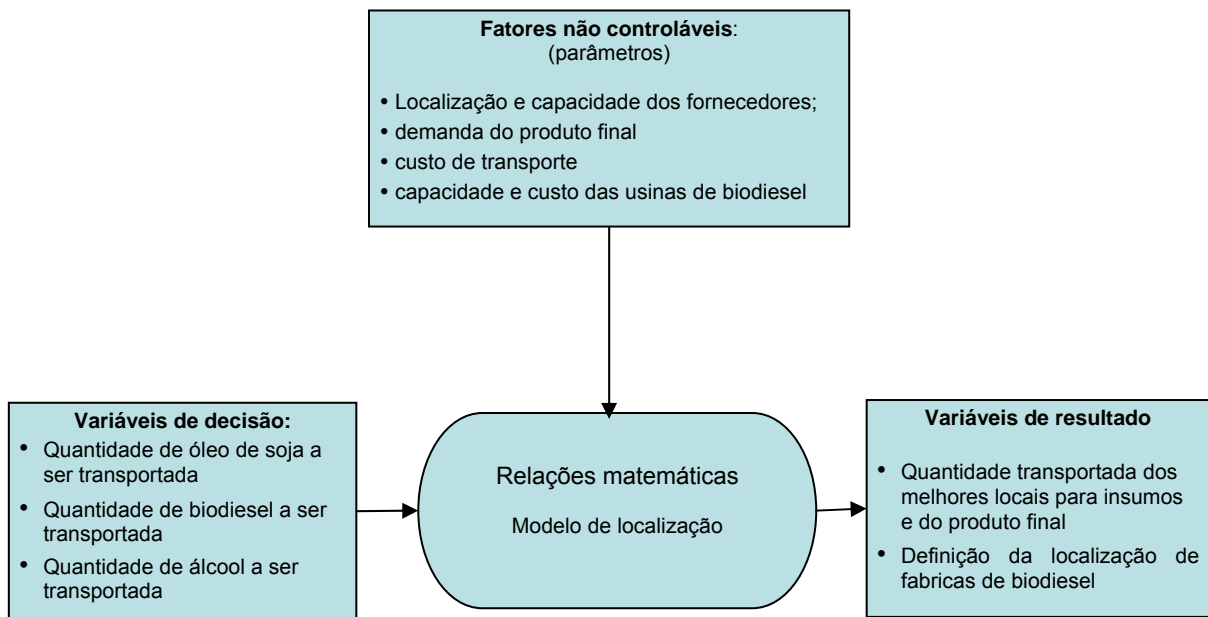


Figura 35 – Simplificação do modelo

Fonte: Adaptado de TURBA; MEREDITH (1994)

Conforme a literatura pesquisada no capítulo 2, o modelo de transbordo (*transshipment*), classificado por Jesen e Bard (2003) como problema de programação em fluxo de rede, parece adequado para auxiliar a tomada de decisão sobre o local de instalação de plantas de biodiesel e a melhor distribuição para minimizar custo total do transporte dos insumos e do produto final no Rio Grande do Sul.

Em algumas pesquisas analisadas (D'SOUZA, 1998; KLINGMAN et al., 1976; KÖKSALAN; SÜRAL, 1999; LOPES; CAIXETA FILHO, 2000), pôde-se observar que houve a aplicação do modelo de transbordo 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

Em síntese, o modelo de transbordo busca definir o melhor fluxo que minimiza ou maximize determinado critério, em geral o custo, entre três ou mais elos, podendo eles serem fornecedores, fábricas e clientes. O modelo define as rotas e as quantidades que devem ser transportadas.

O modelo de transbordo pode ser representado pela Figura 36, na qual cada desenho representa um nó onde existe uma unidade industrial.

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

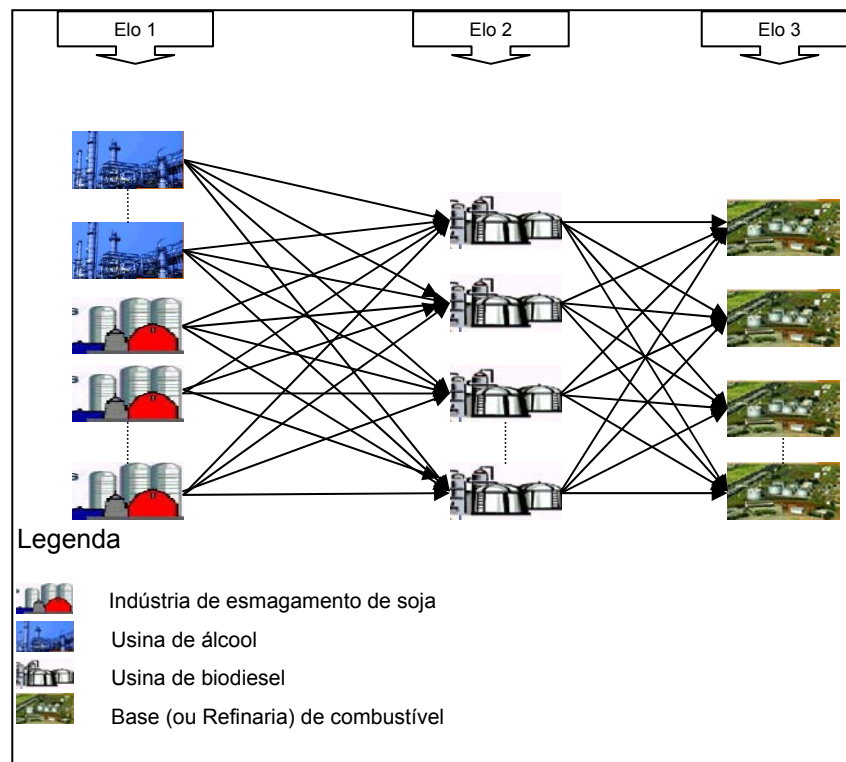


Figura 36 – Simplificação gráfica do modelo de transbordo

Fonte: Elaborada pelo autor

A cada nó de transbordo, considerados locais possíveis para instalar uma fábrica 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.

Um dos problemas encontrados neste modelo (transbordo) foi que ele poderia designar pouca quantidade de fluxo para determinados pontos de transbordo, indicando a instalação de uma fábrica para a produção de pouca quantidade de biodiesel. Para restringir que esse fato ocorresse, 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.

7.1 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 fábricas 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 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 para receber uma usina de biodiesel poderá ter uma fábrica grande e/ou média.

Para indicar, no modelo, a questão do tamanho de fábrica, optou-se por acrescentar, para cada alternativa de localização (Elo 2), um outro destino, representando uma fábrica média. Por exemplo, a alternativa Passo Fundo será representada, no modelo, por dois pontos: Passo Fundo 1 (fábrica grande) e Passo Fundo 2 (fábrica 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 fábrica, 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.

7.1.1 Função objetivo

O modelo a ser utilizado diz respeito à minimização de uma função objetivo 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 . $b_j \in \{0,1\}$

7.1.2. Restrições

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

- [oferta de óleo]

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

- [oferta de álcool]

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

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

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

- [fluxos de balanceamento ponto de transbordo]

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

- [fluxos de balanceamento ponto de transbordo]

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

- [demanda base de distribuição]

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

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 contrário;

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 objetivo (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 cliente).

7.1.3 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 indústria podem não estar 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 este modelo não está incorporando 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.

8 TESTE DO MODELO E MENSURAÇÃO DOS PARÂMETROS

Neste capítulo, será testado o modelo, apresentado no capítulo 7, no contexto do Estado do Rio Grande do Sul. Para tanto, todos os parâmetros listados, na seção anterior, serão quantificados e descritos, alguns com bastante precisão, outros com base em previsões e/ou aproximações devido à dificuldade operacional de levantar tais dados. É importante frisar que a principal contribuição do modelo é a flexibilidade, permitindo a sua aplicação em contextos diversos, com distintos parâmetros e podendo fornecer diferentes soluções, conforme os dados de entradas (parâmetros).

A seguir, estão mensurados os parâmetros, ou seja, os fatores não controláveis do ambiente onde se encontra o sistema - cadeia do biodiesel no Rio Grande do Sul.

8.1 PARÂMETROS DO ELO 1

Primeiramente, serão identificados os parâmetros dos nós do Elo 1 do problema que são os locais onde se encontram os fornecedores (indústrias de esmagamento de soja e usinas de álcool), as suas respectivas capacidades e os custos de transportes até o Elo 2 (locais para fábricas de biodiesel).

a) Conjunto das regiões fornecedoras de óleo de soja

Para simplificar a modelagem, serão agrupadas as dezesseis indústrias de grande porte de processamento de soja (ver capítulo 5), em atividade no Estado, em sete nós (indústrias

localizadas em cidades próximas foram agrupadas em um nó). O conjunto I, então, é representado pelas seguintes cidades: Canoas, Lajeado, Passo Fundo, Rio Grande, Guarani das Missões, Três Passos e Veranópolis. Por ser uma indústria de baixa capacidade, optou-se por excluir do modelo a indústria Pindorama, localizada em Panambi.

- b) Capacidade de cada região fornecedora de óleo de soja da região i (tonelada/ano) - $i \in I$

As indústrias localizadas em regiões próximas foram agrupadas em nós, por exemplo, o nó de Canoas representa as indústrias Bunge e Bianchini. Apesar de estar localizada em Esteio, considera-se como localização o ponto de Canoas devido à proximidade (± 20 km), facilitando o cálculo do modelo. Cada nó, portanto, representa a capacidade total das indústrias a ele relacionadas.

A capacidade anual de fornecimento de óleo de soja foi definida com base na capacidade diária de esmagamento de soja fornecido pelo Sindicato de Óleos (SIOLEO, 2006). Para chegar à capacidade de fornecimento de óleo de soja anual, consideraram-se 300 dias de operações e uma taxa de conversão de soja para óleo bruto de 17%. Além disso, considerou-se que as indústrias de esmagamento estivessem operando em 70% de sua capacidade. Assim, é possível chegar aos seguintes valores:

Tabela 5 – Capacidade de fornecimento de óleo de soja por “nós”

Nós (Cidade)	Capacidade fornecimento óleo (ton/ano)
Canoas	78.540
Lajeado	99.960
Passo Fundo	107.100
Rio Grande	235.620
Guarani das Missões	79.254
Três Passos	71.400
Veranópolis	24.990
Total	814.674

Fonte: Elaborada pelo autor, baseada em dados do SIOLEO (2006)

c) Conjunto das regiões fornecedoras de álcool

Conforme visto anteriormente (cap. 5.1), considera-se como ponto fornecedor de álcool o centro coletor de Londrina.

d) Capacidade da usina de álcool a (tonelada/ano), $a \in A$

Como este nó é um centro coletor, estima-se que não haverá restrição de oferta para suprir uma demanda derivada da produção de biodiesel. Portanto, será designado um valor fictício igual ou maior que a demanda de álcool.

A seguir, serão definidos os parâmetros para o Elo 2.

8.2 PARÂMETROS DO ELO 2

a) Conjunto das alternativas de locais para instalar as usinas de biodiesel

Este conjunto é representado pelas alternativas de locais para a instalação de plantas de biodiesel. É com base nas alternativas escolhidas pelo tomador de decisão que o modelo determinará qual desses locais minimizará o custo de transporte. Neste estudo, os locais escolhidos estão baseados nas intenções públicas de instalar fábricas de biodiesel nas seguintes cidades:

- Cachoeira do Sul – a empresa Granol pretende instalar uma usina (RIBEIRO, 2006);
- Cruz Alta – a Cooperativa Central Agroindustrial Noroeste – (COCEAGRO) planeja instalar uma usina de biodiesel (RUBIN, 2006);
- Passo Fundo – a empresa BSbios planeja instalar uma usina (RIBEIRO, 2006));
- Rosário do Sul – a empresa Brasil Ecodiesel pretende instalar uma fábrica (RIBEIRO, 2006).
- Veranópolis – a empresa Oleoplan planeja instalar uma usina (RIBEIRO, 2006);

Para colocar a questão da escala (planta grande e planta média), cada cidade será representada por dois nós para diferenciar o custo de instalação. Portanto, esse elo produtor será representado por dez nós ou dez alternativas de localização de usinas de biodiesel.

b) Capacidade da planta de biodiesel e custo de instalação.

Conforme Ferres (2006), a tendência da produção do biodiesel é se consolidar entre grandes e médias plantas regionais. A Tabela 6 indica os custos aproximados de investimento e as capacidades das usinas grandes e médias de biodiesel. Conforme o Dr. Argimiro, em entrevista realizada, a questão da escala é importante para viabilizar a produção do biodiesel, sendo assim não será considerada a opção de pequenas plantas (± 8.000 ton/ano).

Tabela 6 – Escala de produção e investimento

Descrição	Capacidade anual (t)	Investimento US\$
Usina grande		
Custos: máquinas e equipamentos (70%)	120.000	15.000.000
Custos: prédios e instalações (30%)		10.500.000
Vida útil: 20 anos		4.500.000
Usina média		
Custos: máquinas e equipamentos (70%)	60.000	10.000.000
Custos: prédios e instalações (30%)		7.000.000
Vida útil 20 anos		3.000.000

Fonte: Baseado nos valores de investimento de plantas LURGI, na Europa (apud FERRES, 2006)

Amortizando esse valor para o tempo de um ano e convertendo para a moeda corrente³, tem-se:

- fábrica grande – R\$ 1.760.250;
- fábrica média – R\$ 1.172.850.

8.3 PARÂMETROS DO ELO 3

a) Demanda de biodiesel em cada base de distribuição

Para estipular a demanda do biodiesel no Estado do Rio Grande do Sul, serão consideradas as vendas de óleo diesel, no Estado, nos últimos seis anos (Tab. 7).

³ Considera taxa de dólar flutuante/média do mês de junho de 2006 – R\$2,3457

Tabela 7 – Vendas de óleo diesel (m³) no Rio Grande do Sul: 2000-2005

Ano	2000	2001	2002	2003	2004	2005	média
Total do ano	2.575.432	2.718.211	2.678.167	2.639.978	2.741.196	2.482.305	2.639.215

Fonte: ANP (BRASIL, 2006)

Como não houve crescimento nas vendas de diesel, nos últimos seis anos, a previsão de demanda será baseada nos últimos seis períodos, mesmo para calcular uma demanda para 2008 e 2013, quando entrará em vigor o B5. Visto que a Lei obrigará adicionar um mínimo de 2% de biodiesel, para o ano de 2008, no diesel comercializado, então, a demanda de B2 representará em torno de 2% de uma demanda de diesel.

Fazendo uma média, nesses seis últimos anos, chega-se aos seguintes valores de demanda de biodiesel no Rio Grande do Sul, conforme a porcentagem de mistura (Tab. 8):

Tabela 8 – Perspectiva de demanda de biodiesel

Demanda de biodiesel para 2006 (2% adicionado no diesel)		m ³	ton
B2 – 2008	2%	52.784,29	46.844,42
B5 – 2013	5%	131.960,74	117.111,05
B10 – 2020	10%	263.921,47	234.222,11

Fonte: Elaborada pelo autor, baseado nos dados da ANP (BRASIL, 2006)

Visto que a mistura com o éster (biodiesel puro) será feita nas bases de distribuição e refinarias de combustíveis, considerar-se-á uma demanda para cada base, conforme a região a qual ela servirá. Por exemplo, a base de Canoas, por estar no centro metropolitano - maior demanda de diesel no Estado -, demandará maior quantidade de biodiesel para misturar ao diesel que é produzido pela REFAP. Como as bases de Esteio e Canoas estão próximas, considerou-se como um ponto (nó) de demanda para cálculo do modelo. Portanto, a demanda para cada base de distribuição, conforme a proporção da mistura, será a seguinte:

Tabela 9 – Demanda das bases de distribuição para B2, B5 e B10 (ton)

Locais	B2	B5	B10	Demanda
Canoas	32.566,76	81.416,90	162.833,80	70%
Rio Grande	4.652,39	11.630,99	23.261,97	10%
Cruz Alta	2.326,20	5.815,49	11.630,99	5%
Passo Fundo	2.326,20	5.815,49	11.630,99	5%
Ijuí	1.395,72	3.489,30	6.978,59	3%
Santa Maria	1.395,72	3.489,30	6.978,59	3%
Uruguaiana	930,48	2.326,20	4.652,39	2%
Bagé	930,48	2.326,20	4.652,39	2%
Total	46.524	116.310	232.620	100%

Fonte: Elaborada pelo autor

O próximo parâmetro a ser quantificado é o custo de transporte.

8.4 CUSTO DE TRANSPORTE

Esse parâmetro é o critério de otimização do modelo apresentado no capítulo 7. Graficamente, o custo de transporte é representado pelo arco que liga os nós entre os elos:

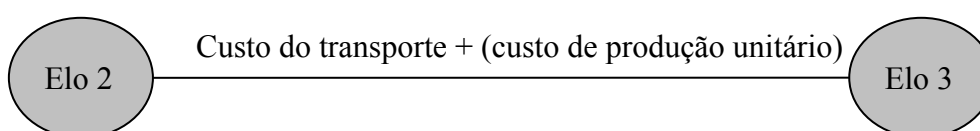


Figura 37 – Exemplo de arco que liga os nós

O custo será mensurado multiplicando o custo do frete unitário de transportar uma tonelada por quilômetro pela distância entre os elos (nós fornecedores, nós de transbordo, nós de clientes). Não será considerado o custo dos pedágios e nem o custo unitário dos insumos. Por serem *commodities*, o álcool e o óleo de soja, será considerado que o preço desses insumos é o mesmo em cada fornecedor e, portanto, não influenciará na localização de fábricas de biodiesel. Entretanto, para aplicações em contextos diferentes podem-se incluir os

custos dos produtos, nesse parâmetro, apenas somando seu custo unitário com o frete unitário e multiplicando pela quantidade.

Vale lembrar que o valor do frete varia muito de acordo com a negociação entre contratante e transportadora. Conforme Caixeta-Filho (1998), o mercado de frete rodoviário, no Brasil, não sofre nenhum tipo de controle pelo Governo, e os preços são formados pela livre negociação entre a oferta e a procura pelo serviço de transporte (GAMEIRO, 2003, p. 90). Os valores utilizados neste modelo estão atualizados, tendo por parâmetro o mês de maio de 2006.

A seguir, serão apresentados os parâmetros de custos de transporte do modelo:

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

Será considerado como custo de transporte o frete médio do transporte de uma tonelada de óleo de soja por km: 0,1197 (R\$/ton.km)⁴.

c_{aj} = custo de transporte de álcool fornecido pela usina a para a usina de biodiesel j (R\$/ton).

Os custos de transporte serão baseados nos fretes gerais para transporte ferroviário da empresa América Latina Logística, proprietária da malha ferroviária da região Sul do Brasil:

Tabela 10 – Fretes gerais para transporte ferroviário

Faixas quilométricas	R\$/ton.km
até 400 km	0,12527
de 401 a 800 km	0,11271
de 801 a 1600 km	0,0876
de 1601 km em diante	0,06283

Fonte: ANTT (2006)

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

Será considerado o mesmo custo do transporte do óleo de soja, considerando como modal o transporte rodoviário.

⁴ Preço médio de frete para transportar óleo de soja à granel, no período de 20/05/2006 a 23/06/2006 (SIFRECA, 2006).

8.5 RESULTADO DO MODELO

Devido à complexidade do modelo, foi utilizado o *software* Lingo v.8.0 para resolver a função objetivo e as restrições do problema de transbordo, propostos no capítulo 7, para a escolha dos locais que minimizem os custos de transporte para a instalação de fábricas de biodiesel.

Para a determinação dos locais de instalação de fábricas de biodiesel, formularam-se quatro cenários. No primeiro cenário, foram consideradas as cinco alternativas de localização mencionadas anteriormente, cada uma com a possibilidade de instalar uma usina de capacidade média e/ou grande (Capítulo 8.2) e uma demanda de B2 (2% de biodiesel adicionado em todo diesel previsto para ser comercializado) para o ano de 2008.

No segundo e terceiro cenário, foram mantidas as mesmas cinco alternativas de localização, no entanto com uma demanda de B5, que é a mistura máxima permitida para comercialização entre 2008 a 2013, e B10, respectivamente.

No quarto cenário, foi acrescentada uma alternativa de localização para testar a sensibilidade dos resultados. A alternativa é a cidade de Canoas, escolhida por ser um local perto da região de maior demanda (ver capítulo 8.3) como também de dois fornecedores. O objetivo é testar o modelo e observar as variações no resultado.

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 e médio.

8.5.1 Cenário 1

Num cenário de demanda de B2, ou seja, necessidade de produzir 46.524 toneladas de biodiesel para atender à necessidade do Estado, fica visível que uma usina média seria suficiente. O modelo escolheu a alternativa de Veranópolis, como pode ser visualizado na Tabelas 11 a 13.

Tabela 11 – Fluxo do insumo óleo de soja (ton) entre o Elo 1 e Elo 2 para B2

Elo 1 Indústria de esmagamento de soja	Elo 2 - Locais para instalar usinas					
	Passo Fundo (usina média)	Veranópolis	Cruz Alta	Rosário do Sul	Cachoeira do Sul (usina média)	Total
Canoas	–	–	–	–	–	–
Lajeado	–	19.905,61	–	–	–	–
Passo Fundo	–	–	–	–	–	–
Rio Grande	–	–	–	–	–	–
Guarani das Missões	–	–	–	–	–	–
Três Passos	–	–	–	–	–	–
Veranópolis	–	24.990,00	–	–	–	–
Total	–	44.895,61	–	–	–	44.895,61

Fonte: elaborada pelo autor, baseado nos resultados do modelo

Tabela 12 – Fluxo do álcool (ton) entre o Elo 1 e Elo 2 para B2

Centros coletores	Elo 2 - Locais para instalação de usinas de biodiesel					
	Passo Fundo	Veranópolis	Cruz Alta	Rosário do Sul	Cachoeira do Sul	Total
Elo 1 – Londrina	–	7.258	–	–	–	7.258

Fonte: elaborada pelo autor, baseado nos resultados do modelo

Tabela 13 – Fluxo de biodiesel (ton) entre o Elo 2 e Elo 3 para B2

Elo 2 Locais para instalação de usinas	Elo 3 - Bases de distribuição								
	Canoas	Rio Grande	Cruz Alta	Passo Fundo	Ijuí	Santa Maria	Uruguaiana	Bagé	Total
Passo Fundo	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Veranópolis	32.566,76	4.652,39	2.326,20	2.326,20	1.395,72	1.395,72	930,48	930,48	46.524
Cruz Alta	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Rosário do Sul	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Cachoeira do Sul	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Demanda	32.566,76	4.652,39	2.326,20	2.326,20	1.395,72	1.395,72	930,48	930,48	46.524

Fonte: elaborada pelo autor, baseado nos resultados do modelo

Como os custos de instalações foram considerados iguais para todas as opções, o modelo escolheu localizar uma usina média (60 mil toneladas/ano), na cidade de Veranópolis. Portanto, é neste ponto que os custos de transporte entre fornecedor-produtor e produtor-cliente estão minimizados. Na própria cidade, há um possível fornecedor de óleo de soja, mas como sua capacidade estipulada de fornecimento não é suficiente, o restante será comprado da localidade de Lajeado. Como a cidade de Veranópolis fica mais próxima da maior região de demanda (base de distribuição de Canoas), é considerada a região mais apropriada para suprir este ponto de demanda.

8.5.2 Cenário 2

Considerando as mesmas alternativas de localização e mudando o parâmetro de demanda para B5, ou seja, uma demanda de 116.309,86 toneladas de biodiesel para o Estado do Rio Grande do Sul, têm-se os seguintes resultados:

Tabela 14 – Fluxo de biodiesel (ton) entre o Elo 1 e Elo 2 para B5

Elo 1 Indústria esmagadora de soja	Elo 2 - Locais para instalar fábricas					
	Passo Fundo	Veranópolis (Usina Grande)	Cruz Alta	Rosário do Sul	Cachoeira do Sul	Total
Canoas	–	–	–	–	–	–
Lajeado	–	87.249,01	–	–	–	–
Passo Fundo	–	–	–	–	–	–
Rio Grande	–	–	–	–	–	–
Guarani das Missões	–	–	–	–	–	–
Três Passos	–	–	–	–	–	–
Veranópolis	–	24.990,00	–	–	–	–
Total	–	112.239	–	–	–	112.239

Fonte: elaborada pelo autor, baseado nos resultados do modelo

Tabela 15 – Fluxo de biodiesel (ton) entre o Elo 2 e Elo 3 para B5

Elo 2 Locais para instalação fábricas	Elo 3 - Bases de distribuição								
	Canoas	Rio Grande	Cruz Alta	Passo Fundo	Ijuí	Santa Maria	Uruguaiana	Bagé	Total
Passo Fundo	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Veranópolis	81.416,90	11.630,99	5.815,49	5.815,49	3.489,30	3.489,30	2.326,20	2.326,20	–
Cruz Alta	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Rosário do Sul	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Cachoeira do Sul	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Demanda	81.416,90	11.630,99	5.815,49	5.815,49	3.489,30	3.489,30	2.326,20	2.326,20	116.309,86

Fonte: elaborada pelo autor, baseado nos resultados do modelo

Tabela 16 – Fluxo de álcool (ton) entre o Elo 1 e Elo 2 para B5

Centros coletores	Elo 2 - Locais para instalação de usinas de biodiesel					
	Passo Fundo	Veranópolis	Cruz Alta	Rosário do Sul	Cachoeira do Sul	Total
Elo 1- Londrina	–	18.144,34	–	–	–	18.144,34

Fonte: elaborada pelo autor, baseado nos resultados do modelo

Assim como no primeiro cenário, o modelo designou a cidade de Veranópolis para a produção de B5. Como a demanda ultrapassou a capacidade de uma usina média, conseqüentemente, foi requisitada a instalação de uma usina grande (120.000 toneladas/ano).

8.5.3 Cenário 3

Neste cenário, foi estipulada uma demanda para B10, ou seja, a necessidade de produzir 232.619,72 toneladas de biodiesel. Visto que, atualmente, já se adiciona em torno de 20% de álcool à gasolina para automóveis, é provável que a proporção de biodiesel adicionado no diesel aumente no decorrer das próximas décadas. Neste cenário, têm-se os seguintes resultados:

Tabela 17 – Fluxo do insumo óleo de soja (ton) entre o Elo 1 e Elo 2 para B10

Elo 1 Indústria esmagadora de soja	Elo 2 - Locais para instalar fábricas					
	Passo Fundo (Usina grande)	Veranópolis (Usina grande)	Cruz Alta	Rosário do Sul	Cachoeira do Sul	Total
Canoas	–	–	–	–	–	–
Lajeado	1.578	90.810	–	–	–	92.388
Passo Fundo	107.100	–	–	–	–	107.100
Rio Grande	–	–	–	–	–	–
Guarani das Missões	–	–	–	–	–	–
Três Passos	–	–	–	–	–	–
Veranópolis	–	24.990	–	–	–	24.990
Total	108.678	115.800	–	–	–	224.478

Fonte: elaborada pelo autor, baseado nos resultados do modelo

O fluxo de biodiesel para as bases de distribuição apresenta-se na Tabela 18:

Tabela 18 – Fluxo do biodiesel (ton) entre o Elo 2 e Elo 3 para B10

Elo 2 Locais para instalação de fábricas	Elo 3 - Bases de Distribuição								
	Canoas	Rio Grande	Cruz Alta	Passo Fundo	Ijuí	Sta. Maria	Uruguaiana	Bagé	Total
Passo Fundo	42.833,80	23.261,97	11.630,99	11.630,99	6.978,59	6.978,59	4.652,39	4.652,39	112.620
Canoas	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Veranópolis	120.000,00	–	–	–	–	–	–	–	120.000
Cruz Alta	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Rosário do Sul	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Cachoeira do Sul	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Demanda	162834	23262	11631	11631	6979	6979	4652	4652	232.619,72

Fonte: elaborada pelo autor, baseado nos resultados do modelo

Tabela 19 – Fluxo de álcool (ton) entre o Elo 1 e Elo 2 para B10

Centros coletores	Elo 2 - Locais para instalação de usinas de biodiesel					
	Passo Fundo	Veranópolis	Cruz Alta	Rosário do Sul	Cachoeira do Sul	Total
Elo 1-Londrina	17.569	18.720	–	–	–	36.288,68

Fonte: elaborada pelo autor, baseado nos resultados do modelo

Para B10, tem-se a necessidade de construir duas usinas de tamanho grande (120.000 toneladas), nas cidades de Veranópolis e Passo Fundo. A usina de Veranópolis, por estar mais próxima ao principal consumidor (refinaria de Canoas) irá atender apenas este ponto, enquanto que a de Passo Fundo, além de atender parte da demanda da refinaria de Canoas, irá suprir as demais bases.

8.5.4 Cenário 4

Neste cenário, foi incluída a alternativa de localização de uma usina, na cidade de Canoas, tendo em vista que este ponto está próximo a dois potenciais fornecedores de óleo de soja e ao principal ponto de demanda, para uma demanda de B5.

Tabela 20 – Fluxo do insumo óleo de soja (ton) entre o Elo 1 e Elo 2 para B5, adicionando um ponto de transbordo (Canoas)

Elo 1 Indústria esmagadora de soja	Elo2 - Locais para instalar fábricas						
	Passo Fundo	Canoas	Veranópolis	Cruz Alta	Rosário do Sul	Cachoeira do Sul	Total
Canoas	–	78.540	–	–	–	–	–
Lajeado	–	33.699,01	–	–	–	–	–
Passo Fundo	–	–	–	–	–	–	–
Rio Grande	–	–	–	–	–	–	–
Guarani das Missões	–	–	–	–	–	–	–
Três Passos	–	–	–	–	–	–	–
Veranópolis	–	–	–	–	–	–	–
Total	–	112.239,01	–	–	–	–	112.239,01

Fonte: elaborada pelo autor, baseado nos resultados do modelo

Tabela 21 – Fluxo do biodiesel (ton) entre o Elo 2 e Elo 3 para B5, adicionando um ponto de transbordo (Canoas)

Elo 2 Locais para instalação de fábricas	Elo 3 - Bases de distribuição								
	Canoas	Rio Grande	Cruz Alta	Passo Fundo	Ijuí	Santa Maria	Uruguaiana	Bagé	Total
Passo Fundo	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Canoas	81.416,90	11.630,99	5.815,49	5.815,49	3.489,30	3.489,30	2.326,20	2.326,20	116.309,86
Veranópolis	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Cruz Alta	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Rosário do Sul	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Cachoeira do Sul	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Demanda	81.416,90	11.630,99	5.815,49	5.815,49	3.489,30	3.489,30	2.326,20	2.326,20	116.309,86

Fonte: elaborada pelo autor, baseado nos resultados do modelo

Tabela 22 – Fluxo do álcool (ton) entre o Elo 2 e Elo 3 para B5, adicionando um ponto de transbordo (Canoas)

Centros coletores	Fluxo do álcool						Total
	Passo Fundo	Canoas	Veranópolis	Cruz Alta	Rosário do Sul	Cachoeira do Sul	
Elo 1-Londrina	–	18.144	–	–	–	–	18.144

Fonte: elaborada pelo autor, baseado nos resultados do modelo

Como já era esperado, a cidade mais atrativa para a construção de uma usina de biodiesel foi a cidade de Canoas. Ressalta-se, aqui, que se parte da premissa que as indústrias de esmagamento de soja, localizadas próximas a essa potencial usina em Canoas, (BIANCHINI; BUNGE – SOLAE) irão fornecer óleo de soja ao mesmo preço das esmagadoras localizadas no interior do Estado.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo a proposição de um modelo para auxiliar a tomada de decisão quanto à localização de plantas de biodiesel no Rio Grande do Sul. Após descrever a cadeia 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 fluxo 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 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 e Bunge – Solae, existe um forte indício que a melhor opção para localizar uma planta de biodiesel seja a proximidade de um desses três pontos.

Admitindo, porém, a possibilidade das esmagadoras Bianchini e Bunge terem outro destino para esse óleo, já que são as únicas indústrias de esmagamento de óleo de soja, próximas ao mercado consumidor e relativamente distantes das áreas de produção de soja, testou-se um modelo com outra localização, excluindo-se, assim, a cidade de Canoas (cenários 1-3). Conseqüentemente, o modelo designou, dentre as opções de localização, a cidade mais próxima ao principal ponto de demanda, no caso, a cidade de Veranópolis.

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 (ver cap. 2.3.2).

Dentre os projetos de investimento de usinas de biodiesel no Estado, conforme a tabela 23, constata-se que o melhor local, aquele que minimiza o custo com transporte, é a usina Oleoplan. 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.

Tabela 23 – Projetos de plantas de biodiesel no Rio Grande do Sul

Usina	Local	Capacidade em m ³ /ano	Toneladas/ano
Brasil Ecodiesel	Rosário do Sul	100.000	88.747
Coceagro	Cruz Alta	40.000	35.499
Granol	Cachoeira do Sul	100.000	88.747
BSBios	Passo Fundo	100.000	88.747
Oleoplan	Veranópolis	66.000	58.573
		406.000	360.312

Fonte: RIBEIRO (2006)

Contudo, mesmo que o biodiesel possa oferecer vantagens ambientais e geração de emprego no campo, só vai substituir completamente o diesel, quando seu preço for mais competitivo que este e houver oferta abundante de matéria-prima para a produção de óleos vegetais a um custo competitivo.

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. Porém, é preciso, ainda,

analisar o comportamento do preço-soja, que é uma *commodity*, com valor atrelado à Bolsa de Nova York e com inúmeros destinos comerciais com o mercado de alimentos e com o possível aumento da demanda em virtude do biodiesel. Em razão disso, é difícil fazer uma previsão precisa da demanda futura, de forma a orientar investimentos produtivos.

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

O projeto nacional de inserção do biodiesel na matriz dos combustíveis é uma iniciativa promissora para o desenvolvimento 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.

9.1 LIMITAÇÕES DA PESQUISA E SUGESTÕES DE NOVAS PESQUISAS

Considerando a complexidade do assunto, adotaram-se algumas restrições que permitiram assegurar um nível de certeza maior nas conclusões, tendo em vista os objetivos centrais desse trabalho e, no decorrer da pesquisa, foram encontradas algumas limitações quanto ao estudo realizado, que podem servir como oportunidade para pesquisas futuras.

O modelo apresentado visou a otimizar a cadeia produtiva do biodiesel, indicando os locais e a distribuição, dentre as alternativas, que minimizariam os custos totais de instalação e transporte das usinas de biodiesel. É claro que outros fatores podem, também, influenciar as decisões de localização, alguns não monetários e de difícil mensuração. Entretanto, esses fatores podem e devem ser analisados em decisões individuais, especialmente, quando eles não podem ser considerados num modelo dessa magnitude. Sendo assim, apesar de o modelo buscar a minimização do custo de transporte, os custos individuais (de um empresário/indústria) podem não estar minimizados. Portanto o modelo deve ser aprimorado quando o objetivo for orientar a decisão de investimento de entidade individual - empresa. Seriam interessantes pesquisas que utilizassem ferramentas da análise de investimento e

engenharia econômica para estudar a viabilidade econômica e financeira das usinas de biodiesel.

Outra importante limitação diz respeito à estrutura da cadeia de produção do biodiesel e à mensuração dos parâmetros de entrada do modelo. Como a cadeia do biodiesel está em formação, este estudo prospectou, com base nas entrevistas e publicações, quem seriam os principais atores da cadeia produtiva: os fornecedores (indústrias de óleo e de etanol), os clientes (bases de distribuição e refinarias) e as alternativas de instalação de usinas de biodiesel. Com o andamento da estruturação dessa cadeia produtiva, novas pesquisas serão importantes para analisar a dinâmica e a interatividade desses atores.

Este trabalho não considerou a logística da glicerina, que é um importante subproduto da produção de biodiesel. Surge, assim, a oportunidade de realizar pesquisas a fim de analisar o valor e as aplicações comerciais da possível produção, em larga escala, desse subproduto que apresenta aplicações para a indústria alimentícia, farmacêutica, do tabaco e bélica, entre outros usos.

Por fim, este trabalho configurou a cadeia produtiva de biodiesel baseado na fonte da matéria-prima soja, entretanto sabe-se que outras oleaginosas podem ser fontes de óleo para biodiesel. Novas pesquisas poderiam estudar o uso de fontes como a mamona e o dendê, por exemplo, para a produção de biodiesel, tanto para o Rio Grande do Sul como para o país.

Conforme Pidd (1998), as impressões do mundo são sempre parciais, tanto no sentido que não se vivencia toda a realidade quanto no sentido da influência que se recebe dela. Portanto, ao desenvolver o modelo, foram necessárias algumas projeções e aproximações da realidade para construir um modelo de forma suficientemente bem definida, para que, pelo menos, o problema da localização e distribuição pudesse ser interpretado e argumentado por outras pessoas.

Outra consideração a ser feita é que o modelo pode estar subotimizado (ver cap.2.2.3), visto que não se consideraram todos os elementos da cadeia produtiva do biodiesel, como o elo de produção agrícola, a disponibilidade de outras fontes de óleos, com uma demanda para exportação e co-produtos, entre outros aspectos.

REFERÊNCIAS

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

ALVIM, C. F. Relatório Preliminar do Projeto Fornecimento de instrumento de avaliação de emissão de gases de efeito estufa a uma matriz energética. Disponível em: <http://www.ecen.com/eee30/s_trnsp9.htm> **Economia & Energia**, out. 2001. Acesso em: maio 2006

ANDRADE, Eduardo Leopoldino de. **Introdução à pesquisa operacional**: métodos e técnicas para análise de decisão. Rio de Janeiro: LTC, 1989.

ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres. Banco de dados. Disponível em: <<http://www.antt.gov.br/>> Acesso em: maio 2006.

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

BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos**: Planejamento, organização e logística empresarial. Porto Alegre: Bookman, 2001.

BRANDEAU, M.L.; CHIU, S.S. An overview of representative problems in location research. **Management Science**, v. 35, n. 6, June 1989.

BRASIL. ANP - Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Dados Estatísticos. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/>> Acesso em: 15 mar. 2005-a.

BRASIL. Decreto 5.448. Autoriza a adição de dois por cento, em volume, de biodiesel ao óleo diesel. Presidência da República, Brasília, DF, 2005-b.

BRASIL. MDIC - Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Base de Dados. Disponível em <<http://www.mdic.gov.br/>> Acesso em: jul. 2006-a.

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

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

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

CAIXETA-FILHO, José Vicente. Sistema de informações de fretes para cargas agrícolas: concepção e aplicações. **Revista Brasileira de Agroinformática**, v.1, n.1, p.42-52, set. 1998.

CAIXETA FILHO, Jose Vicente; MARTINS, Ricardo S. (org). **Gestão logística do transporte de carga**. São Paulo: Atlas, 2001.

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.

COFIMT – Coordenadoria de Fiscalização de Mercadoria em Trânsito. Distância entre todas as cidades do Brasil. Disponível em: <<http://www.sefaz.ms.gov.br/cofimt/>>. Acesso em: maio 2005.

COPPER, L. Solutions of generalized location equilibrium models. **J. Reg. Sci.**, v. 7, p. 1-18, 1967.

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

DORNELLES, R. Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel. In: REUNIÃO DO GRUPO DE TRABALHO DE LOGÍSTICA DO BIODIESEL, 1ª, 18 maio 2006, Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/>>. Acesso em: 24 jul. 2006.

DUMIT, C. **O transporte ferroviário de carga no Brasil: Estudo de caso do transporte de combustíveis na Região Sul**. Rio de Janeiro: PUCRJ, 2005. Dissertação de Mestrado (Mestrado Profissional em Engenharia Industrial) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2005.

ESTADOS UNIDOS. National Biodiesel Board. Disponível em: <<http://www.biodiesel.org/>> Acesso em: maio 2005. Estados Unidos, 2005.

FERRES, Diego. Palestra. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE BIODIESEL (ABIOVE/TECPAR), 2003, Curitiba, **Anais**. [s.n.], 2003.

FERRES, J. D. Novo Desafio: Preservar a oferta de alimento... Agregar nova opção de biocombustível. In: SEMINÁRIO BNDES: investimento em biodiesel, março 2006, BNDES, Rio de Janeiro. Disponível em:<http://www.bndes.gov.br/conhecimento/publicacoes/catalogo/s_biodiesel.asp> Acesso em: jul. 2006.

FREITAS, Maria de Fátima. **Informações Econômicas**, São Paulo, v.34, n.1, jan. 2004.

GALVÃO, R. D. Modelos e algoritmos para problemas de localização em redes. **Pesquisa Operacional**, v. 1, n.1, out. 1981.

GUANDALINI, Guiliano; BORSATO, Cíntia. A auto-suficiência chega em boa hora, mas ela é fruto também do pífio avanço do PIB brasileiro. **VEJA**, 26 abr. 2006.

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.

HAKIMI, S.L. Optimum location of switching centers and the absolute centers and medians of a graph. **Opns. Res.**, v. 12, p. 450-9, 1964.

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

HURT, V.R.; TRAMEL, T. E. Alternative formulation of the transshipment problem. **J Farm Econ**, n. 47, p. 763-73, 1965.

IBGE. Produção Agrícola Municipal (PAM). Instituto Brasileiro de Geografia Estatística. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: maio 2006.

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

JUAREZ F.; ROMERO C. An optimum location and size model for a food-processing plant in continuous space. **Agric Syst**, n. 22, p. 71-6, 1986.

KING, G.A.; LOGAN, S.H. Optimal location, number and size of processing plants with raw product shipments. **J Farm Econ**, n. 46, p. 730-7, 1964.

KLINGMAN D.; RANDOLPH P.H.; FULLER S.W. A cotton ginning problem. **Opn Res**, n. 24, p. 700-17, 1976.

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.

KRARUP, J.; PRUZAN P.M. The single plant location problem: survey and synthesis: **Eur J Opl Res**, n. 12, p.36-81, 1983.

LACERDA, L. Considerações sobre o estudo de localização de instalações. In: FLEURY, P. et al. (Org.). **Logística empresarial: a perspectiva brasileira**. São Paulo: Atlas, 2000. p. 160-6.

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.

LUCAS, M.T; CHHAJED, D. Applications of location analysis in agriculture: a survey. **Journal of the Operational Research Society**, 2004, v. 55, p. 561-78.

MACEDO, G.A.; MACEDO, J.A. Produção de biodiesel por transesterificação de óleos vegetais. **Biociência**, n. 32, jan.-jun. 2004.

MALIGO, Carlos. **Modelo para simulação da operação de carregamento de caminhões-tanque em uma base de distribuição de combustíveis automotivos**. Rio de Janeiro:

PUCRJ, 2005. Dissertação (Mestrado em Logística) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2005.

MEHER, L. C.; VIDYA SAGAR, D.; NAIK, S. N. Technical aspects of biodiesel production by transesterification – a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n.10, p.248-68, 2006.

MEIRELLES, F. de S. Biodiesel. Brasília, set. 2003. Disponível em: <<http://faespsenar.com.br/faesp/economico>> Acesso em: 10 out. 2005.

MONKS, Joseph G. **Administração da produção**. São Paulo: McGraw-Hill, 1987. p. 55-86.

MOREIRA, Daniel A. **Administração da produção e operações**. São Paulo: Pioneira, 1993. p. 175-207.

MORRIS, J.G. A linear programming solution to the generalized rectangular distance Weber problem. **NRLQ**, v. 22, p. 155-67, 1975.

MOTTA, Fernando C.; VASCONCELOS, Isabella F. G. **Teoria geral da Administração**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.

NAPPO, Marcelo. Competitividade econômica do Biodiesel no Brasil. In: SEMINÁRIO BIODIESEL NO RIO GRANDE DO SUL, 2005, REFAP, Canoas. Disponível em: <<http://www.refapsa.com.br/biodiesel/>>. Acesso em: 1º jun. 2005.

NOGUEIRA, L.A.H.; PIKMAN, B. Biodiesel: Novas perspectivas de sustentabilidade. **Conjuntura e Informação**. Brasília, n. 19, p. 2-4, ago.-dez. 2002. Disponível em <http://www.anp.gov.br/doc/informe_ci/CI_n_19.pdf> Acesso em: abr. 2005.

NOGUEIRA, L.A.H. et al. **Dendroenergia**: fundamentos e aplicações. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2000. p. 43.

OLIVEIRA, L. B; COSTA, A. O. Biodiesel: uma experiência de desenvolvimento sustentável. IVIG/COPPE/UFRJ. 2001. 14p.

ORDEN A. The transshipment problem. **Mgmt Sci**, n.2, p. 277-85, 1956.

PARENTE, E. J. de S. **Biodiesel**: uma aventura tecnológica num país engraçado. Fortaleza: Tecbio, 2003. 68p.

PAULA, Sérgio Roberto de; FAVARET FILHO, Paulo. Panorama do complexo soja. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro: BNDES, n. 8, p. 119-52, set. 1998.

PETROBRAS. Banco de Dados. Disponível em:<<http://www.petrobras.com.br>> Acesso em: mar. 2006.

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, J.A. Existe viabilidade econômica para o biodiesel no Brasil? **Indicadores Econômicos**. FEE, Porto Alegre, v.32, n.4, p. 271-94, mar. 2005.

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

PRAMANIK, T.; TRIPATHI, S. Biodiesel: clean fuel of the future. **Hydrocarbon Processing**, fev. 2005.

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.

RUBIN, P. Investimento de olho no biodiesel. **Zero Hora**, Porto Alegre, p. 2, 5 maio 2006. Campo e Lavoura.

SHAMBLIN, J. E.; STEVENS, G. T. **Pesquisa Operacional**: uma abordagem básica. São Paulo: Atlas, 1979.

SHIMIZU, Tamio. **Decisão nas organizações**: Introdução aos problemas de decisão encontrados nas organizações e nos sistemas de apoio à decisão. São Paulo: Atlas, 2001.

SHRIMPFF, E. Planeta óleo? **Eco Spy**, n. 5, p.32-4, 2006

SIFRECA – Sistema de Informações de Fretes. Momentos do transporte. Disponível em: <<http://sifreca.esalq.usp.br>> Acesso em: jul. 2006.

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.

STOLLSTEIMER J.F. A working model for plant location numbers and locations. **J Farm Econ**, n. 45, p. 631-45, 1963.

TEIXEIRA, André L. M. **Uma abordagem para estudo de viabilidade em cadeias oleoquímicas vegetais**: estudo de caso do óleo essencial de eucalipto Cineol no Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: UFRGS, 2001. Dissertação (Mestrado em Administração) – Programa de Pós-Graduação em Administração, Escola de Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.

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

TOFT, H.I.; CASSIDY, P.A.; MCCARTHY, W. O. Sensitivity testing and the plant location problem. **Am J Agric Econ**, n. 52, p. 403-10, 1970.

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

UNICA – União da Agroindústria Canavieira do Estado de São Paulo. Base de Dados. Disponível em: < <http://www.unica.com.br>.> Acesso em: 20 maio 2006.

VON OPPEN, M.; SCOTT, J.T. A spatial equilibrium model for plant location and interregional trade. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 58, n.3, p. 437-45, 1976.

WAGER, HARVEY M. *Pesquisa operacional*. Rio de Janeiro: Prentice-Hall do Brasil, 1986.

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

APÊNDICE A:

ROTEIRO DE ENTREVISTAS UTILIZADO COM OS PESQUISADORES.

- Quais são os projetos de instalação de usinas de biodiesel no Rio Grande do Sul?
- Existe compatibilidade do biodiesel com o diesel?
- Qual será a principal fonte de óleo para o biodiesel no Rio Grande do Sul?
- Como será o processo de distribuição do biodiesel no Estado?
- Existe viabilidade para a construção de uma usina de biodiesel no Estado?
- O biodiesel pode ter problemas de pericibilidade?
- Existe capacidade de oferta de óleo de soja no Estado?
- Qual é o álcool mais indicado para ser utilizado na produção de biodiesel no Brasil: etanol ou metanol?
- A questão da escala poderá interferir na viabilidade do produção do biodiesel?
- Onde será feita a mistura do biodiesel ao diesel?
- Qual é a demanda esperada por biodiesel?
- É necessário fazer adaptações nos motores para o uso do biodiesel?