



**UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA ACADÊMICA
COORDENAÇÃO GERAL DE PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO EM DESENVOLVIMENTO DE PROCESSOS AMBIENTAIS**

PAULO ROBERTO CISNEIROS VIEIRA

**ANÁLISE COMPARATIVA DE INVESTIMENTOS DE
PROCESSOS PRODUTIVOS DE BIODIESEL COM AUXÍLIO
DE UMA PLANILHA ELETRÔNICA**

RECIFE

2014

PAULO ROBERTO CISNEIROS VIEIRA

**ANÁLISE COMPARATIVA DE INVESTIMENTOS DE
PROCESSOS PRODUTIVOS DE BIODIESEL COM AUXÍLIO
DE UMA PLANILHA ELETRÔNICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Processos Ambientais da Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP) como pré-requisito para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento de Processos Ambientais.

Área de Concentração: Desenvolvimento em Processos Ambientais

Linha de Pesquisa: Informática, Modelagem e Otimização de Processos.

Orientador: Prof. Dr. VALDEMIR ALEXANDRE DOS SANTOS

RECIFE

2014

V658a Vieira, Paulo Roberto Cisneiros

Análise comparativa de investimentos de processos produtivos de biodiesel com auxílio de uma planilha eletrônica / Paulo Roberto Cisneiros Vieira ; Valdemir Alexandre dos Santos, 2014.

60, [11] f. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Católica de Pernambuco. Pró-reitoria Acadêmica. Curso de Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais, 2014.

1. Biocombustível. 2. Planilhas eletrônicas. 3. Investimentos – Análise. 3. Biodiesel. I. Título. .

ANÁLISE COMPARATIVA DE INVESTIMENTOS DE PROCESSOS PRODUTIVOS DE BIODIESEL COM AUXÍLIO DE UMA PLANILHA ELETRÔNICA

PAULO ROBERTO CISNEIROS VIEIRA

EXAMINADORES:

Prof. Dr. VALDEMIR ALEXANDRE DOS SANTOS
Universidade Católica de Pernambuco – UNICAP

Profa. Dra. LEONIE ASFORA SARUBBO
Universidade Católica de Pernambuco – UNICAP

Profa. Dra. LUCIA HELENA DA SILVA MACIEL XAVIER
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

Defendida em 24/02/2014

Coordenadora: Profa. Dra. CLARISSA DAISY DA COSTA ALBUQUERQUE.

Dedico este esforço aos meus filhos Daniele,
Paulo Júnior e Rodolfo Borille, como uma contribuição mínima
de incentivo à busca do contínuo aperfeiçoamento.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus, criador incriado de tudo e de todos, pela oportunidade da vida; agradeço a minha esposa e companheira de todas as horas, por sua ajuda e apoio em minha vida;

Agradeço à todos os professores e professoras do Programa de Mestrado em Desenvolvimento de Processo Ambiental por haverem contribuído para o meu enriquecimento profissional. Em particular, à professora Eliane Cardoso de Vasconcelos por sua substancial contribuição na elaboração do projeto inicial e transmissão generosa de seu conhecimento.

Ao meu professor orientador, eterno mestre, Dr. Valdemir Alexandre dos Santos, educador exemplar, profissional competente, amigo e conselheiro, sempre nos momentos mais difíceis, apresentava sempre uma saída inteligente e compatível com a necessidade. Nunca poupou esforços para uma construção coletiva do saber, proporcionando a apropriação adequada aos que o rodeiam.

Aos colegas, pelos momentos prazerosos e energizantes que sempre nos auxiliavam na transposição dos obstáculos que se apresentava, também, meus sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	vi
SUMÁRIO	vii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE SÍMBOLOS	xi
LISTA DE ABREVIATURAS	xii
CAPÍTULO 1	
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xiv
1.1 INTRODUÇÃO	1
1.2 OBJETIVOS	3
1.2.1 Objetivo Geral	3
1.2.2 Objetivos Específicos	3
1.3 REVISÃO DA LITERATURA	4
1.3.1 Óleo Diesel	4
1.3.2 Impacto Ambiental Decorrente do Uso de Combustível	5
1.3.3 Biocombustíveis	6
1.3.4 Biodiesel	8
1.3.5 Processos Produtivos	10
1.3.6 Matéria Prima para Produção de Biodiesel	14
1.3.7 Óleo Residual de Fritura	18
1.3.8 Motivação Ambiental	20
1.3.9 Motivação Econômica	22
1.3.10 Motivação Social	25
1.3.11 Localização de Usinas Produtivas	25
1.3.12 Modelos utilizados para EVTE	28
1.3.13 Análise de Investimentos	30
1.3.14 Modelos Econômicos	30
1.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

CAPITULO 2	41
RESUMO	41
ABSTRACT	42
2.1 INTRODUÇÃO	43
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	45
2.2.1 Apresentação dos Projetos a Serem Comparados	45
2.2.2 Metodologia de Comparação Proposta	53
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
2.4 CONCLUSÕES E SUGESTÕES	57
2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
ANEXOS	61
2.6 ARTIGO “Comparative analysis of investments for biodiesel production with help of excel spreadsheet” ENCAMINHADO A INTERNATIONAL REVIEW OF CHEMICAL ENGINEERING	
2.7 ACEITAÇÃO DA INTERNATIONAL REVIEW OF CHEMICAL ENGINEERING POR EMAIL	

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.3.5.1	A reação de transesterificação	10
Figura 1.3.5.2	Preparação de óleos e gorduras para a transesterificação	11
Figura 1.3.5.3	Fluxograma esquemático do processo empregado para a produção de biodiesel	12
Figura 1.3.6.1	Mapa das regiões e das culturas para a produção do biocombustível	17
Figura 1.3.9.1	Reservas provadas de petróleo no mundo	24
Figura 1.3.6.1	Usinas de biodiesel no Estado de Pernambuco	27
Figura 1.3.7.1	Cadeia produtiva do biodiesel	29
Figura 2.2.1.1	Fluxo de Caixa Convencional do Projeto 1	48
Figura 2.2.1.2	Payback Descontado do Projeto 1	49
Figura 2.2.1.3	Fluxo de Caixa Convencional do Projeto 2	50
Figura 2.2.1.4	Payback Descontado do Projeto 2	51
Figura 2.3.1	Planilha Eletrônica Com Dados Para Comparação dos Projetos	55
Figura 2.3.2	Janela de Interação da Ferramenta Solver com o Usuário	55
Figura 2.3.3	Janela Indicativa de Resultados Obtidos pela Ferramenta Solver	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.3.1.1	Emissões de CO2 em Gg/Ano	6
Tabela 1.3.6.1	Evolução da Produção Mundial de Óleos	15
Tabela 1.3.6.2	Consumo mundial de óleos vegetais segundo os usos	16
Tabela 1.3.6.3	Características de culturas oleaginosas no Brasil	18
Tabela 2.2.1.1	Investimento Inicial para o Projeto 1	47
Tabela 2.2.1.2	Fluxo de Caixa do Projeto 1	47
Tabela 2.2.1.3	Fluxo de Caixa do Projeto 2	50
Tabela 2.2.1.4	Comparação Entre os Projetos	52

LISTA DE SÍMBOLOS

CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
HC	Hidrocarbonetos
NO _x	Óxido de nitrogênio
SO ₂	Dióxido de enxofre

LISTA DE ABREVIATURAS

ABIOVE	Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais
ANP	Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
bpm	Barris de Petróleo Dia
CATI	Coordenadoria de Assistência Técnica
CBF	Fundo Bio de Carbono
CF	Custos Fixos
CG	Capital de Giro
CV	Custos Variáveis
EVTE	Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica
FCO	Fluxo de Caixa Operacional
Gg	Giga-grama
g	Gramas
LADETEL	Laboratório de Desenvolvimento de Tecnologias Limpas
LB	Lucro Bruto
LT	Lucro Tributável
MDL	Mecanismos de Desenvolvimento Limpo
MINC	Ministério da Indústria e Comércio
OAU	Óleo Alimentar Usado
OGR	Óleo Graxo Residual ou Óleo de Gordura Residual
PCF	Fundo Protótipo de Carbono
PBD	Payback Descontado
ppm	Partes Por Milhão
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMT	Tempo Máximo Tolerado
TMA	Taxa Mínima de Atratividade ou Taxa de Atratividade Mínima
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UFRJ	Universidade do Rio de Janeiro
UFRPE	Universidade Federal Rural de Pernambuco
USDA	United States Department of Agriculture
VPL	Valor Presente Líquido
VR	Valor Residual

RESUMO

A grande preocupação com o meio ambiente, atrelada ao crescimento econômico, torna cada vez mais competitivo o desafio energético no mundo. É neste panorama que a escolha do investimento para produção de biodiesel deve atender aos aspectos financeiros da operação, assegurar a rentabilidade do investimento realizado, assim como, os aspectos ambientais e ecológicos recorrentes a decisão de implantação do projeto escolhido. No presente trabalho foi desenvolvida uma metodologia para análise e comparação econômica entre diferentes processos produtivos de biodiesel, necessárias na escolha de um investimento voltado para benefícios ao meio ambiente. Embora os métodos para a análise de investimentos sejam realmente válidos, esses têm sido deixados de lado por grande parte da comunidade dos negócios, principalmente nas pequenas e médias empresas. Primeiro, porque a introdução desses métodos nos currículos das faculdades é um desenvolvimento relativamente recente. Segundo, porque em muitos casos, os empresários usam e, às vezes, abusam da intuição e da experiência na tomada de decisões sobre a aplicação do capital. Foram utilizados dois projetos de dois diferentes processos produtivos, envolvendo a produção de biodiesel através de óleo de mamona e de óleo residual de frituras como insumos básicos. A metodologia proposta realizou cálculos complexos, envolvendo otimização de condições financeiras, que se tornaram simples quando se utilizou uma planilha eletrônica. Desenvolveu-se um método de análise conjugando técnicas simultâneas de valor presente líquido (VPL) e de taxa interna de retorno (TIR), utilizando a praticidade da ferramenta Solver, disponível na planilha eletrônica Excel®. A planilha utilizada proporcionou características indispensáveis para atrair a grande maioria de pequenos e médios empresários em razão da pouca complexidade matemática de uso e disponibilidade na maioria das instalações empresariais.

Palavras-Chave: Biocombustível; Óleo residual de fritura; Solver/Excel; Análise de investimento; VPL-TIR.

ABSTRACT

The major concern with the environment, linked to economic growth, becoming more competitive in the world's energy challenge. It is in this view that the choice of investment for biodiesel production should meet the financial aspects of the operation, ensure the profitability of the investment, as well as the applicants environmental and ecological aspects of the decision to implement the chosen design. In this work a methodology for economic analysis and comparison between different processes of biodiesel needed in choosing an investment oriented benefits to the environment has been developed. Although methods for analyzing investments are actually valid, these have been left alone for much of the business community, especially small and medium enterprises. First, because the introduction of these methods in the curricula of faculties is a relatively recent development. Second, because in many cases, entrepreneurs use and sometimes misuse of intuition and experience when making decisions on the application of capital. We used two financial data from two different processes, involving the production of biodiesel using castor oil and waste frying oil as basic inputs. The proposed method performs complex calculations involving optimization of financial conditions, which become simple when using a spreadsheet. Developed a method of combining simultaneous analysis techniques net present value (NPV) and internal rate of return (IRR), the practicality of using Solver tool available in Excel® spreadsheet. It also presents essential features to attract the vast majority of small and medium entrepreneurs due to the mathematical complexity of little use and availability in most enterprise installations.

Keywords: biofuels, waste frying oil; Solver/Excel; Investment analysis, NPV - IRR.

CAPÍTULO 1

1.1 Introdução

A necessidade do consumo de energia tem crescido de forma contínua e proporcional ao aumento da industrialização e população. Ambiente e energia são temas de relevância nas sociedades modernas, despertando o interesse público na busca de alternativas e preservação. Nesse panorama, as fontes de energias renováveis devem assumir papel crescente na matriz energética mundial, forçadas pela perspectiva de redução das reservas de combustíveis fósseis, destacando-se o biodiesel como uma alternativa promissora.

Para efeito da Resolução ANP nº 14 de 11/05/2012, publicada no DOU de 18/05/2012, define-se Óleo Diesel A como combustível de uso rodoviário, destinado a veículos dotados de motores do ciclo Diesel e produzido por processos de refino de petróleo e processamento de gás natural. Não devendo conter biodiesel; e, Óleo Diesel B como combustível de uso rodoviário, destinado a veículos dotados de motores do ciclo Diesel e produzido por processos de refino de petróleo e processamento de gás natural. Devendo conter biodiesel no teor estabelecido pela legislação vigente.

Logo, as misturas entre o biodiesel e o diesel mineral é conhecida pela letra B, mais o número que corresponde a quantidade de biodiesel na mistura. Logo, se uma mistura tem 5% de biodiesel, é chamada B5, se tem 20% de biodiesel, é B20. A utilização do biodiesel puro ainda está sendo testada, se for usado só biodiesel (100%) sem misturar com o diesel mineral, vai se chamar B100.

Segundo a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), em 2010, a capacidade instalada de produção de biodiesel (B100) foi de cerca de 5,8 milhões m³. Entretanto, a produção efetiva do Brasil foi de aproximadamente 2,4 milhões m³, o que correspondeu a 41,1% da capacidade total.

Das 54 empresas que produziram biodiesel (B100) em 2010, 51 adotaram a rota metílica (uso de metanol), representando 96,7% desta produção. O consumo total de metanol empregado na produção de biodiesel foi de 279,4 mil m³. Em contrapartida, duas empresas localizadas nas regiões Sudeste e uma na Centro-Oeste produziram biodiesel (B100) pela rota etílica (uso de etanol anidro), representando 3,3% da produção total de biodiesel do país (ANP, 2011).

O óleo de soja continuou sendo a principal matéria-prima para a produção de biodiesel (B100). Foram consumidos cerca de dois milhões m³ ao longo de 2010. A segunda matéria-prima no ranking de produção das usinas foi o sebo bovino, seguido pelo óleo de algodão. A evolução mensal da participação destas matérias-primas na produção do biodiesel é apresentada com suas respectivas cotações de mercado. Em 2010, foram gerados 257,9 mil m³ de glicerina como subproduto na produção total de biodiesel (B100) do País (ANP, 2011).

O presente trabalho avalia a viabilidade econômica de um processo produtivo, em condições otimizadas, utilizando uma matriz insumo-produto, na qual é analisada a sensibilidade dos componentes dessa matriz às variações de parâmetros como investimento e custeio da operação. O software computacional utilizado é a planilha eletrônica Excel da Microsoft (BLOCH, 2004), onde se torna possível a definição de muitas variáveis de interesse de forma simultânea. Dessa forma, este trabalho teve como objetivo desenvolver um modelo de análise econômica para comparar a viabilidade de produção de biodiesel a partir da transesterificação de óleo residual de fritura com a mamona como insumo.

A enorme preocupação com o meio ambiente, atrelada ao crescimento econômico torna cada vez mais competitivo o desafio energético no mundo. É neste panorama que o óleo residual de fritura apresenta-se como uma fonte de geração de biodiesel de grande apelo ambiental.

Justificar economicamente o empreendimento através do emprego das técnicas de orçamento de capital, levando-se em consideração os fluxos de caixas relevantes, constitui-se objeto deste esforço, através do envolvimento do valor presente líquido, taxa interna de retorno e *payback* descontado.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Comparar, em condições otimizadas, o processo produtivo de biodiesel a partir de óleos residuais de fritura com outra fonte de óleo vegetal, utilizando um modelo de estudo de viabilidade técnica e econômica (EVTE) adotado da literatura, para a elaboração de uma ferramenta que deverá servir de base para possíveis investimentos ambientalmente favoráveis.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Realizar um levantamento do fluxo produtivo do Biodiesel a partir do óleo residual de fritura e todos os insumos necessários envolvidos em seu processo de produção.
- Elaborar um modelo de análise de investimento para processos produtivos de biodiesel.
- Simular o modelo de análise econômica adotado para o óleo residual de fritura e outra fonte de produção compatível com a localização geográfica do investimento.
- Comparar os diferentes processos produtivos com base em iguais níveis de produção.
- Definir por análise de desempenho dos dados simulados critérios que possam levar à escolha do processo produtivo para um possível investimento.

1.3 Revisão da Literatura

1.3.1 Óleo Diesel

O diesel é um combustível fóssil produzido pela destilação do petróleo, o qual é constituído, basicamente, por uma mistura de hidrocarbonetos (compostos orgânicos que contém átomos de carbono e hidrogênio). Alguns compostos presentes no diesel, além de carbono e hidrogênio apresentam, também, enxofre e nitrogênio em sua estrutura, sendo selecionados de acordo com as características de ignição e de escoamento adequadas ao funcionamento dos motores diesel. É um produto inflamável, volátil, límpido, isento de material em suspensão e com odor forte característico (PETROBRÁS, 2006).

O Brasil é um país historicamente dependente de óleo diesel importado. Porém em 2006 o país se torna auto-suficiente na produção de petróleo. Em 2004, foram produzidos 1,49 milhões de bpd (barris de petróleo por dia), e consumidos 1,7 milhões de bpd de derivados de petróleo.

Pelo Plano Estratégico da Petrobrás, em 2010 a produção deve alcançar um patamar acima do valor da demanda, um incremento de 270 mil bpd na carga processada no parque existente e 300 mil bpd do óleo nacional processado. O total de investimentos em adequação, qualidade e expansão do parque de refino nacional, segundo o Plano, será de US\$ 9 bilhões até 2010 (PETROBRAS, 2006).

O óleo diesel pode ser classificado em comum e premium, segundo a Resolução ANP nº 12, 2005 (ANP, 2005).

O óleo diesel comum é comercializado em 3 tipos:

- I) tipo B (interior), com teor de enxofre máximo de 3500 ppm e coloração vermelha;
- II) tipo D (metropolitano), com teor de enxofre máximo de 2000 ppm e coloração castanha; e
- III) S500, com teor de enxofre máximo de 500 ppm e coloração amarelo claro.

O óleo diesel premium tem a mesma coloração do diesel comum, porém, os teores de enxofre são menores. Os principais benefícios obtidos com o Diesel Premium são a limpeza dos bicos injetores e conseqüente queima perfeita, a demulsibilidade e a proteção anticorrosiva, além disso, contribui para a proteção do meio ambiente reduzindo as emissões à base de enxofre produzidas pelo veículo.

Segundo Christoff (2006), a remoção do enxofre residual no diesel comercial reduz a viscosidade do produto a teores não compatíveis com a especificação do produto e que, para corrigir este problema, faz-se necessária a incorporação de aditivos com poder lubrificante. Consumada a obrigatoriedade na redução dos teores de emissão de compostos sulfurados a partir da combustão do diesel, a adição de biodiesel corrigirá esta deficiência viscosimétrica, conferindo à mistura propriedades lubrificantes vantajosas para o motor.

O diretor de Abastecimento e Refino da Petrobrás, Paulo Roberto Costa, disse que a estatal começará a partir de dezembro a produzir em escala industrial o H-Bio, tipo de diesel que é obtido a partir da adição de óleo de soja ao petróleo durante seu processo de refino (O ESTADÃO, ed. 31.07.2006).

A primeira unidade a ter esta produção será a Refinaria Gabriel Passos (Regap), em Minas Gerais. O diretor não informou qual o volume a ser produzido nessa planta, mas segundo os planos da Petrobrás, até meados de 2007, estará concluído todo o projeto para implementação do H-Bio em mais outras três plantas de refino, Replan (SP), Repar (PR) e Refap (RS), com uma capacidade produtiva total de 285 milhões de litros ao ano. O volume de H-Bio produzido deverá consumir cerca de 9% do óleo de soja exportado hoje pelo Brasil. De acordo com Costa, os investimentos totais neste projeto são de US\$ 100 milhões, para adaptar as refinarias a este processamento.

Ao longo de 2008, está prevista a segunda fase de implementação do H-Bio, com a produção sendo elevada para 425 milhões de litros, ou 15% do óleo de soja exportado. "Há produção suficiente de soja no país e vamos com este programa ocupar a capacidade ociosa de esmagamento, agregando maior valor ao produto", afirmou o executivo. Segundo ele, a estatal vai firmar contratos de longo prazo com os produtores e pretende pagar pelo óleo de soja o valor estipulado pelo mercado internacional (O ESTADÃO, ed. 31.07.2006).

Considerando que o H-Bio é um tipo de diesel, a adição de 2% de biodiesel ao mesmo faz-se necessária, em consenso com o Programa Nacional de Biodiesel. Esta questão está sendo discutida entre a ANP e a estatal.

1.3.2 Impacto Ambiental Decorrente do Uso de Combustíveis

A emissão de gases tóxicos por veículos automotivos é a maior fonte de poluição atmosférica. Nas cidades, esses veículos são responsáveis pela emissões de gases como monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrogênio (NOx), dióxido de enxofre (SO₂), hidrocarbonetos (HC), chumbo, fumaça e particulados.

Estudos têm sido realizados com o objetivo de quantificar e de estimar o uso de diversas fontes de energias sobre o aumento de CO₂.

Tabela 1.3.2.1 - Emissões de CO₂ em Gg/ano

	2000	2005	2010	2015	2020
Gás Natural	178.1	640.1	1524.1	2573.0	4173.1
Lenha	346.4	426.4	384.3	358.2	452.9*
TOTAL PRIMÁRIO	524.5	1066.4	1908.4	2931.2	4626.0
Óleo Diesel	983.7	721.2	820.1	1163.5	1833.7
Óleo combustível	1863.3	2232.5	2730.0	3309.2	4075.4
GLP	1291.2	1576.3	2068.9	2912.2	4271.3
Gás	58.4	120.3	135.9	121.1	104.4
Eletricidade	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Carvão Vegetal	271.5	344.1	331.7	320.4	409.7*
Óleos Sec. Petróleo	0.6	11.9	15.1	11.5	0.0
TOTAL SECUNDÁRIA	4468.7	5006.2	6101.7	7837.9	10694.5
TOTAL SEM BIOMASSA	4646.8	5646.3	7625.8	10410.9	14867.6
TOTAL	4993.2	6072.7	8010.0	10769.1	15320.5

FONTE: CHRISTOFF, 2006

(*) Emissões não contabilizáveis por provirem de biomassa renovável

As principais fontes de energia consideradas como mais poluentes em termos de emissões de CO₂ são: o gás liquefeito do petróleo (GLP), gás natural e ao óleo combustível seguido de óleo diesel.

1.3.3 Biocombustíveis

No cenário internacional existem diversos problemas referentes à energia, porém, destacam-se, neste momento, os dois seguintes: a escassez do petróleo, que se agrava na medida do consumo no decorrer do tempo, e a queima dos combustíveis fósseis que pode levar às mudanças climáticas. Estes problemas, somados às características da economia mundial, podem ajudar a pressionar o forte

aumento da produção de energia a partir da biomassa neste início do século XXI (MORET, RODRIGUES, ORTIZ, 2006).

Dentre os biocombustíveis, o etanol substitui a gasolina em motores de ignição provocada. Conforme ARREDONDO (2009), o etanol pode ser produzido a partir de uma série de matérias-primas como: cana-de-açúcar, beterraba, banana, milho, trigo, cevada, batata, mandioca e resíduos vegetais ou florestais. Contudo, atualmente, a produção de etanol está consolidada em torno da cana-de-açúcar (Brasil) e do milho (EUA). De acordo com Goldemberg, Coelho e Guardabassi (2008 apud ARREDONDO, 2009), em 2007 o somatório das produções brasileiras e norte-americanas representou 72% da produção mundial de etanol, equivalente a 35.400.000 m³.

Os biocombustíveis provenientes de matérias-primas naturais e renováveis, são produtos à base de plantas e das quais se produz o etanol por meio do álcool da cana-de-açúcar na Europa é produzido da beterraba ou do amido (milho, trigo, raízes e de tubérculos. De acordo com Rohde e Philomena (2006) a Comunidade Européia vêm estimulando a substituição do petróleo por combustíveis de fontes renováveis, incluindo principalmente o biodiesel, diante de sua expressiva capacidade de redução da emissão de diversos gases causadores do efeito estufa, a exemplo do gás carbônico e do enxofre.

O biodiesel pode ser produzido de plantas oleosas (colza, girassol, soja, mamona e palmeira-de-dendê) (KOHLHEPP, 2010). Por outro lado, o biodiesel possui uma estrutura molecular suscetível ao ataque enzimático de microrganismos os quais podem utilizá-lo em seu metabolismo para fins de crescimento (ZHANG, 1998). A biodegradação do biodiesel resulta na formação de metabólicos como ácidos orgânicos voláteis (ácido acético, propiônico, butírico) que serve como substrato para o crescimento de diversos microrganismos aeróbicos ou anaeróbicos (SCRIMGEOUR, 2005).

Por se tratar de uma fonte de energia renovável e por seu uso sustentado não provocar danos ao meio ambiente, a biomassa tem atraído muita atenção nos últimos tempos (MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA E DO COMÉRCIO, 1985; MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2002; U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 1998).

Dentre as fontes de biomassa prontamente disponíveis, os óleos vegetais têm sido largamente investigados como candidatos a programas de energia renovável, pois proporcionam uma geração descentralizada de energia e um apoio à agricultura familiar, criando melhores condições de vida (infra-estrutura) em regiões carentes, valorizando potencialidades regionais e oferecendo alternativas a problemas econômicos e sócio-ambientais de difícil solução.

A utilização de óleos vegetais *in natura* como combustível alternativo tem sido alvo de diversos estudos nas últimas décadas (NAG et al., 1995; PIYAPORN et al., 1996). No Brasil, já foram realizadas pesquisas com os óleos virgens de macaúba, pinhão-manso, dendê, indaiá, buriti, pequi, mamona, babaçu, cotieira, tingui e pupunha (BARRETO, 1982; MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA E DO COMÉRCIO, 1985; SERRUYA, 1991) e nos testes realizados com esses óleos em caminhões e máquinas agrícolas, foi ultrapassada a meta de um milhão de quilômetros rodados (MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA E DO COMÉRCIO, 1985).

No entanto, esses estudos demonstraram a existência de algumas desvantagens no uso direto de óleos virgens: (a) a ocorrência de excessivos depósitos de carbono no motor; (b) a obstrução nos filtros de óleo e bicos injetores; (c) a diluição parcial do combustível no lubrificante; (d) o comprometimento da durabilidade do motor; e (e) um aumento considerável em seus custos de manutenção.

1.3.4 Biodiesel

Desde 2010, todo o diesel comercializado no Brasil contém uma mistura de 5% de biodiesel, que é um combustível produzido a partir de plantas oleaginosas cultivadas no Brasil, como soja, algodão, palma, mamona, girassol e canola, bem como de gordura animal e óleos residuais de fritura (PETROBRAS, 2013).

A Petrobras Biocombustível possui três usinas próprias de biodiesel, em Candeias (BA), Quixadá (CE) e Montes Claros (MG), e duas em parceria, em Marialva (PR) e Passo Fundo (RS). Todas as usinas possuem o Selo Combustível Social, concedido pelo Ministério do Desenvolvimento Agrário aos produtores de biodiesel que promovam a inclusão social e o desenvolvimento regional (PETROBRAS, 2013).

Por definição, o biodiesel é um substituto natural do diesel de petróleo, que pode ser produzido a partir de fontes renováveis como óleos vegetais, gorduras animais e óleos utilizados para cocção de alimentos (fritura). Quimicamente, é definido como éster monoalquílico de ácidos graxos derivados de lipídeos de ocorrência natural e pode ser produzido, juntamente com a glicerina, através da reação de triacilgliceróis (ou triglicerídeos) com etanol ou metanol, na presença de um catalisador ácido ou básico (SCHUCHARDT, SERCHELI e VARGAS, 1998; ZAGONEL e RAMOS, 2001; RAMOS, 1999, 2003), ou, simplesmente como sugerem Ferrari (2005) e Barbosa *et al* (2007) que, quimicamente, o biodiesel é definido como um éster de ácidos graxos de cadeia longa, com características físico-químicas semelhantes ao óleo diesel de petróleo, tendo como subproduto a glicerina.

O biodiesel, obtido de óleos e gorduras residuais (OGR), é um biocombustível biodegradável derivado de fontes renováveis. Vem sendo alvo de diversos congressos e discutido intensamente no governo brasileiro, por se apresentar como um vetor de qualidade ambiental que possibilita o desenvolvimento sustentável e a inclusão social (SOUZA, 2006).

Uma das grandes vantagens do biodiesel é sua adaptabilidade aos motores do ciclo Diesel, pois, enquanto que o uso de outros combustíveis limpos como o gás natural, ou biogás, requer adaptação dos motores, a combustão do biodiesel pode dispensá-la (SALES, 2006). Logo, alguns biocombustíveis, são considerados alternativas mais viáveis para esse cenário de altos preços de petróleo. Entre estes se destacam o etanol e o biodiesel (JOHNSTON; HOLLOWAY, 2007).

Por fim, Biodiesel é o nome de um combustível alternativo de queima limpa, produzido de recursos renováveis. O biodiesel não contém petróleo, mas pode ser adicionado a ele formando uma mistura; pode ser usado num motor de ignição a compressão (diesel) sem necessidade de modificação. O biodiesel é simples de ser usado, biodegradável, não tóxico e essencialmente livre de compostos sulfurados e aromáticos (PARENTE, 2003).

A produção de biodiesel a partir de óleo residual de cozinha é uma excelente alternativa para cidades com mais de 200 mil habitantes. É um desafio que requer planejamento e espírito de cooperação entre os diversos setores da sociedade,

como prefeituras, empresas de saneamento, associações de moradores e cooperativas de reciclagem (DUARTE, 2008).

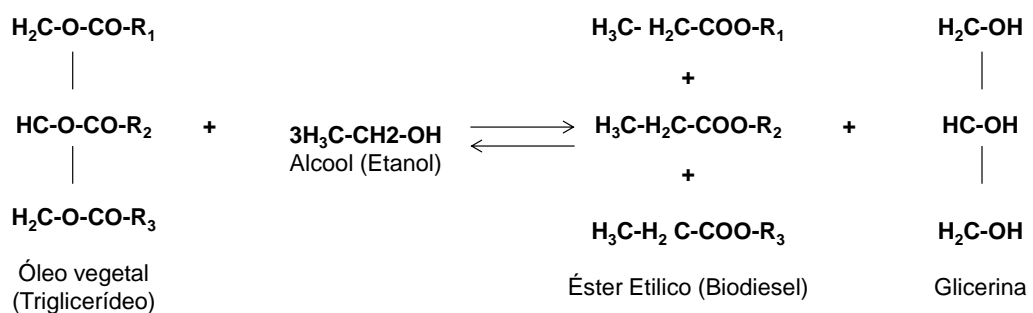
1.3.5 Processos Produtivos

De acordo com Ramos et. al. (2006) existem basicamente quatro processos aplicados para a fabricação de biodiesel: diluição, micro emulsificação, pirólise e transesterificação, esse último sendo o mais conhecido e utilizado em larga escala.

Por transesterificação entende-se o processo químico que consiste em misturar o óleo com o álcool, metanol ou etanol e, na presença de um catalisador, hidróxido de sódio ou hidróxido de potássio, produzir ésteres metílicos (quando da utilização de metanol) ou ésteres etílicos (quando da utilização de etanol), obtendo-se biodiesel e glicerina. (MURPHY, 1995).

Quimicamente, transesterificar significa tomar uma molécula de um triglicerídeo ou um ácido graxo complexo, neutralizar os ácidos graxos livres, remover a glicerina e criar um éster. A Figura 1.3.5.1 a seguir exemplifica uma reação de transesterificação.

Figura 1.3.5.1 – A reação de transesterificação.



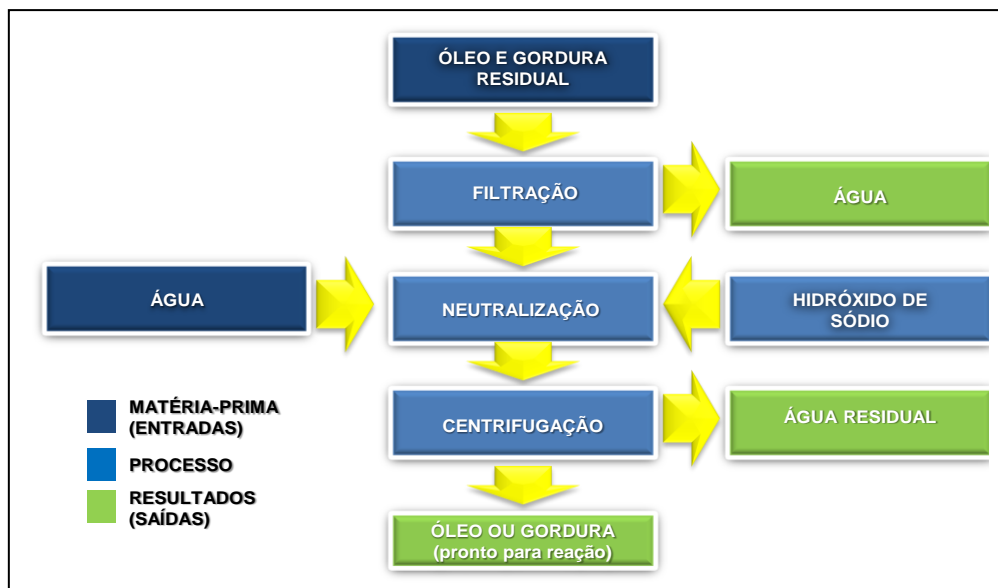
FONTE: Adaptado de NETO et. al. (2000) e KNOTHE (2002).

As reações de transesterificação são aquelas em que se obtém um éster por meio de outro éster. Esse método é bastante viável porque, visto que ocorre em apenas uma etapa, ele se processa de modo rápido na presença de um catalisador, é simples, barato e se realiza em pressão ambiente.

Por transesterificação entende-se ser o processo químico que consiste em misturar o óleo com o álcool, metanol ou etanol e, na presença de catalisador, hidróxido de sódio ou hidróxido de potássio reage produzindo ésteres metílicos (quando da utilização de metanol) ou ésteres etílicos (quando da utilização de etanol) compondo o biodiesel e a glicerina. (MURPHY, 1995).

Logo, o processo de produção de biodiesel a partir de óleos e gorduras residuais é mais simples, uma vez que este demanda apenas a preparação da matéria prima, em etapas básicas correspondentes ao refino do óleo usado, e posteriormente a realização da reação de transesterificação. Todos os procedimentos válidos para a transformação do óleo vegetal extraído da semente até sua transformação em biodiesel, e posterior retirada de elementos residuais, são também adequados para a produção do biodiesel a partir do óleo vegetal refinado a partir de óleos e gorduras residuais (ALVES et. al., 2008). A Figura 1.3.5.2 nos dá um exemplo conciso sobre a obtenção de óleo vegetal propício à transesterificação, usando como matéria-prima, óleos e gorduras residuais.

Figura 1.3.5.2 – Preparação de óleos e gorduras para a transesterificação.



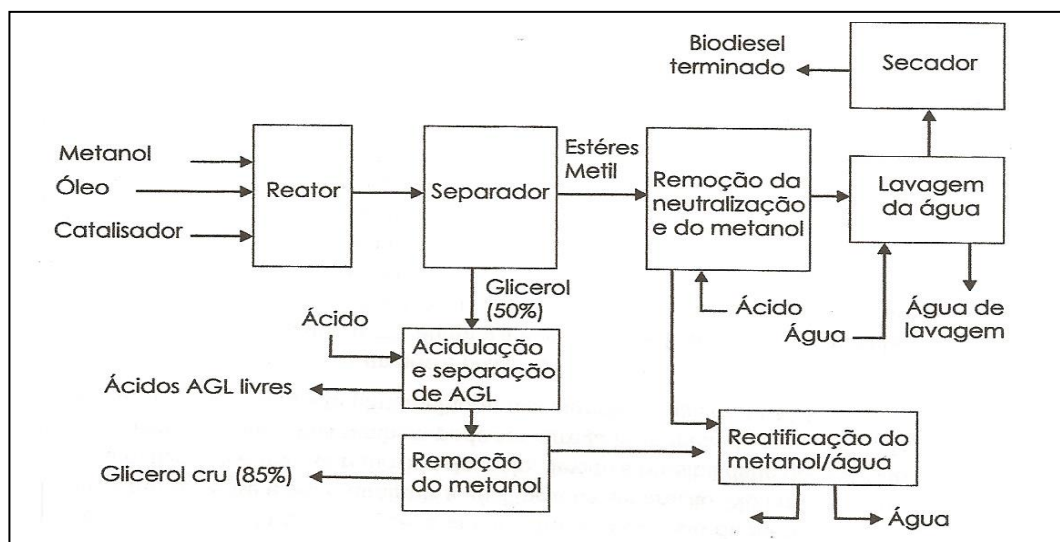
FONTE: Adaptado de ALVES et. al., 2008.

O biodiesel produzido a partir do óleo de cozinha residual, através do processo de transesterificação, segue as seguintes etapas (FERNANDES et. al., 2008):

- a) decantação e filtragem do óleo residual para eliminação de impurezas;
- b) após limpo, o óleo é colocado em um reator de inox, onde reage com álcool (etanol ou metanol) em presença de um catalisador (potassa cáustica ou metil ato de sódio).
- c) após a reação ser concluída, o produto é colocado em tanque, onde ocorre a separação das fases por diferença de densidade (biodiesel e glicerina);
- d) por um sistema de drenagem é extraído o biodiesel;
- e) o biodiesel retirado vai para outro tanque com agitação onde é adicionada terra filtrante e clarificante;
- f) a mistura passa por um filtro-prensa para retirada da terra e outras impurezas, terminando assim o processo.

O processo de produção de biodiesel a partir da transesterificação é apresentado de forma esquemática conforme Figura 1.3.5.3 a seguir.

Figura 1.3.5.3 – Fluxograma esquemático do processo empregado para a produção de biodiesel



Fonte: FERNANDES et. al., 2008.

O biodiesel pode substituir total ou parcialmente o óleo diesel de petróleo em motores de ciclo diesel automotivo, como geradores de eletricidade, calor, etc. Pode ser usado puro ou misturado ao diesel em diversas proporções. Sua utilização em grande escala permitiria a economia de divisas com a importação de petróleo e óleo diesel, e também poderia reduzir a poluição ambiental (FERNANDES et al., 2008).

Grande quantidade de óleo de fritura é gerado, cujos destinos incluem a produção de sabão, de massa de vidraceiro e de ração animal, mas também boa parte de seu volume é inaproveitado, sendo descartado diretamente em redes de esgotos (FERNANDES et al., 2008).

Este descarte incorreto dos resíduos de óleo vegetal é um problema antigo. É sabido que cada litro de óleo despejado no esgoto tem capacidade para poluir cerca de um milhão de litros de água. Ao ser jogado no esgoto encarece o tratamento dos resíduos em até 45%. Sua presença nos rios cria uma barreira que dificulta a entrada de luz e a oxigenação da água, comprometendo assim, a base da cadeia alimentar aquática e contribuindo para a ocorrência de enchentes. Além disso, a decomposição do óleo de cozinha emite metano na atmosfera, uma espécie de gás inodoro, incolor, que quando adicionado ao ar atmosférico transforma-se em mistura de alto teor explosivo. O metano é um dos principais gases que causam o efeito estufa contribuindo para o aquecimento da Terra (FERNANDES et al., 2008).

Comparado ao óleo diesel derivado de petróleo, o biodiesel pode reduzir em 78% as emissões de gás carbônico, considerando-se a reabsorção pelas plantas. Além disso, reduz em 90% as emissões de fumaça e praticamente elimina as emissões de óxido de enxofre. É importante frisar que o biodiesel pode ser usado em qualquer motor de ciclo diesel, com pouca ou nenhuma necessidade de adaptação (LIMA, 2004).

A transesterificação parece ser a melhor alternativa para a utilização dos óleos vegetais como alternativa ao diesel fóssil. Este processo de transesterificação consiste basicamente na separação da glicerina do óleo vegetal para a obtenção do biodiesel, processo durante o qual a glicerina é removida, deixando o óleo mais fino (MEIRELES, 2003).

Isto porque as características dos ésteres de ácidos gordos (biodiesel) são muito próximas das do diesel fóssil. Além do mais, os ésteres metílicos e etílicos de

ácidos gordos podem ser queimados diretamente em motores diesel, sem serem necessárias modificações no motor.

Os óleos vegetais, gorduras animais ou residuais são purificados e reagem com um álcool de cadeia curta, geralmente metanol (CH_3OH) ou etanol ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$) na presença de um catalisador como o hidróxido de potássio (KOH) ou o hidróxido de sódio (NaOH), de modo a acelerar a reação. Quando isso acontece, o triglicerídeo é transformado para formar os ésteres e a glicerina. Os ésteres resultantes são os designados por biodiesel. A glicerina é empregada para a fabricação de sabonetes e diversos outros cosméticos (FELIZARDO *et al*, 2003).

1.3.6 Matérias-primas para produção de biodiesel

Na produção de matérias-primas para os biocombustíveis, o Brasil tem papel de destaque no cenário mundial, graças, principalmente, às suas vantagens comparativas.

Algumas dessas vantagens são: um amplo território com clima tropical e subtropical altamente favorável ao cultivo de grande variedade de matérias-primas potenciais para a produção de biodiesel (e também do álcool); vasta gama de empreendimentos existentes e um setor de pesquisa agropecuária avançado (GONÇALVES e EVANGELISTA, 2008).

Considerando a crescente produção mundial de óleos vegetais, vislumbramos um cenário de fontes de matéria prima considerável para produção do biodiesel à partir do óleo residual de fritura o que permite pensar numa unidade de produção.

Esta produção mundial de óleos vegetais aumentou aproximadamente 400% entre 1974/75 e 2006/07, passando de 25,7 milhões de toneladas para 123,1 milhões de toneladas. Somente nos dois últimos anos (entre 2004/05 e 2006/07), de acordo com projeções do USDA, o consumo se elevará em 27 milhões de toneladas. A tabela a seguir apresenta a evolução da produção mundial de óleos vegetais, a partir de 1974/75, conforme as espécies vegetais produtoras.

Tabela 1.3.6.1 – Evolução da produção mundial de óleos (mil toneladas)

	1974/75	1984/85	1994/95	2000/01	2004/05	2005/06	2006/07	%
Palma	2891	6754	14888	24295	33875	35956	37672	30,61
Soja	6476	10203	19849	26762	32511	34522	35868	29,14
Canola/Colza	2443	5552	10013	13318	15760	17165	18243	14,82
Girassol	3868	6125	8260	8385	9038	10389	10733	8,72
Amendoim	2743	2875	4118	4535	5069	5172	4975	4,04
Algodão	2930	3762	3594	3529	4709	4568	4726	3,84
Palmiste	415	902	1910	3061	4134	4360	4573	3,72
Coco	2554	2537	3401	396	3439	3458	3295	2,68
Oliva	1379	1579	1760	2490	2968	2593	2990	2,43
SOMA	25699	40289	57623	89971	95743	118183	123075	100,00

Fonte: USDA, 2007.

O óleo de palma é atualmente o mais consumido no mundo. A produção mundial de óleo de palma (que no Brasil se equivale ao dendê) aumentou em 1.203%, a mais alta de todas, passando de 3,6 milhões de toneladas para 37,6 milhões de toneladas, ultrapassando o consumo mundial de óleo de soja. Atualmente, somados o óleo de palma e de palmiste, ambos produzidos a partir da palma, chega-se à mais de 42 milhões de toneladas, enquanto a produção de óleo de soja é de 35,86 milhões de toneladas. O óleo de canola/colza é o terceiro mais consumido no mundo. A produção se concentra na União Européia, na China, na Índia e no Canadá, que respondem por 83% da produção mundial.

No ano-safra 2006/07, de acordo com estimativas do USDA, foram consumidas 107 milhões de toneladas de óleos vegetais, sendo 85,77 milhões de toneladas para fins alimentares e 21,38 milhões para fins industriais.

Verifica-se, portanto, que, apesar do aumento do uso industrial, em termos de volumes e do número de processos industriais em que é aplicado, é na alimentação que a maior parte (80%) dos óleos vegetais são consumidos. No entanto, esse quadro poderá ser alterado com o estímulo à diversificação da matriz energética, através do biodiesel, por exemplo.

Na Tabela 1.3.6.2, estão apresentadas características de culturas oleaginosas com potencial de uso para fins energéticos, com destaque para o dendê, o coco e o

girassol, devido ao rendimento em óleo e a cultura da mamona, pela sua resistência à seca (HOLANDA, 2004; CHIARANDA, 2005).

Tabela 1.3.6.2 – Consumo mundial de óleos vegetais segundo os usos (industrial e alimentar, em mil toneladas, previsão para a safra 2006/07)

DESCRIÇÃO	ALIMENTAR	INDUSTRIAL	TOTAL
Palma	27531	8788	36319
Soja	33153	2488	35641
Girassol	9821	512	10333
Amendoim	4932	24	4956
Colza/Canola	-	4917	4917
Algodão	4474	208	4682
Palmaste	1195	3015	4210
Coco	1791	1374	3165
Oliva	2871	53	2924
SOMA	85768	21379	107147

Fonte: USDA, 2007.

Sendo assim, a produção de biodiesel deve respeitar a especificidade de cada região produzindo o que, de certa maneira, lhe proporcionará uma maior vantagem comparativa (HOLANDA, 2004).

Na Figura 1.3.6.1 estão mostradas as regiões com suas respectivas potencialidades de produção do biocombustível. Destacando-se a palma e a soja na região norte; a soja, a mamona e o algodão (caroço) na região centro-oeste; a soja, o girassol e o algodão na região sul e sudeste e a palma, a mamona e o babaçu na região nordeste.

Na Tabela 1.3.6.3 apresenta-se as características de culturas oleaginosas no Brasil e o rendimento obtido por cada uma delas (NOGUEIRA, 2005).

Figura 1.3.6.1 – Mapa das regiões e das culturas para a produção do biocombustível.



Fonte: CHRISTOFF, 2006

Dentre as várias alternativas, as que merecem destaque são a soja, cujo óleo representa 90% da produção brasileira de óleos vegetais; dendê, coco e girassol, pelo expressivo rendimento em óleo e mamona, pela resistência à seca.

Considerando toda essa biodiversidade, o Brasil estaria em condições de abastecer o mercado mundial anual de produção de oleaginosas, porém não teria condições de transesterificar essa quantidade de óleo, pois a demanda estimada para 2010 é de 32,7 bilhões de litros de biodiesel e, após 2010, de 110,2 bilhões de litros (OLIVÉRIO, 2005). Para atender essa produção, seria necessário disponibilizar toda a produção nacional anual de álcool, 16 bilhões de litros (BONONI, 2004) para a reação de transesterificação etílica.

Tabela 1.3.6.3 – Características de culturas oleaginosas no Brasil

Espécie	Origem Do óleo	Teor de Óleo (%)	Rendimento (t óleo/ha)
Dendê/Palma	Amêndoa	22,0	3,0 6,0
Coco	Fruto	55,0 60,0	1,3 1,9
Babaçu	Amêndoa	66,0	0,1 0,3
Girassol	Grão	38,0 48,0	0,5 1,9
Colza/Canola	Grão	40,0 48,0	0,5 0,9
Mamona	Grão	45,0 50,0	0,5 0,9
Amendoim	Grão	40,0 43,0	0,6 0,8
Soja	Grão	18,0	0,2 0,4
Algodão	Grão	15,0	0,1 0,2

Fonte: NOGUEIRA, 2005.

1.3.7 Óleo residual de fritura

Sabe-se ser o OGR um resíduo de grande potencial de inclusão social e produtiva de setores de baixa renda vivendo na periferia urbana (ocupando a função de catadores de resíduos), ao mesmo tempo em que a estruturação da sua cadeia de produção contribui significativamente para mitigar a poluição do solo e mananciais urbanos bem como para reduzir custos com o tratamento do esgoto em redes urbanas. (ARRUDA, 2010)

Os óleos residuais de fritura ou óleos alimentares usados (OAU s) são obtidos pelo processo culinário de fritura. Eles representam uma categoria de subprodutos/resíduos provenientes de diversas atividades (MARTINES, 2007):

- a) atividades domésticas (óleos de cozinha usados na produção dos alimentos, como por exemplo, a fritura de salgados);
- b) atividades industriais destacando-se as de preparação e conservação de alimentos prontos para consumo, como por exemplo, fabricação de batatas fritas e;
- c) estabelecimentos do setor de serviços que abrangem os hotéis, restaurantes, cafés, cantinas, refeitórios, entre outros.

Atualmente, a reciclagem de um modo geral, vem se mostrando cada vez mais necessária e vantajosa no setor empresarial, quer seja por razões econômicas quer seja pelas ambientais.

Hoje, no Brasil, parte do óleo vegetal residual oriundo do consumo humano é destinado a fabricação de sabões (MITTELBAACH, 1988; NETO *et al.*, 2000) e, em menor volume, à produção de biodiesel (NETO *et al.*, 2000, FERRARI, OLIVEIRA e SCABIO, 2005). Entretanto, a maior parte deste resíduo é descartado na rede de esgotos, sendo considerado um crime ambiental inadmissível. A pequena solubilidade dos óleos vegetais na água constitui um fator negativo no que se refere à sua degradação em unidades de tratamento de despejos por processos biológicos e, quando presentes em mananciais utilizados para abastecimento público, causam problemas no tratamento da água. A presença deste material, além de acarretar problemas de origem estética, diminui a área de contato entre a superfície da água e o ar atmosférico impedindo a transferência do oxigênio da atmosfera para a água e, os óleos e graxas em seu processo de decomposição, reduzem o oxigênio dissolvido elevando a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), causando alterações no ecossistema aquático (DABDOUB, 2006).

Os óleos e gorduras são substâncias hidrofóbicas, ou seja, insolúveis em água, podendo ser de origem vegetal ou animal. Diferenciam-se por sua aparência física. As gorduras são sólidas, passando para o estado líquido a uma temperatura entre 30 e 42° C, e os óleos são líquidos à temperatura ambiente (PHILIPPI, 2003). Apesar de serem considerados como resíduos não perigosos, os óleos alimentares usados (OAU s) quando lançados para os esgotos, rede hídrica e solos, provocam poluição nesses ambientes.

Até então, a maioria da população eliminava os resíduos de OA s (óleos alimentares), provenientes das frituras, via coletor de águas residuais (esgotos), esta realidade, como seria desejável, começou a alterar-se (SILVA, 2003). Segundo Verde Verte (2009), quando o óleo de cozinha usado é disposto diretamente no esgoto doméstico ou no lixo, polui córregos, riachos, rios e o solo, além de danificar o encanamento em casa. O óleo também interfere na passagem de luz na água, retarda o crescimento vegetal e interfere no fluxo de água, além de impedir a transferência do oxigênio para a água o que impede a vida nestes sistemas. Quando lançado no solo, no caso do óleo que vai para os lixões ou aquele que vem junto com a água dos rios e se acumula em suas margens, este impermeabiliza o solo,

impedindo que a água se infiltre, piorando o problema das enchentes (VERDE VERTE, 2009).

Muito embora o Estado de Pernambuco não possua uma rede formal para coleta desses óleos, ressaltamos algumas instituições pública e privada com a preocupação ambiental de coleta. Dentre elas destacamos a COMPESA e ABRASEL.

1.3.8 Motivação ambiental

O consumo de combustíveis fósseis derivados do petróleo apresenta um impacto significativo na qualidade do meio ambiente. A poluição do ar é um dos resultados do uso e da produção desses combustíveis. Este é, provavelmente, o mais visível impacto da queima dos derivados de petróleo. O biodiesel é um combustível renovável, biodegradável e ecologicamente correto, produzido a partir de diversas matérias-primas e por meio de diversos processos (GONÇALVES e NOGUEIRA, 2007).

Logo, o consumo de combustíveis fósseis derivados do petróleo tem um significativo impacto na qualidade do meio ambiente. A poluição do ar, as mudanças climáticas, os derramamentos de óleo e a geração de resíduos tóxicos são resultados do uso e da produção desses combustíveis.

A poluição do ar das grandes cidades é, provavelmente, o mais visível impacto da queima dos derivados de petróleo. Nos Estados Unidos, os combustíveis consumidos por automóveis e caminhões são responsáveis pela emissão de 67% do monóxido de carbono CO, 41% dos óxidos de nitrogênio NOx, 51% dos gases orgânicos reativos, 23% dos materiais particulados e 5% do dióxido de enxofre SO₂. Além disso, o setor de transportes também é responsável por quase 30% das emissões de dióxido de carbono CO₂, um dos principais responsáveis pelo aquecimento global. O relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas IPCC de 2001 mostrou que o nível total de emissão de CO₂ em 2000 foi de 6,5 bilhões de toneladas.

O biodiesel permite que se estabeleça um ciclo fechado de carbono no qual o CO₂ é absorvido quando a planta cresce e é liberado quando o biodiesel é queimado na combustão do motor. Um estudo conjunto do Departamento de Energia

e do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos mostra que o biodiesel reduz em 78% as emissões líquidas de CO₂.

O efeito da maior concentração de CO₂ na atmosfera é um agravamento do originalmente benéfico efeito estufa, isto é, o planeta tende a se aquecer mais do que o normal; em outras palavras, a temperatura média da Terra tende a subir, podendo trazer graves consequências para a humanidade.

Estudos realizados pelo Laboratório de Desenvolvimento de Tecnologias Limpas LADETEL da USP mostram que a substituição do óleo diesel mineral pelo biodiesel resulta em reduções de emissões de 20% de enxofre, 9,8% de anidrido carbônico, 14,2% de hidrocarbonetos não queimados, 26,8% de material particulado e 4,6% de óxido de nitrogênio. Contudo, estudo da União Européia mostra emissões de NO_x marginalmente piores que as do diesel de petróleo (CLERY, 2001).

Os benefícios ambientais podem, ainda, gerar vantagens econômicas para o país. O Brasil poderia enquadrar o biodiesel nos acordos estabelecidos no protocolo de Kyoto e nas diretrizes dos Mecanismos de Desenvolvimento Limpo MDL. Existe, então, a possibilidade de venda de cotas de carbono por meio do Fundo Protótipo de Carbono PCF, pela redução das emissões de gases poluentes, e também de créditos de sequestro de carbono, por meio do Fundo Bio de Carbono CBF, administrados pelo Banco Mundial.

Países como Japão, Espanha, Itália e países do norte e leste europeu têm demonstrado interesse em produzir e importar biodiesel, especialmente, pela motivação ambiental. Na União Européia, a legislação de meio ambiente estabeleceu que, em 2005, 2% dos combustíveis consumidos deverão ser renováveis e, em 2010, 5%.

Ressalte-se, contudo que, segundo o International Energy Agency (IEA), a matriz energética brasileira é uma das mais limpas do mundo. A Tabela 1.3.8.1 abaixo mostra que no ano de 2001 35,9% da energia fornecida no Brasil é de origem renovável. No mundo, esse valor é de 13,5%, enquanto que nos Estados Unidos é de apenas 4,3%.

Tabela 1.3.8.1 – Percentual de energia renovável no Brasil e em outros países.

PAÍS	SUPRIMENTO PRIMÁRIO DE ENERGIA (Mtep*)	SUPRIMENTO PRIMÁRIO DE ENERGIA RENOVÁVEL (Mtep*)	PERCENTUAL DE ENERGIA RENOVÁVEL (%)
Argentina	57.6	6.2	10.8
Austrália	115.6	6.6	5.7
Brasil	185.1	66.4	35.9
França	265.6	18.6	7.0
Alemanha	351.1	9.2	2.6
Reino Unido	235.2	2.5	1.1
Estados Unidos	2281.4	99.1	4.3
Mundo	10038.3	1351.9	13.5

FONTES: IEA, 2001

* Milhões de toneladas equivalentes de petróleo

1.3.9 Motivação econômica

Estudos recentes estimam que o investimento no setor de energias renováveis excederá US\$ 10 trilhões nos próximos 20 anos, na maior parte nos países em desenvolvimento (ROCHA, 2012). Considerando que a maioria das tecnologias de energias renováveis ainda não é competitiva em relação às não renováveis, nos países em que ocorreu uma implementação significativa das primeiras foi necessária a introdução de incentivos fiscais (UNEP, 2009).

Do ponto de vista econômico, a viabilidade do biodiesel está relacionada com o estabelecimento de um equilíbrio favorável na balança comercial brasileira, visto que o diesel é o derivado de petróleo mais consumido no Brasil, e que uma fração crescente desse produto vem sendo importada anualmente (NOGUEIRA e PIKMAN, 2002).

Em termos ambientais, a adoção do biodiesel, mesmo que de forma progressiva, ou seja, em adições de 2% a 5% no diesel de petróleo (MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2002), resultará em uma redução significativa no padrão de emissões de materiais particulados, óxidos de enxofre e gases que contribuem para o efeito estufa (MITTELBACH *et al.*, 1985). Sendo assim, sua difusão, em longo prazo, proporcionará maiores expectativas de vida à população e,

como consequência, um declínio nos gastos com saúde pública, possibilitando o redirecionamento de verbas para outros setores, como educação e previdência.

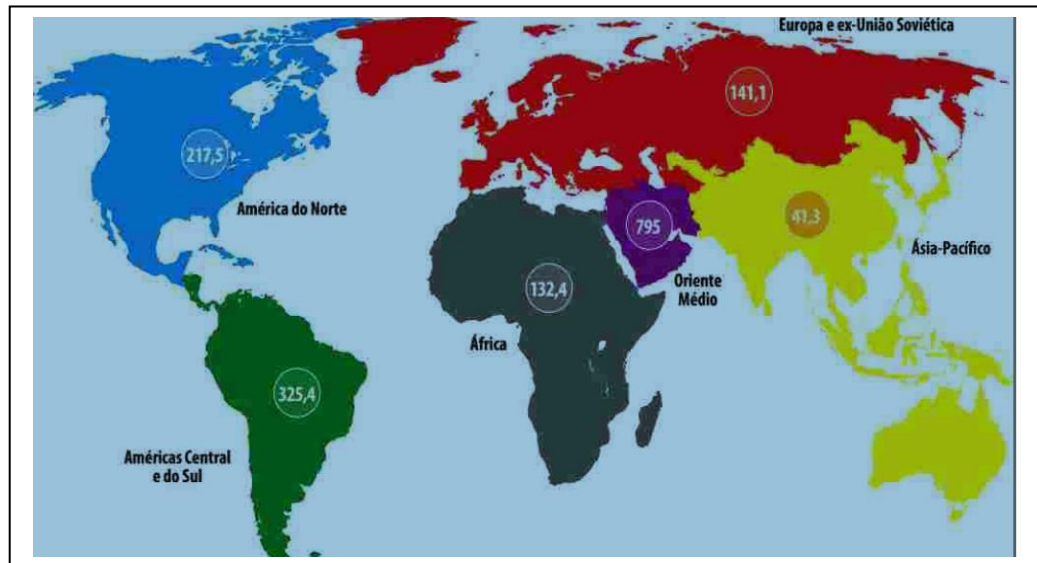
Cabe aqui ainda ressaltar que a adição de biodiesel ao petrodiesel, em termos gerais, melhora as características do combustível fóssil, pois possibilita a redução dos níveis de ruído e melhora a eficiência da combustão pelo aumento do número de cetano (GALLO, 2003).

Dado que as reservas mundiais de petróleo totalizam 1.147,80 bilhões de barris (Figura 1) e o consumo anual deste combustível fóssil está estimado em 80 milhões de barris / dia, chega-se à conclusão que as reservas mundiais de petróleo se esgotarão por volta do ano de 2046. É importante ressaltar que há controvérsias entre pesquisadores quanto ao prazo de esgotamento dessas reservas (RATHMANN *et. al.*, 2005). Considerando que, nesse cálculo, não foi considerado a tendência de aumento do consumo, podemos concluir que se não for descoberta novas reservas, o preço do produto ficará insuportável ao ponto de ser abandonado como combustível, impulsionando-nos na perspectiva da obtenção de alternativas de recursos energéticos que permitam a substituição do petróleo.

Logo, as empresas têm o desafio de produzir energia retirando da natureza o mínimo possível. Nossas fontes não são inesgotáveis, como se pensava há 150 anos atrás. Os últimos 300 anos foram marcados por três grandes ciclos de fonte de energia. No século XIX foi o carvão, no século XX foi o petróleo e agora tem-se o ciclo da biomassa (CASA CÍVIL DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 2005).

O setor econômico no panorama atual de mundo moderno é cada vez mais dependente do mercado de energia. O crescimento da economia e o seu desenvolvimento envolvem com certeza um incremento de demanda por energia. Dessa forma, a matriz energética e a dinâmica de busca por novas fontes de energia têm importantes papéis para o mercado econômico, seja este, empresas, governo ou indivíduo (FERREIRA, 2007).

Figura 1.3.9.1 – Reservas provadas de petróleo no mundo – 2011 (bilhões barris)



Fonte: ANP, 2012

Uma das provas inconteste que os países estão tomando consciência dessa questão é representada pelas pesquisas e desenvolvimento de fontes alternativas de energia, particularmente as que usam a biomassa como fonte. Nesse sentido ressalta-se o uso do biodiesel, já usado em larga escala na Alemanha (CÂNEPA, 2004).

Estudos já apontam que, a utilização da biomassa para fins energéticos, vem tendo uma participação crescente perante matriz energética mundial, levando a estimativas de que até o ano de 2050 deverá dobrar o uso mundial de biomassa disponível (FISCHER, 2001).

Uma outra motivação econômica, surgiu a partir da segunda metade do século XVIII, com o aparecimento da máquina a vapor e sua aplicação à produção. Tal fato, nos permitiu experimentarmos uma forte modificação na estrutura social da época provocando rápidas mudanças de ordem econômica, política e social.

A chamada Revolução Industrial, teve seu início na Inglaterra e se espalhou por todo mundo civilizado. Essa transformação foi tão crucial em seus diversos aspectos que mereceu integralmente o nome de revolução econômica (DOBB, 1963; BAIRD & CANN, 2011). Desde a Revolução Industrial, o consumo de energia

comercial tem aumentado a cada ano com uma taxa anual de crescimento de 2%. Contudo, foi a partir de 1860, quando ocorreu a substituição do vapor pela eletricidade e pelos derivados de petróleo, como principais fontes de energia e a consequente dependência dos processos de industrialização das energias não renováveis e do inerente e progressivo uso de combustíveis fósseis, passou-se a conviver com as decorrentes degradações ambientais.

A economia mundial está tão dependente dos combustíveis não renováveis, que o simples aumento do preço de petróleo (que é o mais explorado para fins energéticos) influencia fortemente as Bolsas de Valores no mundo. Por esta razão, o mundo está procurando soluções energéticas alternativas como os biocombustíveis, a eletricidade e o hidrogênio. E, a União Européia, prevê aumentar para 10% a percentagem de energias renováveis utilizadas nos transportes rodoviários, até 2020.

Pelo exposto anteriormente, o biodiesel assumiu um papel promissor, principalmente porque o peso do diesel mineral na matriz energética brasileira é consideravelmente elevado se comparado com outros países. Sendo assim, o Biodiesel tem um mercado potencial elevado no Brasil e as inovações tecnológicas a ele associadas podem aumentar a eficiência nos setores consumidores de Diesel, principalmente o setor de transportes. Particularmente porque com a invenção do motor de autoignição pelo engenheiro alemão Rudolf Diesel, 1895, o uso de óleos vegetais tornou-se alvo de pesquisas por cientistas de todo o mundo. Por possuírem alto índice de cetano e um poder calorífico elevado, teoricamente, seu uso *in natura* se presta para a queima em motores do ciclo diesel, como pressupunha o próprio inventor deste motor, que em 1900 apresentou um modelo capaz de queimar óleo de amendoim (ACIOLI, 1994; LOVATELLI, 2001; D AGOSTO, 2004).

1.3.10 Motivação Social

O grande mercado energético brasileiro e mundial poderá dar sustentação a um imenso programa de geração de emprego e renda a partir da produção do biodiesel (LIMA, 2004).

Estudos desenvolvidos pelos Ministério do Desenvolvimento Agrário, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Ministério da Integração

Nacional e Ministério das Cidades mostram que a cada 1% de substituição de óleo diesel por biodiesel produzido com a participação da agricultura familiar podem ser gerados cerca de 45 mil empregos no campo, com uma renda média anual de aproximadamente R\$4.900,00 por emprego. Admitindo-se que para 1 emprego no campo são gerados 3 empregos na cidade, seriam criados, então, 180 mil empregos. Numa hipótese otimista de 6% de participação da agricultura familiar no mercado de biodiesel, seriam gerados mais de 1 milhão de empregos.

Faz-se, a seguir, uma comparação entre a criação de postos de trabalho na agricultura empresarial e na familiar. Na agricultura empresarial, em média, emprega-se 1 trabalhador para cada 100 hectares cultivados, enquanto que na familiar a relação é de apenas 10 hectares por trabalhador. Os dados acima mostram claramente a importância de priorizar a agricultura familiar na produção de biodiesel. A produção de oleaginosas em lavouras familiares faz com que o biodiesel seja uma alternativa importante para a erradicação da miséria no país, pela possibilidade de ocupação de enormes contingentes de pessoas. Na região semiárida nordestina vivem mais de 2 milhões de famílias em péssimas condições de vida. A inclusão social e o desenvolvimento regional, especialmente via geração de emprego e renda, devem ser os princípios orientadores básicos das ações direcionadas ao biodiesel, o que implica dizer que sua produção e consumo devem ser promovidos de forma descentralizada e não-excludente em termos de rotas tecnológicas e matérias-primas utilizadas. (LIMA, 2004).

1.3.11 Localização de usinas produtivas

No Rio de Janeiro, existe uma unidade piloto de produção de biodiesel na Universidade Federal, baseada em óleo de fritura usado e cuja capacidade produtiva é de 6,5 mil litros por dia (MURTA et. al., 2006). A Hidroveg Indústrias Químicas Ltda., que fornece matéria-prima, óleos vegetais, novos e usados, e gordura animal, realiza a coleta dos 25 mil litros mensais de óleo de fritura usados e doados pela rede McDonalds, pré-purifica esse insumo e fornece à Universidade Federal do Rio de Janeiro UFRJ para a produção durante a etapa de testes, enquanto investe na adaptação de sua planta de beneficiamento, que produzirá 200 mil litros de biodiesel por dia e utilizará a rota metálica. (DOBB, 1987; BIRD & CANN, 2011).

Algumas cidades já começaram a utilizar o biodiesel, como Ribeirão Preto (SP), que já usa esse combustível em suas frotas de ônibus urbanos (LIMA, 2004). O emprego de biodiesel nas empresas também está crescendo. Em São Paulo, a Coordenadoria de Assistência Técnica Integral CATI, utiliza em sua frota de tratores o biodiesel à base de óleo de girassol, sendo que, desde maio de 2003, todos tratores do Núcleo de Produção de Sementes de Águas de Santa Bárbara, unidade da CATI, passaram a ser movidos com uma mistura de 30% de óleo vegetal, 65% de óleo diesel e 5% de gasolina como solvente. O litro dessa mistura tem um custo de produção de R\$ 1,19, e as primeiras avaliações indicam diminuição de consumo quando comparado ao uso do óleo diesel puro (LIMA, 2004).

No Estado de Pernambuco, também avançam os investimentos na área de instalações dessas usinas produtoras do biocombustível, conforme mostra a figura 1.3.11.1 a seguir.

Figura 1.3.11.1 – Usinas de Biodiesel no Estado de Pernambuco

USINA		CAPACIDADE DE PRODUÇÃO	MATÉRIA PRIMA	VALOR DO INVESTIMENTO
RAZÃO SOCIAL	SITUAÇÃO			
BIOVASF (Companhia de Biodiesel do Vale do São Francisco) Petrolina/PE	Em construção. Ainda sem processo de autorização pela ANP	260 mil litros/dia (80 milhões litros /ano)	Mamona, Soja e Pinhão-manso	R\$ 80 milhões
CETENE (Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste) Pesqueira/PE	Usina construída. Ainda sem processo de autorização junto à ANP	10 mil litros/dia (3 milhões litros / ano)	Mamona	R\$ 3,5 milhões
CETENE (Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste) Serra Talhada/PE	Em construção. Ainda sem processo de autorização pela ANP	6 mil litros / dia (1,8 milhão de litros/ano)	Mamona, caroço de algodão, pinhão manso e oiticica, além de outras oleaginosas adaptadas ao clima da região	R\$ 2 milhões
CETENE (Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste) Caetés/PE	Em construção. Ainda sem processo de autorização pela ANP	2 mil litros / dia (600 mil litros / ano)	Mamona, caroço de algodão, pinhão manso e oiticica, além de outras oleaginosas adaptadas ao clima da região	R\$ 1 milhão

UFPE Recife/PE	Usina piloto. Ainda sem processo de autorização pela ANP	200 litro/dia (60 mil litros/ano)	OGR, algodão, pinhão manso, mamona e gordura animal	-
INCOA Pesqueira/PE	-	250 mil litros/dia (75 milhões litros / ano)	Mamona, Girassol, Algodão e Pinhão-manso	-

Fonte: Adaptado de <http://usinasbr.blogspot.com.br/2008/04/biovasfhlc-petrolinape.html>

Das 61 usinas autorizadas pela ANP com capacidade nominal de 3071 milhões/m³ ainda existem 25 em processo de autorização totalizando uma capacidade nominal de 1063 milhões de m³ e 10 usinas que se encontram em processo de ampliação para 3071 milhões/m³.

1.3.12 Modelos utilizados para EVTE

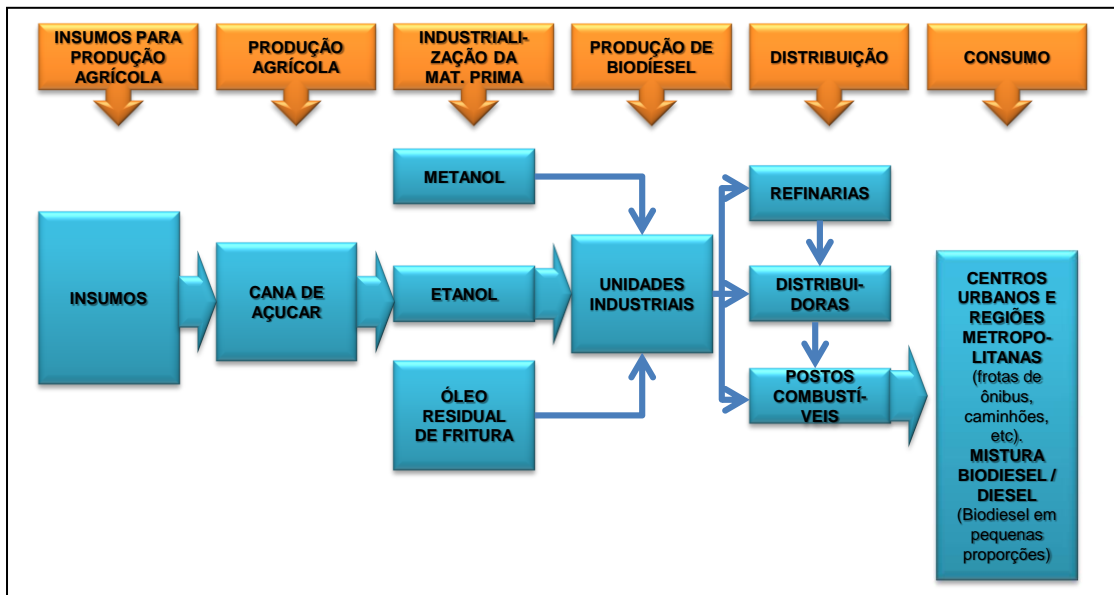
O setor econômico no panorama atual de mundo moderno é cada vez mais dependente do mercado de energia. O crescimento da economia e o seu desenvolvimento envolvem com certeza um incremento de demanda por energia. Dessa forma, a matriz energética e a dinâmica de busca por novas fontes de energia têm importantes papéis para o mercado econômico, sejam estas empresas, governo ou indivíduo (FERREIRA, 2007). O Biodiesel assume um papel promissor, principalmente porque o peso do Diesel mineral na matriz energética é consideravelmente elevado se comparado com outros países. Sendo assim, o Biodiesel tem um mercado potencial elevado no Brasil e as inovações tecnológicas a ele associadas podem aumentar a eficiência nos setores consumidores de Diesel, principalmente o setor de transportes. Portanto, baseado em uma necessidade cada vez maior para soluções ambientais, este trabalho será elaborado a partir do desenvolvimento de um modelo econômico baseado em sistemas dinâmicos, o qual permite avaliar o ponto de equilíbrio entre produção de matéria-prima e a produção de Biodiesel.

Os Sistemas dinâmicos podem ser vistos como uma metodologia de modelagem e simulação para tomada de decisões, pois busca entender a evolução de um sistema ao longo do tempo. A abordagem central é que o comportamento de

um sistema é determinado pelas diversas interações internas e externas, representadas como ciclos de *feedback*. Assim, usando um software adequado para modelar um sistema, é possível investigar o seu comportamento ao longo do tempo. Isto significa testar os diferentes tipos de comportamento que o sistema real pode ter, tornando viável a identificação e avaliação de melhorias potenciais (FERNANDES, 2001).

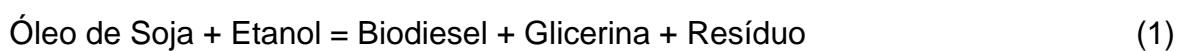
Será utilizada a cadeia produtiva do Biodiesel, proposta por Cánepa (2004), modificada para modelagem do sistema, incorporando a esta o óleo de fritura residual, de acordo com a Figura 1.3.12.1 a seguir.

Figura 1.3.12.1 – Cadeia Produtiva do Biodiesel



FONTE: Adaptado de Cánepa, 2004

Como mostrado na figura acima, o Biodiesel é produzido a partir de um processo de transesterificação, utilizando os óleos (soja, mamona, amendoim, girassol, óleo residual, etc.). O balanço de massa da reação para produção de Biodiesel é dado pela Equação 1:



1.3.13 Análise de Investimentos

As decisões de escolha de um projeto necessitam de critérios que demonstrem e auxiliem a decisão de investimento. Entre os critérios mais comumente aplicados encontram-se os de: a) Valor Presente Líquido (VPL), b) Taxa Interna de Retorno (TIR) e, c) *Payback* Descontado (PD) e de Análise de Sensibilidade. Esses critérios são os mais frequentemente utilizados e permitem avaliar o projeto sob diferentes perspectivas. Em caso de projetos com uma única mudança de sinal do fluxo de caixa as recomendações de aceitação/rejeição dos métodos do VPL e da TIR são as mesmas.

1.3.14 Modelos econômicos

Valor Presente Líquido – VPL

A técnica do valor presente líquido (VPL) segundo Gitman (2002, p.329) é considerada uma “(...) técnica sofisticada de análise de orçamentos de capital (...)”. Nesta técnica descontam-se os fluxos de caixa esperados da empresa a uma taxa específica de desconto.

Para se definir o valor de mercado de uma empresa, é importante que se calcule “(...) o valor presente dos fluxos de caixa livre futuros da empresa (...)” afirmaram Martin e Petty (2000, p.51). Sendo assim, quando se avalia o fluxo de caixa esperado de qualquer projeto de implantação de uma empresa, está se avaliando o valor da empresa.

O valor presente líquido de um investimento para uma empresa é um critério que transporta as projeções de fluxo de caixa para o valor presente, e assim permite constatar se há criação, ou não, de valor do projeto. Ou seja, se o VPL for positivo, indica que o projeto é viável economicamente e o projeto deve ser aceito. Caso o VPL seja igual a zero, indicará que o custo inicial seja recuperado e remunerado na taxa requerida, porém não criará nem destruirá valor da empresa. Caso o VPL seja negativo o projeto é considerado inviável, logo deve ser rejeitado (LAPPONI, 2008).

$$VPL = F_0 + \frac{F_1}{1+r} + \frac{F_2}{(1+r)^2} + \frac{F_3}{(1+r)^3} + \dots \quad (2)$$

ou

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+k)^t} - FC_0 \quad (3)$$

Quando o VPL é usado, tanto as entradas como as saídas de caixa são medidas em termos de dinheiro presente. Como estamos lidando com investimentos que possuem série convencionais de fluxos de caixa, o investimento inicial é automaticamente expresso em termos de dinheiro presente (GITMAN, 2004).

Taxa Interna de Retorno – TIR

A decisão de investir, de comprar um bem de capital, dependerá da rentabilidade esperada e da taxa de juros do mercado (VASCONCELLOS, 2007):

$I = f$ (taxa de retorno esperada; taxa de juros)

Define-se como eficiência marginal do capital (EMC), a taxa de retorno esperada sobre o investimento. Essa taxa, é aquela que iguala o valor presente (atual) dos retornos líquidos esperados que se espera obter com o investimento ao preço de aquisição do equipamento (VASCONCELLOS, 2007).

$$\text{Preço de aquisição} = \frac{\text{valor do retornos líquidos esperados no período}_t}{(1+r)^t} \quad (4)$$

sendo r a taxa de retorno esperada e t o numero de anos previstos para a duração do equipamento. O lado direito dessa expressão é o valor presente dos rendimentos líquidos esperados, que são os rendimentos futuros descontados pela taxa de retorno esperada. Na área de Matemática Financeira e de Engenharia Econômica, a EMC é mais conhecida como TIR (VASCONCELLOS, 2007).

A taxa interna de retorno (TIR) é definida como uma taxa efetiva do fluxo de caixa do projeto, ou a taxa efetiva oferecida pelo projeto. Representa o maior custo de oportunidade que o projeto pode suportar. De acordo com o critério da TIR o projeto deve ser aceito se o valor da TIR for maior do que a taxa mínima de atratividade “ k ” (TIR k). No caso da TIR ser igual à taxa mínima de atratividade (TIR= k) o projeto poderá ou não criar valor para a empresa, e no caso contrário (TIR $<k$), deve-se rejeitar o projeto. A TIR corresponde é uma taxa que remunera periodicamente o custo inicial não amortizado que permanece investido no projeto, levando a um valor decrescente que se anula no final do prazo de análise do projeto.

A TIR talvez seja a mais utilizada técnica sofisticada de orçamentos de capital. Entretanto, seu cálculo manual é muito mais difícil que o do VPL (GITMAN, 2004). Trata-se da taxa de desconto que iguala o VPL de uma oportunidade de investimento a \$ 0 (porque o valor presente das entradas de caixa se iguala ao investimento inicial).

Rezende (2001) afirma que a TIR de um projeto é a taxa anual de retorno do capital investido, tendo a propriedade de ser a taxa de desconto que iguala o valor atual das receitas (futuras) ao valor atual dos custos (futuros) do projeto. Matematicamente, a TIR é o valor de k na Equação (3), que faz com que o VPL se iguale a \$ 0.

Quando a TIR é igual ou maior ao custo de oportunidade do capital o projeto tem atratividade para execução. Este critério é bastante aceito na análise de viabilidade, pois considera elementos externos ao projeto, que são as taxas de juros do mercado.

Payback Descontado

Os períodos de *payback* são comumente utilizados na avaliação de investimentos. Trata-se do tempo necessário para que a empresa recupere seu investimento inicial em um projeto, calculado com suas entradas de caixa (GITMAN, 2004).

Através do critério de *Payback* Descontado (PBD) obtém-se o valor t , correspondente ao tempo em que o VPL do projeto simples é igual a zero e a partir

desse ponto passam a ser positivos a uma taxa requerida k , ou seja, a partir desse ponto passa-se a recuperar o capital investido e o projeto simples passa a gerar valor.

O critério do PBD indica se o projeto criará valor para a empresa, e quanto menor for o PBD, comparado com o prazo de análise do projeto simples, maior será o valor do VPL positivo do projeto (LAPPONI, 2008). Na decisão pelo método do PBD, compara-se este com o Tempo Máximo Tolerado (TMT), geralmente um valor arbitrário menor do que o prazo de análise e de decisão para o investidor. Caso o $PBD < TMT$ deve-se aceitar o projeto, caso o $PBD > TMT$ deve-se rejeitá-lo. No caso do $PBD = TMT$, isto indicará que o custo inicial do projeto deverá ser recuperado e remunerado na taxa requerida k , porém o projeto nem cria nem destrói valor (KYSAR, 2006). O método do PBD é mais utilizado como um método complementar de avaliação, reforçando os resultados do método do VPL (GITMAN, 2004).

Análise de Sensibilidade

Também como método complementar temos a análise de sensibilidade. Segundo Contador (1988, p. 204), a análise de sensibilidade é uma forma de considerar o risco na tomada de decisão. Nesta análise utiliza-se da variação de determinados parâmetros mais sujeitos à incerteza, e observa-se o que essas modificações provocam na rentabilidade do projeto. Portanto, a análise de sensibilidade consiste em aplicar diferentes valores para cada uma das variáveis, supondo as demais como constantes (BUARQUE, 1984, p. 182). Como regra geral utiliza-se a variação de 10% em uma variável, sempre no sentido desfavorável para a rentabilidade. Após variar as receitas ou os custos verifica-se o efeito sobre a rentabilidade.

Nesta análise, normalmente, modifica-se apenas uma variável de cada vez. Esta análise permite determinar o ponto crítico de determinadas variáveis, ou seja, o valor crítico da variável independente que modifica a decisão de aceitar ou rejeitar o projeto. Por isso optou-se, como ferramenta metodológica, o uso do Solver do Excell para aplicação da análise para EVTE.

Conforme Bloch (2012), o Solver faz parte de um conjunto de programas, que geralmente são chamados de ferramentas de análise hipotética, ou seja, uma ferramenta que possibilita encontrar um valor ideal (otimizado) para uma determinada equação. Para resolver problemas lineares e de números inteiros, o Solver utiliza o algoritmo Simplex com limites sobre as variáveis e o método de desvio e limite. Esse método foi implementado por John Watson e Dan Fylstra, ambos da Frontline Systems, Inc. (FYLSTRA, 1998).

Gomes (2012), propõe a montagem de um modelo de otimização no Excel em três partes: Célula de destino (fórmula da função objetivo), Células variáveis e as Restrições. Este método recebe as fórmulas do modelo matemático anteriormente explicado. Entretanto, facilitará a passagem dos dados do modelo matemático convencional para uma planilha do Excel e posteriormente a manipulação dos mesmos pelo Solver.

1.4 Referências

ACIOLI, J. L. Fontes de Energia. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1994.

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **Dados Estatísticos**. ISSN 1983-5884, Página <http://www.anp.gov.br> em 13/06/2011.

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). Anuário estático brasileiro de petróleo, gás natural e biocombustíveis, 2012. Disponível em <http://www.anp.gov.br>. Acesso em 19/06/2013.

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). Biodiesel: estratégias para produção e uso no Brasil. In: BIODIESEL: ESTRATÉGIAS PARA PRODUÇÃO E USO NO BRASIL, 2005, São Paulo: Unicorp, 26-27, abr. 2005. **Anais...** v.1, p.1-23.

ALVES, C.T.; Torres, E. A.; Camelier, L. A. **Produção de Biodiesel a Partir de OGR em Planta Piloto**. Salvador : s.n. 2008.

ARREDONDO, H.I.V. Avaliação exergética e exergo-ambiental da produção de biocombustíveis. 2009. Tese de Doutorado. (Doutorado em Engenharia Mecânica) USP. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3150/tde-14082009-172642/>>. Acesso em 29/06/2013.

ARRUDA, João B.F.; GUIMARÃES, Lucas R.; ROCHA, Moisés S. **Localização de usinas de tratamento de óleos residuais urbanos como insumo na cadeia produtiva de biodiesel**. 2010.

BAIRD, Colin; CANN, Michael. **Química ambiental**. 4 ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.

BARBOSA, G.R.; CARVALHO JÚNIOR, H.J.; PISSINATO, M.A.; KUNRATH JÚNIOR, N.O.; LAMO, P.R. 2007, 190 p. **Business plan verdiesel**. São Paulo: Fundação Instituto de Administração, USP, Monografia (trabalho de conclusão de curso MBA).

BARRETO, C. R. Óleo de dendê substitui petróleo como combustível e matéria-prima. **Petro & Química**, v. 5, n. 50, 1982.

British Petroleum BP. Estatistical Review of World Energy, 2012. Disponível em <<http://www.bp.com>> Acesso em 18/06/2013.

BLOCH, S.C. **Excel para Engenheiros e Cientistas**. 2. Ed, Rio de Janeiro: LTC, 2012.

BONONI, A. **Biocombustíveis – A vocação brasileira para uma matriz energética sustentável.** Apresentação em Power Point, Salvador, Bahia, junho de 2004.

BUARQUE, Cristovam. **Avaliação econômica de projetos.** São Paulo: Campus, 1984.

CÁNEPA, D.L. **Alternativas de configuração da cadeia produtiva do Biodiesel na perspectiva de Centros de P&D.** Porto Alegre: UFRGS, Programa de Pós-Graduação em Agronegócios, 2004. (Dissertação de Mestrado)

CASA CÍVIL DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **Biodiesel: estratégias para produção e uso no Brasil.** In: BODIESEL: ESTRATÉGIAS PARA PRODUÇÃO E USO NO BRASIL, 2005, São Paulo: Unicorp, 26-27, abr. 2005. **Anais...** v.1, p. 24-33.

CONTADOR, Cláudio Roberto. **Avaliação social de projetos.** Atlas, 1988.

CHIARANDA, M. et al. A produção do biodiesel no Brasil e aspectos do NPB, 2005. Disponível em < <http://www.anp.gov.br> > Acesso em 30/07/2013.

CHRISTOFF, Paulo. **Produção de biodiesel a partir do óleo residual de fritura comercial estudo de caso: Guaratuba, litoral paranaense.** Curitiba, 2006. Dissertação (Mestrado) Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento - LACTEC, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Tecnologia.

CLERY, P. **Green fuels Challenge-Submission for Biodiesel and Bioethanol.** BABFO British Association of Bio Fuels and Oils, 2001. Disponível em <http://www2.camara.leg.br/documentos-e-pesquisa/publicacoes/estnottec/pdf/2004_676_Estudo.pdf> Acesso em 29/06/2013.

DABDOUB, M.J. **Biodiesel em casa e nas Escolas: Programa coleta de óleos de fritura, 2006.** In: Produção de biodiesel a partir do óleo residual de fritura comercial. Estudo de caso: Guaratuba, litoral paranaense. Dissertação de mestrado, Curitiba, 2007.

DOBB, Maurice. **A evolução do capitalismo.** 9ª Ed. Rio de Janeiro: LTC, 1987.

DUARTE, A. Esperança nacional. **Revista Biodieselbr.** Curitiba, ano 1, n.5, p.24-34, jun./jul. 2008.

FELIZARDO, P. M. G.; BERKEMEIER, R.; BORDADO, J. C.; CORREIA, M. J. N. **Produção de biodiesel à partir de óleos usados de fritura.** Relatório de estágio para obtenção do grau de licenciatura em Engenharia Química. Instituto Superior Técnico. Lisboa. Outubro, 2003.

FERNANDES, R. K. M. et al. Biodiesel a partir de óleo residual de fritura: alternativa energética e desenvolvimento sócio-ambiental. In: Anais do **XXVIII Encontro**

Nacional de Engenharia de Produção: A integração de cadeias produtivas com a abordagem de manufatura sustentável, p. 13-16, 2008.

FERRARI, R.A.; OLIVEIRA, V.S.; SCABIO, A. Biodiesel de soja: taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físico-química e consumo em gerador de energia. *Química Nova*, São Paulo, v.1, p.19-23, 2005.

FERREIRA, L. Análise da viabilidade da Produção de Biodiesel a partir da Soja do Brasil. In: **Anais do XXXIX SBPO**. Fortaleza-CE, 2007.

FISCHER, G.; SCHRATTENHOLZER, L. Global bioenergy potentials through 2050. **Biomass & Bioenergy**, Pergamon, v.20, n.3, p. 151-159, mar., 2001.

FYLSTRA, Daniel et al. Design and use of the Microsoft Excel Solver. **Interfaces**, v. 28, n. 5, p. 29-55, 1998.

GITMAN, Lawrence J. **Princípios de administração financeira**. 10^a. Ed. São Paulo: Addison Wesley, 2004.

GALLO, W. L. R. Especificações de novos combustíveis: o papel da ANP. In: SEMINÁRIO PARANAENSE DE BIODIESEL, 1., 2003, Londrina. **Anais eletrônicos**. Disponível em: <http://www.tecpar.br/cerbio/Seminario-palestras.htm>> Acesso em: 14/06/2013.

GOMES, L.A. **Excel para Engenheiros**. 2. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

GONÇALVES, M.A.B. e NOGUEIRA, R.G. O efeito estufa pode ser reduzido com a produção e a utilização do biodiesel? **Revista Processos Químicos**, Goiânia, v.1, n.2, ano 1, jul/dez, 2007.

GONÇALVES, M.F.; EVANGELISTA, F.R. Os descompassos do programa nacional de produção e uso de biodiesel (PNPB) no Nordeste. In: XLVI Congresso Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural. Rio Branco, Jul-2008. Disponível em <http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/109526/2/626.pdf> Acesso em 29/06/2013

HOLANDA, A. **Biodiesel e Inclusão Social**. Câmara dos Deputados. Conselho de Altos Estudos e Avaliação Tecnológica. Brasília, 2004.

JOHNSTON, M.; HOLLOWAY, T. **A global comparison of national biodiesel production potentials**. *Environmental science & technology*, Wisconsin, v. 41, n. 23, p. 7967-7973, 2007.

KNOTHE, G. Perspectivas históricas de los combustibles diesel basados em aceites vegetales. *Revista A&G*. v. 47. Tomo XII, n. 2, p.222-6, 2002.

LAPPONI, J. C. **Projetos de investimento na empresa**. ed. Rio de Janeiro: Campus/Elsevier, 2008. 488 p.

LIMA, P.C.R., O biodiesel e a inclusão social. **Consultoria Legislativa**. Brasília: Câmara dos Deputados, 2004.

LOVATELLI, C. **Situação do biodiesel no mundo: anais do Seminário Biodiesel**. São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Automotiva, 2001.

MARTIN, John D.; PETTY, J. William. **Value based management: the corporate response to the shareholder revolution**. New York: HBS Press, 2000.

MARTINES, E. **Óleo vegetal usado**. Instituto de Tecnologia do Paraná - TECPAR. Julho de 2007. Disponível em Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas (SBRT) Disponível em: www.sbvt.ibict.br . Acesso em Junho/2013.

MEIRELES, Fábio de Salles. **Biodiesel**. Brasília, 2003. Portal Biodiesel Brasil. Disponível em: <<http://www.biodieselbrasil.com.br>>. Acesso em: 05/07/2006.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa. Brasília, 2002.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Programa brasileiro de biocombustíveis: rede brasileira de biodiesel - PROBIODIESEL. Brasília, 2002.

MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA E DO COMÉRCIO. Produção de Combustíveis Líquidos a Partir de Óleos Vegetais. Brasília: Secretaria de Tecnologia Industrial, 1985, 364p

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Diretrizes de política de agroenergia 2006-2011**. 2006. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: 08/06/2013.

MITTELBACH, M.; TRITTHART, P.; JUNEK, H. Diesel fuel derived from vegetable oils, II: emission tests using rape oil methyl ester. **Energy in Agriculture**, v.4, p.207-215, 1985.

MORET, Artur; RODRIGUES, Délcio; ORTIZ, Lúcia. Critérios e Indicadores de Sustentabilidade para Bioenergia. Disponível em: <<http://www.natbrasil.org.br/Docs/publicacoes/bioenergia.pdf>>. Acesso em: 02/08/2006.

MURPHY, M.J.; KETOLA, H.N. & RAJ, P.K. *Summary and assessment of the safety, health, environmental and system risks of alternatives fuels*. Helena: U. S. Department of Transportation Federal Transit Administration, 1995. 28 p.

NAG, A.; BHATTACHARYA, S.; DE, K.B. New utilization of vegetable oils. J. Am. Oil Chem. Soc., v.72, n.12, p.1591-1593, 1995.

NETO, P.R.C; ROSSI, L.F.S.; ZAGONEL, G.F.; RAMOS, L.P. Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em frituras. Química Nova, v.23, n. 4, jul/ago de 2000.

NOGUEIRA, L. A. H.; PIKMAN, B. Biodiesel: novas perspectivas de sustentabilidade. **Conjuntura & Informação - Agência Nacional do Petróleo**, n.19, 2002. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/doc/informe_ci> Acesso em: 14/06/2013.

NOGUEIRA, L. A. H. et al. **Agência Nacional de Energia Elétrica**. Adaptado pelo DPA/MAPA, 2005.

OLIVÉRIO, J. O. **Implantação das usinas de biodiesel**. FIESP : São Paulo, 2005.

PARENTE, E. J. S. **Biodiesel: Uma aventura tecnológica num país engraçado**. Fortaleza: Unigráfica, 2003

PETROBRAS. Disponível em <<http://www.petrobras.com.br/pt/energia-e-tecnologia/fontes-de-energia/biocombustiveis/>>. Acesso em 19/06/2013.

PHLIPPI, T. S. **Nutrição e técnica dietética**. São Paulo : Manole, 2003.

RAMOS, L. P. **Aspectos técnicos sobre o processo de produção do biodiesel**. *In*: SEMINÁRIO PARANAENSE DE BÍODIESEL, 1., 2001, Londrina. Anais eletrônicos... Disponível em <http://www.tecpar.br/cerbio/Seminario-palestra.htm>> Acesso em 23-ago-2013.

RAMOS, L. P. **Conversão de óleos vegetais em biocombustível alternativo ao diesel convencional**. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 1999, Londrina. Anais... Londrina: Embrapa-Soja, 1999. p.233-236.

RATHMANN, Regis *et al.* **Biodiesel: uma alternativa estratégica na matriz energética brasileira?**. 2005, São Paulo : Unicorp, 26-27, abr. 2005. **Anais...** v.1, p.1-23.

REZENDE, J.L.P. de; OLIVEIRA, A.D. de. **Análise econômica e social de projetos florestais**. 2ª. Edição. Viçosa: UFV, 2001.

ROCHA, Katia; GUTIERREZ, Maria Bernadete G. P. Sarmiento; HAUSER, Philipp. **A remuneração dos investimentos em energia renovável no Brasil – Uma proposta metodológica ao benchmark da UNFCCC para o Brasil**. Texto para discussão 1701. IPEA: Rio de Janeiro, 2012.

ROHDE, Geraldo Mario; PHILOMENA, Antonio Liborio. Emissão Antropogênica de CO₂ e Sustentabilidade. Disponível em: <<http://cienciaecultura.bvs.br/pdf/cic/v56n4/a02v56n4.pdf>>. Acesso em: 11/07/2006.

SALES et al. **A importância do biodiesel para o meio ambiente**. *In*: I CONGRESSO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA REDE NORTE NORDESTE DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA. Natal, 2006.

SCHUCHARDT, U.; SERCHELI, R.; VARGAS, R. M. **Transesterificación of vegetable oils: a review**. J.Braz.Chem.Soc., v.9, p.199-210, 1998.

SCRIMGEOUR, C. Chemistry of fatty acids. Bailey s industrial oil and fat products. 6 ed. Dundee: John Wiley & Sons, 2005. p.1-43.

SILVA, S. **Como se processa a eliminação dos resíduos de óleos alimentares**. Gabinete Técnico Alimentar da ARESP Apoio a Restauração Segurança Alimentar. Junho de 2003. Disponível em www.portalimentar.com. Acessado em Novembro/2007.

SERRUYA, H. Óleos Vegetais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 31, Recife, 1991. Anais...Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 1991.

SOUZA, M.T.B. **Análise da utilização do biodiesel como alternativa para o desenvolvimento sustentável**. In: I Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica. Natal, 2006.

KYSAR, Rebecca M. **The Sun Also Rises: The Political Economy of Sunset Provisions in the Tax Code**. Georgia Law Review, Vol. 40, No. 2, March 2006. Disponível em: <http://ssrn.com/abstract=887388>. Acesso em Nov/2013.

KOHLHEPP, Gerd. **Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil**. Estudos avançados 24 (68), 2010. p. 223-253.

UNEP. United Nations Environment Programme. **Financing a global deal on climate change**. 2009.

U.S. Department of Energy. Biodiesel research progress 1992-1997. 1998. Disponível em: <http://www.epa.gov/epahome/resource.htm> Acesso em 24/05/2013.

VASCONCELLOS, M. A. S. de. **Economia: Micro e macro**. 4. Ed. São Paulo : Atlas, 2007.

VERDE VERTE. Óleo de fritura: o problema tem solução. [S.I.], 2009. Disponível em: <http://www.verdeverte.com.br/blog/?p=3> >. Acesso em: 09/11/ 2010.

ZAGONEL, G. F.; RAMOS, L. P. **Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleos vegetais**. Revista de Química Industrial, v.717, p.17-26, 2001.

ZANG, X.; PETERSON, C.; REECE, D; HAWS, R. & MOLLER, G. **Biodegradability of biodiesel in the aquatic environment**. Trans. ASAE, v.41, p.1423-1430, 1998.

CAPÍTULO II

ANÁLISE COMPARATIVA DE INVESTIMENTOS PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL COM AJUDA DA PLANILHA EXCEL

Paulo Roberto Cisneiros Vieira

Valdemir Alexandre dos Santos

Resumo

Foi desenvolvido um método computacional, em planilha eletrônica Excel®, para comparar investimentos em processos produtivos com aplicação na produção de biodiesel. O biodiesel pode substituir total ou parcialmente o óleo diesel de petróleo em motores de ciclo diesel automotivo. Sua utilização em grande escala permitirá a economia de divisas com a importação de diesel de petróleo, além de esperada redução da poluição ambiental. A metodologia aplicada para avaliar a viabilidade econômica de um processo produtivo utilizou o emprego simultâneo das técnicas de cálculos do Valor Presente Líquido (VPL) e da Taxa Interna de Retorno (TIR), mais precisamente o envolvimento do cálculo de Payback Descontado. Um valor de TIR na expressão de cálculo do VPL substituindo a TMA, leva à um cálculo iterativo cujo resultado anula a VPL. Essa metodologia de análise permite uma escolha rápida e eficiente do investimento mais atrativo, utilizando a ferramenta Solver da Planilha Excel, disponível e de fácil acesso para investidores. Permite ainda dispensar a confecção de gráficos.

Palavras-Chave: Biocombustível; Óleo residual de fritura; VPL; TIR; TMA.

Abstract

Was developed a computational method in Excel® spreadsheet to compare investments with application in the production of biodiesel. Biodiesel can replace all or part of the diesel oil in automotive diesel engines. Its use on a large scale will allow the economy to foreign exchange to import diesel oil , and expected reduction of environmental pollution. The methodology applied to assess the economic viability of a production process used the simultaneous employment of technical calculations of Net Present Value (NPV) and Internal Rate of Return (IRR). A value of NRR in the NPV calculation expression replacing the Minimum Rate of Attractiveness (MRA) and leads to an iterative calculation whose result cancels the NPV value. For a quick and efficient choice of investment more attractive the spreadsheet was developed using the Excel 2007® Solver function. This tool is available and easily accessible to investors. It is established that presented method for calculating those economic parameters requires minimal efforts from the users.

Keywords: Biodiesel fuel production, Waste cooking oils, NPV, NRR, MRA

2.1 Introdução

Embora os métodos para a análise de investimentos sejam realmente válidos, eles são deixados de lado por grande parte da comunidade dos negócios, principalmente nas pequenas e médias empresas. Há muitas razões para esse lamentável fato. Em primeiro lugar, a introdução desses métodos nos currículos das universidades é um desenvolvimento relativamente recente. Segundo, em muitos casos, os empresários usam, e às vezes, abusam da intuição e da experiência na tomada de decisões sobre a aplicação do capital. Finalmente, o método da taxa de retorno (GITMAN, 2004), que é o mais popular, muitas vezes é utilizado de maneira inadequada, gerando uma expectativa errada a respeito do projeto em questão. Infelizmente, essas maneiras inadequadas de aplicação do método da taxa de retorno foram consagradas pela prática devido a suas aparentes simplicidades.

Vários são os métodos usuais de seleção e avaliação de opções de investimento; cada um deles parte de certas premissas, não havendo consenso quanto ao mais indicado (REZENDE, 2011). Porém, a decisão de escolha de um projeto necessita de critérios que demonstrem e auxiliem à tomada de decisão pelo melhor investimento. Entre os critérios comumente aplicados encontram-se os de Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e *Payback* Descontado (PBD) (GITMAN, 2004).

Esses critérios são os mais frequentemente utilizados e permitem avaliar o projeto sob diferentes perspectivas. Em caso de projetos com uma única mudança de sinal do fluxo de caixa as recomendações de aceitação/rejeição dos métodos do VPL e da TIR são as mesmas. Tal como a VPL, a TIR é uma técnica sofisticada de orçamento de capital porque leva explicitamente em conta o valor do dinheiro no tempo (GITMAN, 2004).

Uma taxa mínima de atratividade (TMA) conhecida também como taxa de atratividade mínima é de fato o que se poderia denominar de custo de oportunidade do capital. Ela é composta de três fatores, a considerar: custo de oportunidades, risco de negócios e liquidez (FERREIRA, 2000). Custo de oportunidades é o custo que se tem quando se usa o próprio capital para se fazer negócios. Dessa forma,

suponha que se possua determinado capital aplicado no mercado, rendendo $x\%$ todo o mês. Para fazer qualquer outro investimento com esse mesmo capital só se pode utilizá-lo se a taxa de juros prometida pelo novo investimento ultrapassar esse $x\%$ ou, no mínimo, um valor igual a esse $x\%$.

Outro parâmetro à ser considerado é se vale a pena arriscar fazer retirada do investimento, onde não se executa trabalho para lucrar esse $x\%$, para investir em algo que pode apresentar riscos de até render prejuízo financeiro. O trabalho que será executado nesse novo investimento valerá a pena? E, por último, deve-se avaliar a liquidez do novo investimento, ou seja, a capacidade desse investimento em gerar ganhos e isso também deve compor a TMA. Então, não se tem como definir uma TMA padrão, dificultando para o investidor a escolha desse valor, uma vez que cada projeto possui valores próprios para custo de oportunidades, risco de negócios e liquidez.

Conforme Lapponi (2008) e Ragsdale (2010), o VPL de um investimento para uma empresa é um critério que transporta as projeções de fluxo de caixa para o valor presente, e assim permite constatar se há criação, ou não, de valor do projeto. Ou seja, se o VPL for positivo, indica que o projeto é viável economicamente e o projeto pode ser aceito. Caso o VPL seja igual a zero, indicará que o custo inicial seja recuperado e remunerado na taxa requerida, porém não criará nem destruirá o valor da empresa. Por outro lado, caso o VPL seja negativo o projeto é considerado inviável, logo deve ser rejeitado.

A TIR é definida como uma taxa efetiva do fluxo de caixa do projeto, ou a taxa efetiva oferecida pelo projeto (GITMAN, 2004) e representa o maior custo de oportunidade que o projeto pode suportar. De acordo com Beninga (2000) e Gitman (2004), o projeto deve ser aceito se o valor da TIR for maior do que o da Taxa de Mínima Atratividade (TMA), ou seja, $TIR > TMA$. No caso da TIR ser igual à TMA, o projeto poderá, ou não, criar valor para a empresa, e no caso contrário $TIR < TMA$, deve-se rejeitar o projeto. A TIR corresponde é uma taxa que remunera periodicamente o custo inicial não amortizado que permanece investido no projeto, levando a um valor decrescente que se anula no final do prazo de análise do projeto.

Quando se utiliza o critério de PBD obtém-se um valor t , correspondente ao tempo em que o VPL do projeto simples é igual a zero e a partir desse ponto passam

a ser positivos a uma taxa requerida k , ou seja, a partir desse ponto passa-se a recuperar o capital investido e o projeto simples passa a gerar valor (LESTER, 2006). O critério do PBD indica, sem medir, se o projeto criará valor para a empresa, e quanto menor for o PBD, comparado com o prazo de análise do projeto simples, maior será o valor do VPL positivo do projeto. Na decisão pelo método do PBD, compara-se este com o Tempo Máximo Tolerado (TMT), geralmente um valor arbitrário menor do que o prazo de análise e de decisão para o investidor. Caso o $PBD > TMT$ deve-se aceitar o projeto, caso o $PBD < TMT$ deve-se rejeitá-lo. No caso do $PBD = TMT$, isto indicará que o custo inicial do projeto deverá ser recuperado e remunerado na taxa requerida k , porém o projeto nem cria nem destrói valor (KYZAR, 2006). O método do PBD é mais utilizado como um método complementar de avaliação, reforçando os resultados do método do VPL (GITMAN, 2004).

O presente trabalho tem como objetivo contribuir com uma metodologia eficiente e de fácil acesso para avaliar e comparar viabilidades econômicas de processos de produção de Biodiesel. Definiu-se o processo que utiliza óleo residual de fritura como padrão em função do grande apelo ambiental que caracteriza o mesmo. A ferramenta Solver da planilha eletrônica Excel foi escolhida para compor essa metodologia em razão de sua característica principal que é de facilitar a solução de modelos matemáticos que não permitem soluções analíticas.

2.2 Material e Métodos

A escolha de um investimento, quando realizado pela comparação entre duas alternativas, partindo-se de diferentes insumos, deve envolver uma análise para as diferentes tecnologias, comparadas em condições otimizadas de processo (BUENO, 2007).

O objetivo de um modelo de otimização é determinar a quantidade máxima ou mínima que ocorre como resultado esperado - lucro ou custo, respectivamente. De uma forma ampla, a aplicação deste modelo na análise de risco de um projeto, é útil para se determinar a quantia desejada com os melhores desempenhos técnico e econômico da empresa (LAPPONI, 2008; RAGSDALE, 2010).

2.2.1 Apresentação dos Projetos a Serem Comparados

Para determinação da viabilidade econômica e financeira, através do conhecimento do investimento inicial necessário, possibilitando as comparações entre dois projetos, tomar-se-á por base os principais equipamentos que compõem as usinas produtoras de biodiesel utilizando a rota de transesterificação de óleos e/ou gorduras vegetais e/ou animais, com auxílio da tecnologia utilizada pela Dedini Indústria de Base (VECCHIO, 2006). Para o referido autor, os principais equipamentos que compõem as refinarias de biodiesel são:

Pré-aquecedores;
Secadoras;
Reatores;
Compressores;
Tanques de decantação;
Tanques de armazenamento (pulmão);
Lavadoras;
Misturadores e dosadores de álcool.

Ainda segundo Vecchio (2006), os principais setores que compõem uma refinaria de biodiesel são:

- *neutralização* - refere-se aos equipamentos de preparação das matérias-primas e mistura catalítica;
- *reator de transesterificação* - refere-se onde deverá ocorrer a reação de transesterificação do éster de ácidos graxos;
- *laboratório* - para testes e ensaios obrigatórios e para coleta de dados e envio dos mesmos à ANP;
- *armazenagem e plataforma* referem-se às destilação e recuperação do álcool, lavagem, secagem e armazenamento do biodiesel e da glicerina;
- *utilidades* - referente às instalações que disponibilizam energia elétrica, vapor de água e água de resfriamento;
- *obras civis e segurança* - são as demais instalações e as instalações de emergência.

Para aplicação da metodologia de análise de investimentos proposta no presente trabalho são apresentados os dados econômicos de dois projetos para produção de biodiesel.

Projeto 1 - Utilização de Óleo Residual de Fritura como Insumo Básico

Os elementos descritos neste primeiro projeto levam em consideração uma capacidade produtiva de 100.000 toneladas de biodiesel por ano. Vecchio (2006) apresentou um estudo de investimento para se implantar uma usina com capacidade produtiva de 100.000 toneladas anuais de biodiesel (454,54 ton/dia), a qual necessita de um investimento inicial de R\$ 32.000.000, com horizonte de 10 anos de sua vida útil. Isso significa depreciá-la R\$ 3.200.000 por ano, ou R\$ 32,00 por tonelada ano de biodiesel, com uma taxa de mínima atratividade de 8,5%. Considerando-se a densidade do biodiesel de 0,8771 g/cm³, isso é equivalente a uma produção anual de 112,8 milhões de litros de biodiesel, conforme dados da Tabela 2.2.1.1 que passamos a designar de Projeto 1.

Tabela 2.2.1.1 – Investimento Inicial para o Projeto 1

SETOR	INVESTIMENTO (R\$)
Neutralização	2.500.000,00
Reator de Transesterificação + Laboratorio	19.000.000,00
Armazenagem + Plataforma	5.000.000,00
Utilidades	2.500.000,00
Obras Cíveis + Segurança	3.000.000,00
TOTAL	32.000.000,00

Fonte: Vecchio (2006)

A produção de 100.000 ton/ano é a capacidade mais utilizada pelas empresas brasileiras. Das 51 usinas autorizadas pela ANP até dezembro de 2007, treze delas tinham capacidade em torno desse valor (PORTELA, 2007). Somente a Brasil Ecodiesel, maior produtora brasileira de biodiesel pelo critério de capacidade autorizada pela ANP, possui seis usinas com essa capacidade de produção

localizadas em diversos estados brasileiros. O seguinte fluxo de caixa foi então estimado para a usina apresentada no projeto 1:

Tabela 2.2.1.2 – Fluxo de caixa do Projeto 1

PERÍODO	FLUXO DE CAIXA - R\$
0	- 32.000.000,00
1	12.000.000,00
2	8.000.000,00
3	10.000.000,00
4	12.000.000,00
5	6.000.000,00
6	12.000.000,00
7	15.000.000,00
8	12.000.000,00
9	12.000.000,00
10	5.000.000,00

Fonte: Autoria própria

O investimento que se encontra em processo de análise, é do tipo convencional. Rezende (2001) e Ragsdale (2010) conceituam que o projeto de investimento é convencional quando ocorre apenas uma mudança de sinal em seu fluxo de caixa, satisfazendo as seguintes condições:

$$\sum_{j=k+1}^n X_j > \sum_{j=0}^k X_j \quad (1)$$

$$C_0 < 0$$

$$X_j \leq 0, \text{ para } j = 1, \dots, k$$

$$X_j \geq 0, \text{ para } j = k+1, \dots, n$$

Em que:

C_0 - custo inicial

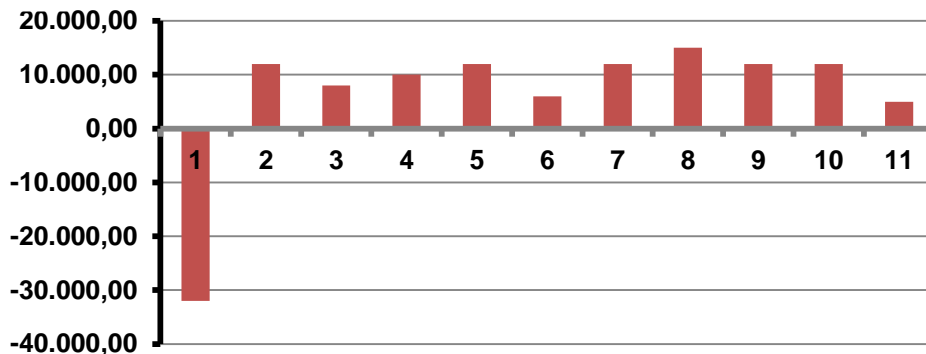
X_j - receitas líquidas

k - período de tempo a partir do qual as receitas líquidas passam a ser positivas

n - quantidade de período.

O gráfico da Figura 2.2.1.1 ilustra a referida situação.

Figura 2.2.1.1 – Fluxo de caixa convencional do Projeto 1



Fonte: Autoria própria

Portanto, aplicando a equação (2) nos dados da Tabela 2.2.1.2.:

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+k)^t} - FCo \quad (2)$$

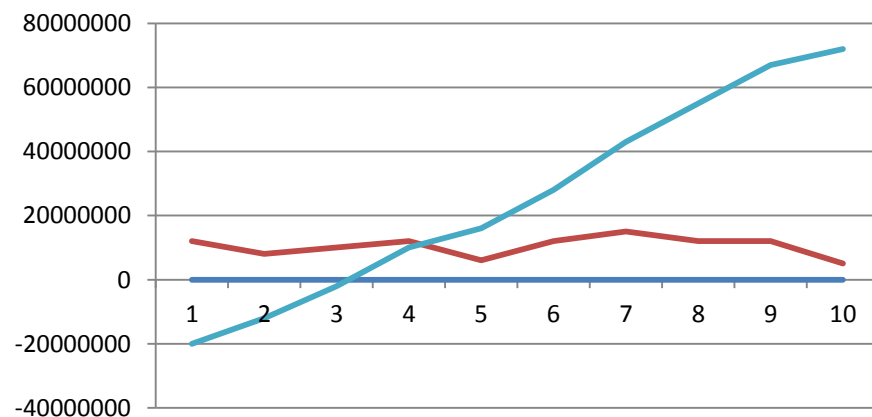
Temos o que segue:

$$\begin{aligned}
 VPL = \sum_{t=1}^{10} & \frac{12.000.000}{(1 + 0,085)} + \frac{8.000.000}{(1 + 0,085)^2} + \frac{10.000.000}{(1 + 0,085)^3} + \frac{6.000.000}{(1 + 0,085)^4} \\
 & + \frac{12.000.000}{(1 + 0,085)^5} + \frac{15.000.000}{(1 + 0,085)^6} + \frac{12.000.000}{(1 + 0,085)^7} + \frac{12.000.000}{(1 + 0,085)^8} \\
 & + \frac{5.000.000}{(1 + 0,085)^9} - 32.000.000 = 36.381,047,96
 \end{aligned}$$

$$VPL = R\$ 36.381.047,96$$

Considerando a taxa de descontos ou de juros que se descontam valores futuros, para torná-los comparáveis a valores presentes ou capitalizam-se os valores presentes, para torná-los comparáveis a valores futuros, corrigido a 8,50% ao ano, obtém-se um VPL positivo e igual a R\$ 36.381.047,96. Por esse resultado positivo o projeto é considerado viável em seu aspecto econômico. Particularmente com um retorno do investimento situado no terceiro ano, conforme apresenta o gráfico 2.2.1.2.

Figura 2.2.1.2 – Payback Descontado do Projeto 1



Fonte: Autoria própria

Projeto 2 - Utilização de Óleo de Mamona como Insumo Básico

Os dados do segundo projeto que foi utilizado na comparação, apresenta fluxos de caixa diferentes e tempo de vida útil idêntico ao Projeto 1. Contudo pode-se, para comparar as viabilidades dos mesmos, utilizar uma mesma taxa de mínima atratividade no cálculo do VPL.

Tabela 2.2.1.3 – Fluxo de caixa do Projeto 2

PERÍODO	FLUXO DE CAIXA - R\$
0	-142.783.430,20
1	35.638.390,00
2	124.422.960,00

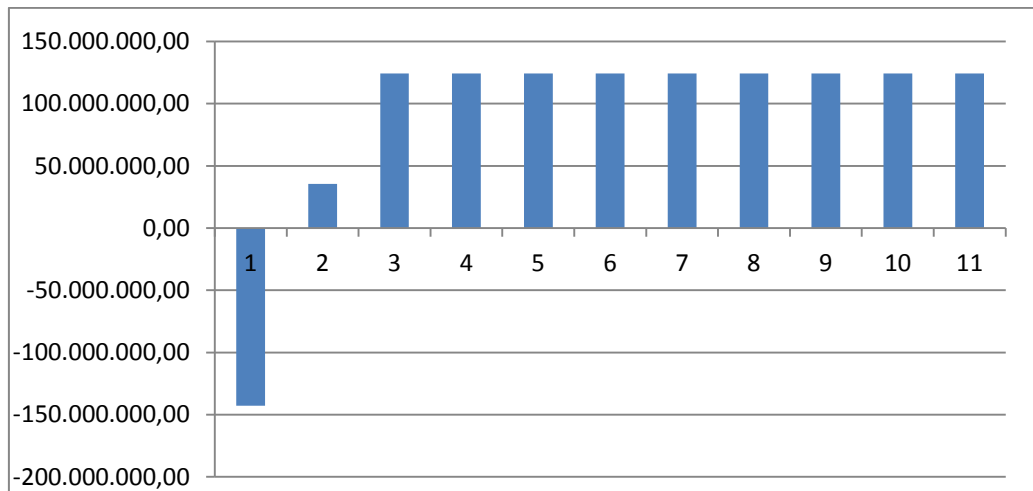
3	124.422.960,00
4	124.422.960,00
5	124.422.960,00
6	124.422.960,00
7	124.422.960,00
8	124.422.960,00
9	124.422.960,00
10	124.422.960,00

Fonte: Autoria própria

Também sistematizando o critério do VPL ou valor atual, consideremos o investimento inicial de R\$ 142.783.430,00, as entradas anuais previstas, usando a mesma taxa de atratividade de 8,50% ao ano.

O gráfico da Figura 2.2.1.3 ilustra o fluxo de caixa para o Projeto 2.

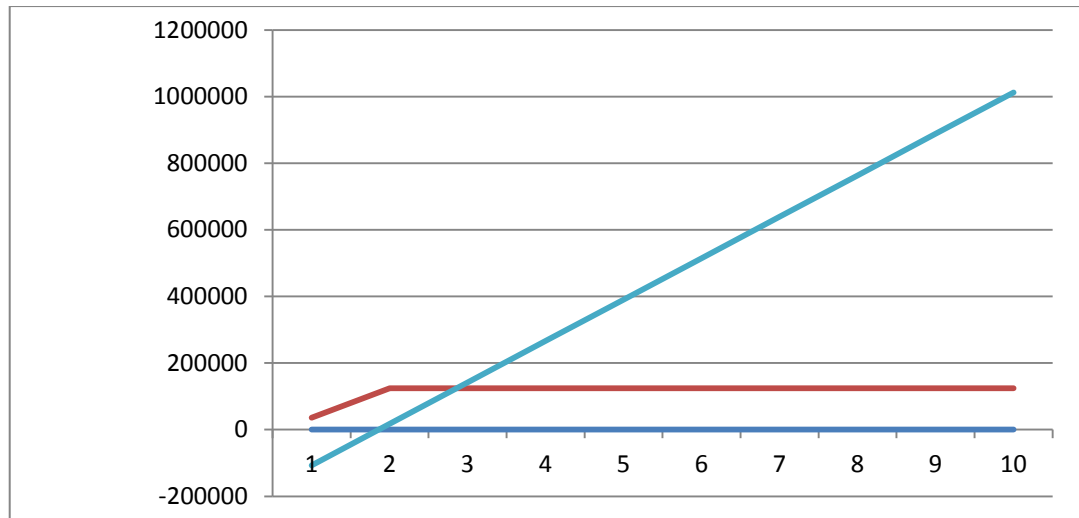
Figura 2.2.1.3 – Fluxo de caixa convencional do Projeto 2



Fonte: Autoria própria

Também sistematizando o critério do VPL, considerando o investimento inicial de R\$ 142.783.430,00, adotando-se as entradas anuais previstas e usando a mesma taxa de atratividade de 8,50% ao ano, obteve-se um VPL de R\$ 591.764.482,05. E o retorno do investimento no segundo ano do investimento, mostrado no gráfico abaixo.

Figura 2.2.1.4 – Payback Descontado do Projeto 2



Fonte: Autoria própria

A Tabela 2.2.1.4 apresenta um resumo dos dados das Tabelas 2.2.1.2 e 2.2.1.3. Dessa forma tem-se por resultado as Taxas Internas de Retorno de 30,20% e 62,54% para os projetos 1 e 2, respectivamente. Sendo, pois, ambas maiores que a taxa mínima de atratividade (8,50%), ficaram caracterizadas as aceitações dos dois projetos. Lembrando que, quando a TIR é igual ou maior ao custo de oportunidade do capital, ambos os projetos têm atratividades para execução.

As viabilidades econômicas dos dois projetos se verificam porque as receitas superam os custos necessários, com resultados de VPL positivos em ambos os casos. Entretanto, uma dificuldade se apresenta na análise e escolha de qual projeto deva ser adotado, independente de seu investimento inicial. Sabe-se que é muito improvável atribuir-se o mesmo valor da TMA a projetos com insumos diferenciados. Sabe-se também que na comparação entre dois investimentos, dever-se-ia envolver um item comum de avaliação, independente desse investimento inicial (RAGSDALE, 2010; HAIMES, 2011). Dessa forma, para facilitar a aplicação de um critério de julgamento, que não envolva um item detentor de tantos conhecimentos específicos na área de implantação dos projetos - esses conhecimentos podem ser adquiridos através de cursos preparatórios no pré-período de implantação.

Tabela 2.2.1.4 – Comparação entre projetos

PERÍODO	FLUXO DE CAIXA – R\$	
	PROJETO 1	PROJETO 2
0	- 32.000.000,00	-142.783.420,00
1	12.000.000,00	35.638.390,00
2	8.000.000,00	124.422.960,00
3	10.000.000,00	124.422.960,00
4	12.000.000,00	124.422.960,00
5	6.000.000,00	124.422.960,00
6	12.000.000,00	124.422.960,00
7	15.000.000,00	124.422.960,00
8	12.000.000,00	124.422.960,00
9	12.000.000,00	124.422.960,00
10	5.000.000,00	124.422.960,00
TMA	8,50 %	8,50 %
VPL	R\$ 36.381.047,96	R\$ 591.764.482,05
TIR	30,20 %	62,54 %
PAYBACK	3 anos	4 anos

Fonte: Autoria própria

2.2.2 Metodologia de Comparação Proposta

Para avaliação da viabilidade econômica de um processo produtivo, em condições otimizadas, o software computacional utilizado é a planilha eletrônica Excel da Microsoft (BLOCH, 2004), onde torna-se possível a definição de muitas variáveis de interesse de forma simultânea.

Cálculo do VPL na Planilha Excel

Benninga, Czaczkes (2000) e Gomes (2012), propõe a montagem de um modelo de otimização no Excel em três partes: Célula de destino (fórmula da função objetivo), Células variáveis e as Restrições. Este método facilitará a passagem dos

dados do modelo matemático convencional para uma planilha do Excel e posteriormente a manipulação dos mesmos pelo Solver.

Na planilha eletrônica Excel utiliza a função VPL para calcular o valor líquido atual de um investimento utilizando a taxa de desconto e uma série de futuros pagamentos (valores negativos) e receita (valores positivos). O primeiro passo é identificar o fluxo de caixa para o qual será calculado o VPL. O investimento inicial tem valor negativo, enquanto que os valores dos retornos geralmente apresentam valores positivos em investimentos convencionais (BENNINGA; CZACZKES (2000) e REZENDE, 2001).

A seguir identifica-se a Taxa de mínima Atratividade (TMA) que será a taxa utilizada para descapitalizar os valores até a data zero. Lembrando que a TMA é a expectativa de ganho do investidor e serve como referência para dizer se o projeto é ou não é viável. Para o cálculo do VPL digita-se a sintaxe: =vpl(TMA; FC1:FCN)+FC0. Após ter digitado a sintaxe anterior tecla-se "enter" e obtém-se o valor do VPL desejado. Vale lembrar que, caso o VPL seja positivo, isso significa dizer que se todas as entradas forem descapitalizadas para uma data zero, a uma taxa igual à TMA ao ano, elas cobrem o investimento inicial de FC0 e geram um adicional de valor igual ao valor do VPL, tornando assim o projeto viável.

Cálculo da TIR na Planilha Excel

A TIR significa a taxa interna do projeto e a TMA é a expectativa de ganho do investidor. Dessa forma, se a TIR for maior que a TMA o projeto será viável. Para o cálculo da TIR digita-se a sintaxe: =tir(FC0:FCN). Após ter digitado a sintaxe anterior tecla-se "enter" e obtém-se o valor desejado da TIR. Lembrar que todo o fluxo de caixa deverá ser selecionado, inclusive o de data zero e de que a TIR deverá ter valor maior que o da TMA para que o projeto seja viável.

A metodologia a ser empregada resume-se em calcular o VPL substituindo-se o valor da TMA pelo valor do VPL, isto é, uma forma de zerar este último sem preocupações iniciais com itens como custo de oportunidades, risco de negócios e liquidez. A seguinte sequência permite o cálculo comparativo do VPL, proposto neste trabalho:

- atribui-se como célula de destino da ferramenta Solver a célula em que se encontra o valor do VPL de um dos projetos;
- associa-se à ação anterior a indicação de um valor igual a zero;
- atribui-se às variáveis os valores das TMA's de ambos os projetos;
- atribui-se aos valores das TIR's dos projetos os valores de suas TMA's, uma vez que os VPL's zeram ao final dos cálculos;
- para fechar os cálculos nos dois projetos, atribui-se como restrição a igualdade entre seus VPL's;
- o critério de escolha é a comparação entre os valores das TIR's, o menor valor deve eleger o projeto economicamente mais viável.

2.3 Resultados e Discussão

A planilha Excel usa a função VPL para calcular o valor presente líquido de um investimento usando TMA e uma série de futuros pagamentos (valores negativos) e (valores positivos) de renda.

O primeiro passo é identificar o fluxo de caixa para a qual o VPL é calculado. O investimento inicial é um valor negativo, enquanto os valores de retorno geralmente têm valores positivos em convencionais investimentos (KYSAR, 2006). São os valores positivos, as entradas ou receitas estimadas do projeto.

A planilha eletrônica gerada pelos dados do programa submetida pelo à ferramenta Solver é apresentada na Figura 2.3.1. Nessa planilha de dados observa-se que os dados da Tabela 2.2.1.4 foram praticamente reproduzidos, com exceção das regras que serviram de roteiro para aplicação da metodologia de cálculo proposta utilizando o Solver.

Figura 2.3.1 - Planilha eletrônica com dados para a comparação dos projetos

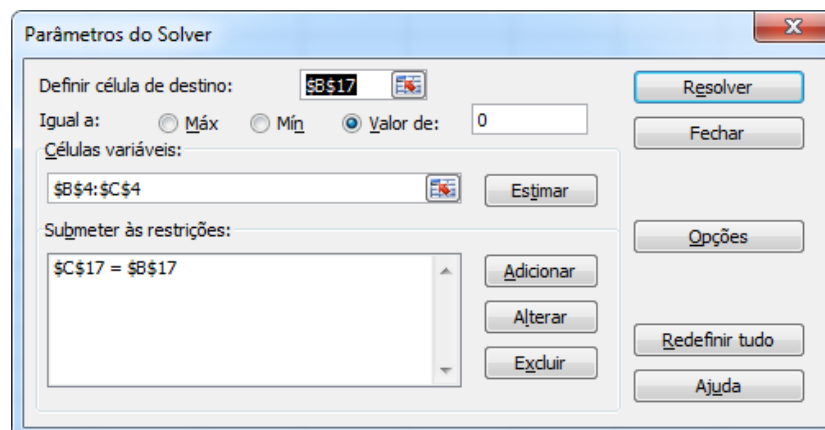
		A	B	C
1				
2	TAXA MINIMA DE ATRATIVIDADE (TMA):			
3		PROJETO 1	PROJETO 2	
4	TMA	8,50%	8,50%	
5	Ano			
6	0	- 32.000.000,00	- 142.783.420,00	
7	1	12.000.000,00	35.638.390,00	
8	2	8.000.000,00	124.422.960,00	
9	3	10.000.000,00	124.422.960,00	
10	4	12.000.000,00	124.422.960,00	
11	5	6.000.000,00	124.422.960,00	
12	6	12.000.000,00	124.422.960,00	
13	7	15.000.000,00	124.422.960,00	
14	8	12.000.000,00	124.422.960,00	
15	9	12.000.000,00	124.422.960,00	
16	10	5.000.000,00	124.422.960,00	
17				
18	VPL	36.381.047,96	591.769.830,24	
19	TIR	30,20%	62,54%	
20				

Fonte: Autoria própria

O investimento inicial necessário para instalação da usina do Projeto 1 é de R\$ 32 milhões e para o Projeto 2 é de R\$ 142 milhões, considerados o período de 10 anos, ambos, do ponto de vista financeiro, são investimentos recomendados considerando que apresentam valor presente positivo e maior que zero. Contudo, na otimização fornecida pelo Solver, tem-se a condição da melhor escolha.

A Figura 2.3.2 apresenta a janela responsável com a interação do usuário com a ferramenta Solver, indicando as posições das células de destino e atribuição de possíveis valores, de células variáveis, de restrições e de opções disponíveis.

Figura 2.3.2 - Janela de interação da ferramenta Solver com o usuário

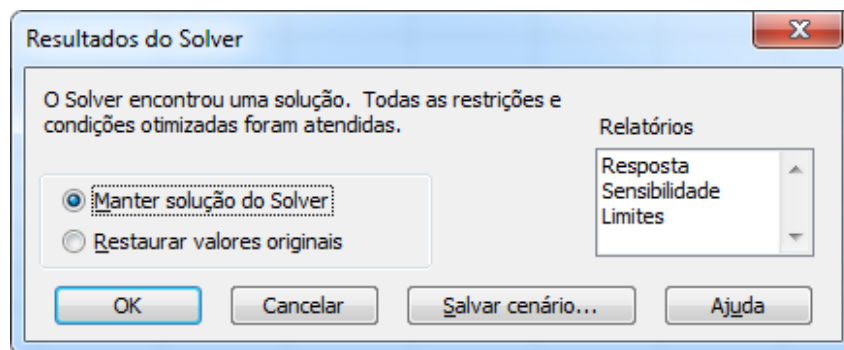


Fonte: Autoria própria

Depois de selecionar o botão de resolver os resultados solver aparece uma janela (Fig. 2.3.3), a opção padrão tem uma solução solver e clique sobre a resposta na seção Relatórios, no lado direito. Por fim, clique no botão OK para obter os resultados (Fig. 2.3.4).

A Figura 2.3.3 apresenta a janela sinalizada pelo Solver indicando ter encontrado a solução, atendendo todas as condições impostas pelo usuário.

Figura 2.3.3 - Janela indicativa de resultados obtidos pela ferramenta Solver



Fonte: Autoria própria

A Figura 2.3.4 apresenta a planilha com dados corrigidos pela aplicação da ferramenta Solver.

Figura 2.3.4 - Resultados obtidos com auxílio da ferramenta Solver

	A	B	C
1			
2	TAXA MINIMA DE ATRATIVIDADE (TMA):		
3		PROJETO 1	PROJETO 2
4	TMA	8,50%	8,50%
5	Ano		
6	0	- 32.000.000,00	- 142.783.420,00
7	1	12.000.000,00	35.638.390,00
8	2	8.000.000,00	124.422.960,00
9	3	10.000.000,00	124.422.960,00
10	4	12.000.000,00	124.422.960,00
11	5	6.000.000,00	124.422.960,00
12	6	12.000.000,00	124.422.960,00
13	7	15.000.000,00	124.422.960,00
14	8	12.000.000,00	124.422.960,00
15	9	12.000.000,00	124.422.960,00
16	10	5.000.000,00	124.422.960,00
17			
18	VPL	36.381.047,96	591.769.830,24
19	TIR	30,20%	62,54%
20			

Fonte: Autoria própria

2.4 Conclusões e Sugestões

A otimização de processos produtivos e, conseqüentemente, o desenvolvimento de metodologias de comparação entre os mesmos (análise de investimentos), indica ser uma ferramenta de trabalho de grande importância para os países em desenvolvimento. Como esse tipo de critério exige grande domínio de ferramentas matemáticas, as quais exigem na maioria das vezes cálculos iterativos complexos, a ferramenta Solver da planilha eletrônica Excel, ou ferramenta semelhante em qualquer *software* alternativo, apresenta-se como solução para investidores sem grande domínio em cálculos matemáticos.

A metodologia proposta neste trabalho mostrou que, além de permitir interação fácil com o usuário, a característica iterativa da ferramenta Solver facilitou a comparação entre investimentos envolvendo processos produtivos da cadeia de biodiesel. Além de envolver conceitos como VPL e TIR, o método de análise proposto envolve o conceito de payback sem a necessidade de se preocupar na obtenção de gráficos e de se ter uma análise prévia da taxa de mínima atratividade.

Fica a sugestão de se desenvolver uma metodologia para adaptar modelos de localização de investimento como o de Van Thünen (MULLIGAN, 1997), no modelo de equilíbrio parcial onde todas as decisões de uso da terra são baseados em dados externos que são os preços de mercado dos produtos, unindo economia e meio ambiente de forma eficiente.

2.5 Referências

BENNINGA, Simon autor, and Benjamin CZACZKES. *Financial modelling*. MIT press, 2000.

BLOCH, S.C. **Excel para Engenheiros e Cientistas**. 2. Ed, Rio de Janeiro: LTC, 2012.

FERREIRA, Roberto G. **Matemática financeira aplicada: mercado de capitais, administração financeira, engenharia econômica**. Recife: Edit. Universitaria UFPE, 2000.

GITMAN, Lawrence J. **Princípios de administração financeira**. 10^a. Ed. São Paulo: Addison Wesley, 2004.

GOMES, L.A. **Excel para Engenheiros**. 2. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

HAIMES, Yacov Y. *Risk modeling, assessment, and management*. John Wiley & Sons, 2011.

KYSAR, Rebecca M., The Sun Also Rises: The Political Economy of Sunset Provisions in the Tax Code. *Georgia Law Review*, Vol. 40, No. 2, March 2006. Available at SSRN: <http://ssrn.com/abstract=887388>

LAPPONI, J. C. **Projetos de investimento na empresa**. ed. Rio de Janeiro: Campus/Elsevier, 2008. 488 p.

LESTER, Albert. *Project management, planning and control: managing engineering, construction and manufacturing projects to PMI, APM and BSI standards*. Butterworth-Heinemann, 2006.

MULLIGAN, Gordon F. Some implications of behavior in agricultural markets. In: FISCHER, Manfred M. & GETIS, Arthur. **Recent developments in spatial analysis: spatial statistics, behavioral modeling and computational intelligence**. Berlin. Springer, 1997. 433 p.

PORTELA, Hugo Eduardo. **Avaliação técnico-econômica de um empreendimento produtivo de biodiesel**. 2007. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica.

RAGSDALE, Cliff. *Spreadsheet Modeling and Decision Analysis (Book Only)*. CengageBrain.com, 2010.

REZENDE, J.L.P. de; OLIVEIRA, A.D. de. **Análise econômica e social de projetos florestais**. 2.ed. Viçosa: UFV, 2001.

VECCHIO, Ernesto del. "Dedini: implantação de usinas de biodiesel: necessidades de investimento." *BNDES: seminário*. Disponível em: http://www.bndes.gov.br/conhecimento/publicacoes/catalogo/s_biodiesel.asp. Acesso em 05/05/2013, (2006).