UNIVERSIDADE FEDERAL DE RIO DE JANEIRO

POTENCIAIS DE GERAÇÃO DE CRÉDITOS DE CARBONO NA INDÚSTRIA DA PALMA

Cecília Martins Soares

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do titulo de Mestre em Ciências.

Orientação:
Donato A. G. Aranda, Ph.D.
Flávia Chaves Alves, D.Sc.

Rio de Janeiro, Brasil
Dezembro 2008

POTENCIAIS DE GERAÇÃO DE CRÉDITOS DE CARBONO NA INDÚSTRIA DA PALMA

CECÍLIA MARTINS SOARES

DISSERTAÇÃO APRESENTADA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA DE PROCESSOS QUÍMICOS E BIOQUÍMICOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS (M.Sc.).

PROF. DONATO A. G. ARANDA
PROFA. FLÁVIA CHAVES ALVES

ESCOLA DE QUÍMICA

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

DEZEMBRO 2008

POTENCIAIS DE GERAÇÃO DE CRÉDITOS DE CARBONO NA INDÚSTRIA DA PALMA

Cecília Martins Soares

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências.

Aprovada por:

_____

Prof. Donato A. G. Aranda, Ph.D. (Orientador)

_____

Profa. Flávia Chaves Alves, D.Sc. (Orientadora)

_____

Prof. José Vitor Bomtempo Martins, D. Sc.

_____

Profa. Aline Sarmento Procópio, D. Sc.

_____

Prof. João Francisco Cajaíba da Silva, D. Sc.

Rio de Janeiro

2008

FICHA CATALOGRÁFICA

Soares, Cecília Martins

Potenciais de Geração de Créditos de Carbono na Indústria da Palma – Rio de Janeiro: EQ/UFRJ, 2008.

xvii, 105, 29,7 cm.

Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Escola de Química - EQ, 2008.

Orientadores: Donato A.G. Aranda e Flávia C. Alves.

1. Créditos de Carbono. 2. Biodiesel. 3. MDL. 4. Palma

I. Aranda, Donato A.G. II. Alves, Flávia C. III. Potenciais de Geração de Créditos de Carbono na Indústria da Palma

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, pelas incontáveis contribuições ao longo da minha vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus.

Ao meu orientador Donato, pela ajuda técnica, por suas histórias enriquecedoras, e por conseguir me descontrair nos momentos mais tensos. À Flávia, também pela ajuda técnica, e principalmente pela atenção que me foi dada na orientação desta tese.

Aos meus pais Paulo e Maria Helena, por minha educação, pela formação dos meus valores, e pelos principais ensinamentos de vida. Também por serem os meus maiores incentivadores na realização deste desafio.

Ao meu namorado Felipe, por me incentivar com muito amor, carinho, paciência e atenção durante este trabalho.

A toda a minha família, em especial minha avó Adelina, por me apoiar e torcer por mim sempre. À minha avó Nilda, pelas boas lembranças.

Aos meus amigos mais próximos, como Paula, Gabriela, Laura, Fernanda, Cristina, Diana, Rodrigo e Carlos Eduardo, por serem responsáveis por muitos momentos inesquecíveis e divertidíssimos. Também aos meus queridos amigos engenheiros químicos, companheiros de muitas histórias, que certamente estão muito felizes por mim neste momento. Amizade eterna!

Às ajudas profissionais que recebi da Anamelia Medeiros, da EcoSecurities, Homero Souza, da Agropalma, e Michele Cotta, da Unicamp.

A todos da Usinaverde, pela oportunidade maravilhosa de trabalhar em uma empresa em que acredito e pelo aprendizado diário.

À Capes pelo auxílio financeiro recebido.

RESUMO

SOARES, Cecília Martins – Potenciais de Geração de Créditos de Carbono na Indústria da Palma. Orientadores: Donato A.G. Aranda (Rio de Janeiro: UFRJ/ EQ, 2008) e Flávia Chaves Alves (Rio de Janeiro: UFRJ/ EQ, 2008). Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos).

Este estudo busca analisar oportunidades ambientalmente e economicamente interessantes existentes na indústria da palma. Os créditos de carbono são as ferramentas utilizadas para a contabilização dos benefícios gerados a três projetos sugeridos desta indústria. Os três projetos se baseiam na ocupação de uma mesma área, de 50 mil hectares, equivalente a cerca de 1% da área desmatada da Amazônia apta ao cultivo do dendê. O primeiro projeto visa a substituição de óleo diesel por biodiesel produzido a partir da borra ácida da palma. O segundo projeto visa substituir o diesel por biodiesel originado dos efluentes líquidos da palma. O terceiro projeto é baseado no reflorestamento da oleaginosa. Para os dois primeiros projetos, foi necessário fazer uma avaliação do ciclo de vida dos produtos de substituição ao óleo diesel, para possibilitar uma comparação mais eficiente em relação às emissões dos combustíveis. Os dois primeiros projetos resultaram, respectivamente, em uma geração de aproximadamente R$ 9,69 milhões e R$ 6,21 milhões com os créditos de carbono em 10 anos. O projeto de reflorestamento de dendê, por sua vez, conseguiu obter um valor de R$ 123 milhões em 25 anos com a mesma ferramenta. Estes valores são considerados satisfatórios, não só por pela expressividade econômica, como também pelo equivalente benefício ambiental gerado.

ABSTRACT

SOARES, Cecília Martins – Potentials of Generation of Carbon Credits in Palm Industry. Thesis Supervisors: Donato A.G. Aranda (Rio de Janeiro: UFRJ/ EQ, 2008) e Flávia Chaves Alves (Rio de Janeiro: UFRJ/ EQ, 2008). Dissertation (Graduate Program on Technology of Chemical and Biochemical Processes).

This study has the purpose of analyzing profitable environmental and economical opportunities existing in palm industry. The carbon credits are the tools used for the accounting of the generated benefits to the three suggested project of this industry. The three projects are based on the same area of occupation, of 50 thousand hectares, equivalent about 1% of the deforested area of the Amazônia apt to the palm culture. The first project aims at the oil diesel substitution for biodiesel produced from palm oil fatty acids. The second project aims to substitute diesel for biodiesel originated of the palm oil mill effluent. The third project is based on the reforestation of the oil seed. For the two first projects, it was necessary to make a life cycle assessment of the products that substitute the oil diesel, to make a more efficient comparison possible in relation to the emissions of the fuels. The two first projects had resulted, respectively, in a generation of approximately R$ 9,69 million and R$ 6.21 million with the carbon credits in 10 years. The project of palm reforestation, in turn, could obtain a value of R$ 123 million in 25 years with the same tool. These values are considered satisfactory, not only for the economic expression, as well as for the equivalent environmental benefit generated.

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACV – Avaliação do Ciclo de Vida

ANP – Agência Nacional do Petróleo

BEN – Balanço Energético Nacional

BM&F – Bolsa de Mercadorias e Futuros

CCX – *Chicago Climate Exchange*

CETEA – Centro de Tecnologia de Embalagens

CIMGC - Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento

CP – Conferência das Partes

CPO – *Crude Palm Oil* (Óleo de Palma Bruto)

EIA – *International Energy Data and Analysis*

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

FAO – *Food and Agriculture Organization of the United Nations*

FAS - *Foreign Agricultural Service*

FFA – *Free Fatty Acids* (Ácidos Graxos Livres)

GEE – Gases do Efeito Estufa

GEC – Fundação do Centro Global para o Meio Ambiente

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*

ISO – *International Organization for Standardization*

ITAL – Instituto de Tecnologia de Alimentos

MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia

MDA – Ministério do Desenvolvimento Agrário

MDIC – Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior

MMA – Ministério do Meio Ambiente

MME – Ministério de Minas e Energia

MPOC – *Malaysian Palm Oil Council*

MRE – Ministério das Relações Exteriores

MWh – Mega-Watt hora

OPEP - Organização dos Países Exportadores de Petróleo

POME – *Palm Oil Mill Effluent*

PREGA – *Promotion of Renewable Energy, Energy Efficiency and Greenhouse Gas Abatement*

UNFCCC– *United Nations Framework Convention on Climate Change*

USDA – *United States Department of Agriculture*

Tep – toneladas equivalentes de petróleo

TWh – Tera-Watt hora

WTI – *West Texas Intermediate*

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Preços médios anuais no mercado *spot* dos petróleos dos tipos *Brent* e *West Texas Intermediate* (WTI) - 1987-2007 7
Figura 2.2 - Preços médios mensais no mercado *spot* dos petróleos dos tipos *Brent* e *West Texas Intermediate* (WTI) – 2007/2008 8
Figura 2.3 - Oferta Interna de Energia: Participação das Fontes no Brasil (2006) e no Mundo (2005) 9
Figura 2.4 – Distribuição dos setores nas emissões de GEEs antropogênicos em 2004 (em CO_2eq) 14
Figura 2.5 – Ciclo de um Projeto de MDL 19
Figura 2.6 – Taxa de Desmatamento Anual na Amazônia Legal (km^2 / ano), no período de 1988 a 2006 23
Figura 2.7 – Resultados dos leilões públicos de biodiesel 32
Figura 2.8 – Evolução da Estrutura do Consumo no Setor de Transportes (em %) 34
Figura 2.9 – Importação Brasileira de Óleo Diesel de 2000 a 2007 35
Figura 3.1 – Foto de uma plantação de palma 43
Figura 3.2 – Foto de um cacho de frutos frescos de palma 44
Figura 3.3 – Foto de um fruto de palma cortado 45
Figura 3.4 – Etapas operacionais do processo de produção de biodiesel por transesterificação alcalina 50
Figura 3.5 – Etapas Operacionais do Processo de Produção de Biodiesel por Hidroesterificação 52
Figura 4.1 – Esquema das etapas da cadeia produtiva do biodiesel metílico produzido a partir da borra ácida da palma 61
Figura 4.2 – Contribuição por GEE em cada etapa da cadeia produtiva do biodiesel de palma 68
Figura 4.3 – Composição das emissões de GEE do biodiesel de palma produzido a partir da borra ácida por etapas da cadeia produtiva 70
Figura 4.4 – Esquema das etapas da cadeia produtiva do biodiesel metílico produzido a partir do POME 72

Figura 4.5 - Composição das emissões de GEE do biodiesel de palma produzido a partir do POME por etapa da cadeia produtiva.....76
Figura 5.1 – Fórmula da redução de emissões de GEEs para projetos de MDL 80

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Distribuição da Oferta Interna de Energia do Brasil (%) 10
Tabela 2.2 - Emissões de CO_2 pelo consumo e queima de combustíveis fósseis por ano (milhões de toneladas métricas de C equivalente) 13
Tabela 2.3 – Metas Estabelecidas para o Protocolo de Quioto 16
Tabela 2.4 – Potenciais de Aquecimento Globais (GWP) 17
Tabela 2.5 – Os Projetos de MDL no Brasil 24
Tabela 2.6 – Regime tributário do biodiesel no Brasil 30
Tabela 2.7 – Resultados dos leilões públicos de biodiesel 32
Tabela 2.8 – Distribuição do consumo do óleo diesel no Brasil (m^3) 33
Tabela 2.9 - Principais Cadeias de Ácidos Graxos 36
Tabela 2.10 – Características de culturas oleaginosas no Brasil 36
Tabela 2.11 – Potencialidades de Oleaginosas Brasileiras por Região 37
Tabela 2.12 – Produção de óleo de palma no mundo 39
Tabela 2.13 – Vantagens e Desvantagens do Uso do Óleo de Palma em Relação às Outras Oleaginosas 40
Tabela 3.1 – Produtos da extração dos CFF 45
Tabela 3.2 – Comparação das rotas metílica e etílica 48
Tabela 3.3 – Catálise básica X catálise ácida na obtenção de biodiesel por transesterificação 49
Tabela 4.1 – Composição média dos ácidos graxos do óleo de palma 54
Tabela 4.2 – Massas molares consideradas para os rendimentos (g / mol) 54
Tabela 4.3 – Normas da família ISO 14040 – Avaliação do Ciclo de Vida 55
Tabela 4.4 – Relações utilizadas e a determinação das quantidades geradas de produtos 59
Tabela 4.5 – Dados utilizados para as emissões das matérias-primas 63
Tabela 4.6 – Distâncias estimadas de Camaçari - BA ate as cidades paraenses 63
Tabela 4.7 – Dados estimados e calculados para o transporte de metanol por ano 64
Tabela 4.8 – Dados utilizados para as emissões da energia elétrica 65
Tabela 4.9 - Dados utilizados para as emissões dos efluentes líquidos da palma 66

Tabela 4.10 – Quantidades utilizadas para a construção do inventário de emissões de GEE do biodiesel produzido a partir da borra ácida de palma por ano 66
Tabela 4.11 – Inventário das emissões atmosféricas de GEEs do biodiesel produzido a partir da borra ácida de palma por etapas da cadeia produtiva (kg / ano) 67
Tabela 4.12 – Total de emissões de GEEs de 16.500 toneladas de biodiesel produzido a partir da borra ácida de palma 69
Tabela 4.13 – Dados operacionais para a produção de biodiesel a partir do POME 73
Tabela 4.14 – Quantidades utilizadas para a construção do inventário de emissões de GEE do biodiesel produzido a partir do POME por ano 73
Tabela 4.15 – Inventário das emissões atmosféricas de GEEs do biodiesel produzido a partir do POME por etapas da cadeia produtiva (kg / ano) 74
Tabela 4.16 – Total de emissões de GEEs de 8517,98 toneladas de biodiesel produzido a partir do POME (ton de CO_2eq / ano) 75
Tabela 4.17 – Resultados da avaliação do ciclo de vida dos produtos objetivados nos Projetos 1 e 2 77
Tabela 5.1 - Principais diferenças entre as emissões contabilizadas do Projeto 1 e o projeto da metodologia AM0047 84
Tabela 5.2 – Emissões de GEE do óleo diesel 84
Tabela 5.3 – Resultados da adicionalidade do Projeto 1 por ano 85
Tabela 5.4 - Principais diferenças entre as emissões do Projeto 2 e o projeto da metodologia AM0047 86
Tabela 5.5 – Resultados da adicionalidade do Projeto 2 por ano 86
Tabela 5.6 – Quantidade de carbono seqüestrado e do equivalente em CO_2 de acordo com a idade da palmeira de dendê 89
Tabela 5.7 – Inventário de emissões para o subsistema agrícola da palma por ano 89
Tabela 5.8 – Estimativas de reduções de emissões de GEE para o Projeto 3 para o período de creditação de 25 anos 90
Tabela 5.9 – Resultados da adicionalidade dos Projetos 1 e 2 91

Tabela 5.10 – Receitas estimadas advindas dos créditos de carbono para os 3 projetos 92

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....5
2.1. A Matriz Energética Mundial e Brasileira.....5
2.1.1. A Influência do Petróleo.....5
2.1.2. A Matriz Energética Mundial e Brasileira.....9
2.2. O Quadro Ambiental.....12
2.2.1. O Tratado de Quioto.....15
2.2.2. Os Mecanismos do Tratado de Quioto.....17
2.2.3. O Mercado Voluntário de Carbono.....22
2.2.4. O Panorama Brasileiro nas Questões Ambientais.....23
2.3. Os Biocombustíveis.....25
2.3.1. Biodiesel.....26
2.3.2. O Desenvolvimento do Biodiesel no Brasil.....28
2.3.3. O Mercado Potencial do Biodiesel.....33
2.3.4. Culturas Para a Produção de Biodiesel.....35
2.4. A Cultura da Palma.....37
3 DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS DE PRODUÇÃO.....42
3.1. Etapas da Cadeia Produtiva da Cultura da Palma.....42
3.1.1. A Plantação.....42
3.1.2. Colheita e Transporte de Frutos.....43
3.1.3. Extração.....44
3.1.4. Refino.....47
3.2. Tecnologias de Produção de Biodiesel.....48
3.2.1. Transesterificação.....48
3.2.2. Esterificação.....51
3.2.3. Hidroesterificação.....51
4 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA.....53
4.1. Introdução à Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).....55
4.2. Metodologia Utilizada para a ACV do Biodiesel Metílico Produzido a partir da Borra Ácida da Palma.....56

4.2.1. Produção das Matérias-Primas.....62
4.2.2. Transporte das Matérias-Primas.....63
4.2.3. Produção do Biodiesel.....64
4.2.4. Efluentes Líquidos (POME).....65
4.3. Resultados da ACV do Biodiesel Metílico Produzido a partir da Borra Ácida da Palma.....66
4.4. Resultados da ACV do Biodiesel Produzido a partir do POME.....71
4.5. Comparação entre os Produtos Analisados.....76
5 POTENCIAIS DE GERAÇÃO DE CRÉDITOS DE CARBONO.....78
5.1. Metodologias de Reduções de Emissões de GEE.....78
5.2. Projeto 1: A Substituição do Óleo Diesel pelo Biodiesel Produzido a Partir da Borra Ácida da Palma.....83
5.3. Projeto 2: A Substituição do Óleo Diesel pelo Biodiesel Produzido a Partir dos Efluentes Líquidos da Palma.....85
5.4. Projeto 3: O Reflorestamento de Palma.....87
5.5. Comparação entre os Projetos Analisados.....91
6 CONCLUSÃO.....93
6.1. Considerações Finais.....93
6.2. Recomendações para Trabalhos Futuros.....96
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....98

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

A energia desempenha um papel de extrema importância no cenário mundial. São cada vez maiores os esforços para a evolução deste setor, já que ele está diretamente relacionado ao desenvolvimento econômico de um país.

Atualmente, a energia global conta com grande participação de combustíveis de origem fóssil. Porém, muitos são os motivos para uma mudança de paradigma em relação à produção de energia no Brasil e no mundo. Pode-se citar o possível esgotamento das reservas de petróleo e gás natural e a grande valorização dos preços dos barris de petróleo, que recentemente atingiram a marca histórica de US$ 100,00[1].

A grande dependência energética mundial em relação às fontes fósseis, em especial o petróleo, confere a essa *commodity* problemas políticos como ameaças de guerras e desestruturação dos mercados financeiros.

O Protocolo de Quioto e todos os esforços de preservação ambiental também estimulam um aumento da produção de energia renovável frente à de origem fóssil. Os combustíveis fósseis são os grandes responsáveis pelas alterações do clima, já que contribuem com cerca de 80% das emissões dos gases de efeito estufa (GEE).

Diante deste contexto, destaca-se uma importante ferramenta que tem impulsionado esta mudança energética global: os créditos de carbono. De uma maneira geral, pode-se dizer que os créditos de carbono conferem aos redutores de GEE uma receita adicional em seus projetos. Com esta

[1] Ao final do ano de 2008, entretanto, houve uma queda acentuada nos preços do petróleo, devido a crise econômica mundial.

ferramenta, os combustíveis renováveis, por serem potencialmente menos poluidores que os combustíveis fósseis, recebem um incentivo a mais ao desenvolvimento.

No Brasil, as fontes energéticas, se comparadas às mundiais, contam com uma expressiva contribuição de oferta da biomassa, devido principalmente à larga produção de etanol a partir da cana-de-açúcar. A atratividade da biomassa como fonte energética está no fato de ser renovável, de estar bem distribuída na superfície terrestre, e de poder ser explorada com tecnologias ambientalmente corretas. (SINGH, 2003)

A biomassa para fins energéticos pode ser utilizada para produção de biocombustíveis, tais como o biodiesel e o etanol. Os biocombustíveis representam uma série de oportunidades para o país, como novos investimentos em infra-estrutura produtiva, gerando empregos e renda. Além disso, são 100% verde-amarelos, já que são produzidos a partir de insumos abundantes no território brasileiro.

A obrigatoriedade do biodiesel na matriz energética brasileira, iniciada em 2008, acarretou uma corrida para suprir a crescente demanda prevista. Atualmente, mais de 90% da produção brasileira de biodiesel está baseada nas matérias-primas soja e sebo bovino, devido à grande oferta das commodities. Entretanto, o Brasil conta com outras oleaginosas promissoras para a produção de biodiesel, com destaque para a palma ou dendê.

O principal produto do dendezeiro é o óleo extraído industrialmente da polpa do fruto - óleo de palma internacionalmente conhecido como *palm oil* - cuja demanda vem crescendo de forma acelerada e consistente há quase dez anos. As características especiais desse produto conferem-lhe grande versatilidade, o que possibilita sua aceitação por indústrias mundiais diversas.

O óleo de palma é atualmente a oleaginosa vegetal mais produzida no mundo com mais de 40 milhões de toneladas ao ano, e a de maior rendimento médio, com pelo menos 5 toneladas de óleo por hectare ao ano.

A palma foi escolhida a matéria-prima deste trabalho pelo seu alto rendimento dentre as oleaginosas, e principalmente pela oportunidade de expansão de seu cultivo, já que o país não possui produção expressiva. Acredita-se também que é possível agregar mais valor à sua cadeia produtiva, contribuindo para o desenvolvimento econômico e social sustentável do país.

O presente estudo tem como objetivo a valorização da biomassa obtida com a cultura do dendê. Será possível obter ganhos reais ambientais com a exploração desta cultura? Como estes ganhos poderiam se converter em benefícios econômicos para possíveis investidores? Para tentar responder tais questões, será estimada a contribuição dos créditos de carbono a três projetos sugeridos à industria da palma, são eles:

- Projeto 1: A substituição de óleo diesel pelo biodiesel de palma, produzido a partir da borra ácida da palma;
- Projeto 2: A substituição de óleo diesel pelo biodiesel de palma, produzido a partir dos efluentes líquidos da palma;
- Projeto 3: O Reflorestamento de Palma.

Os três projetos têm como base a utilização de uma mesma área de 50 mil hectares para a realização das atividades propostas. Esta área não foi delimitada geograficamente, mas, segundo o MAPA (2006), corresponde a aproximadamente 1% das áreas desmatadas da região Norte aptas ao cultivo da palma.

O presente trabalho está organizado da seguinte forma: O capítulo 2 tem por objetivo fazer uma revisão bibliográfica sobre os assuntos relacionados ao objetivo do trabalho, tais como a matriz energética mundial e brasileira, o

quadro ambiental atual, os biocombustíveis e a cultura da palma. O capítulo 3 aborda descrições técnicas sobre os processos de produção e refino do óleo de palma e as tecnologias de produção de biodiesel.

No capítulo 4, será feita uma avaliação do ciclo de vida dos produtos que substituirão o óleo diesel nos Projetos 1 e 2. Estes produtos são, respectivamente, o biodiesel metílico de palma produzido a partir da borra ácida de palma e o produzido a partir dos efluentes líquidos da palma.

O capítulo 5 apresenta as considerações e os resultados dos potenciais de geração de créditos de carbono dos três projetos propostos. Este capítulo utilizará os resultados obtidos no capítulo 4 para os dois primeiros projetos. Os resultados do Projeto 3, no entanto, são independentes do capítulo anterior.

O capítulo 6 busca reunir as principais conclusões sobre os resultados mais importantes deste trabalho, bem como apresentar propostas para a continuação do mesmo.

Capítulo 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente capítulo tem por objetivo contextualizar os temas relacionados ao propósito central deste estudo, por meio de uma revisão bibliográfica.

Inicialmente, discorre-se sobre a matriz energética mundial e brasileira, bem como a influência do petróleo no âmbito energético global. O segundo tópico informa sobre o quadro ambiental atual; o Protocolo de Quioto, marco mais importante sobre a questão das mudanças climáticas, e seus mecanismos de flexibilização. Também apresenta uma breve descrição sobre o mercado voluntário de carbono e um panorama brasileiro nas questões ambientais.

O terceiro tópico aborda os biocombustíveis, analisando especificamente o biodiesel e seu desenvolvimento no Brasil. O item atenta ainda para o mercado potencial do biodiesel e para as culturas para produção deste combustível.

Por fim, o capítulo descreve a cultura da palma ou dendeicultura, que é o objeto principal deste estudo.

2.1. A Matriz Energética Mundial e Brasileira

2.1.1. A Influência do Petróleo

Nos séculos XVII, XVIII e XIX toda a energia do mundo vinha da combustão da madeira. Após a madeira, veio o carvão e, em seguida, a onda do petróleo. Atualmente, é observada uma grande utilização do gás natural como combustível, principalmente na indústria petroquímica. Sabe-se,

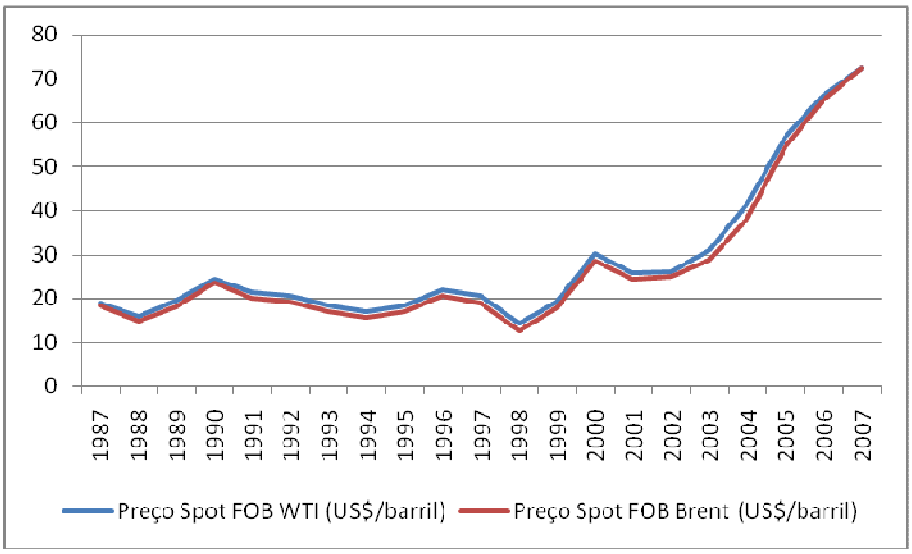
entretanto, que há uma tendência de substituição dessas fontes fósseis de energia para as renováveis, tais como os biocombustíveis.

Nota-se que cada onda energética tem menos carbono e mais hidrogênio. A lenha tem muito carbono. A hulha e o carvão mineral têm muito carbono. O petróleo tem menos, o gás, mais leve, tem ainda menos. Há cada vez menos carbono e mais hidrogênio. Existe uma tendência de descarbonização da energia, ou uma hidrogenação da energia, até que se chegue totalmente ao hidrogênio, que é o elemento mais abundante do universo (99% da matéria do universo é hidrogênio). (SOUZA et. al, 2007)

A rapidez dessa descarbonização da energia depende de uma questão econômica. Quanto mais alto for o preço do petróleo, mais alternativas de fontes energéticas serão desenvolvidas. Se os custos do petróleo e da energia forem baixos, haverá menos fontes alternativas de energia. Isto se chama, em termos econômicos, *Energy Return for Energy Investment* – ERFEI (Retorno de Energia para o Investimento de Energia). (SOUZA et. al, 2007)

A Figura 2.1 mostra a ascensão dos preços de duas das principais referências em relação aos preços de petróleos cotados mundialmente, o *Brent*, negociado em Londres, e o *WTI*, negociado em Nova York, no período de 1987 a 2007.

Figura 2.1 - Preços médios anuais no mercado *spot* dos petróleos dos tipos *Brent* e *West Texas Intermediate* (WTI) - 1987-2007



Fonte: EIA, 2008.

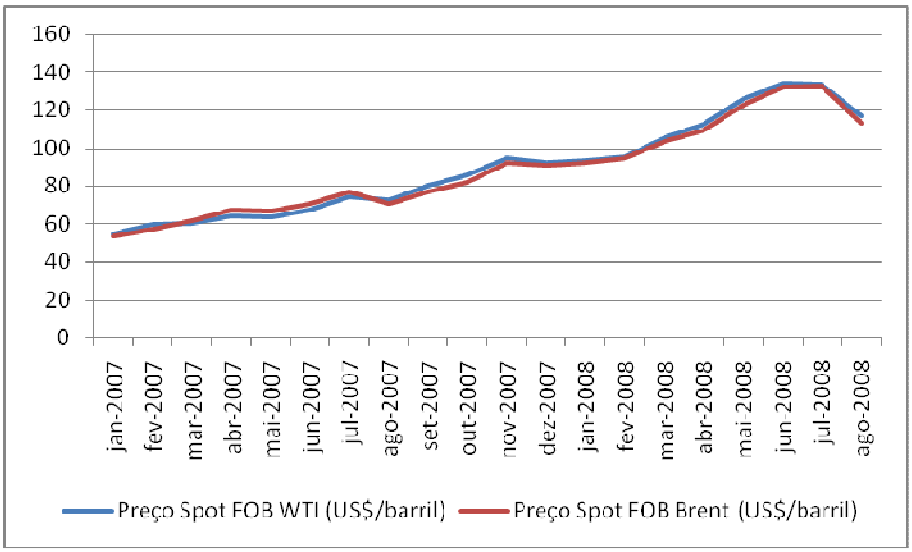
A valorização, para o período mencionado, do *Brent* foi de 290% e do *WTI* foi de 277%.

Os principais motivos apontados para essas recentes grandes altas nos preços do petróleo são as crescentes demandas observadas principalmente em emergentes como China e Índia, além da forte demanda dos EUA, maiores consumidores mundiais da matéria-prima. Entretanto, há ainda outros motivos influentes, tais como: tensões políticas; temores de escassez; e possíveis manobras especulativas para as transações da *commodity*.

Cabe ressaltar que, em 2007, o preço para essas duas referências beirou por várias vezes a marca histórica dos US$ 100 / barril, o que corresponderia a uma valorização média de 50% em relação ao ano anterior. O valor, entretanto, só foi obtido em fevereiro de 2008.

A Figura 2.2 oferece dados mais atuais para as cotações dos preços dos principais tipos de barris de petróleo[2].

Figura 2.2 - Preços médios mensais no mercado *spot* dos petróleos dos tipos *Brent* e *West Texas Intermediate* (WTI) – 2007/2008



Fonte: EIA, 2008.

Para o médio prazo, consideram-se duas variáveis que tenderão a colocar os preços do petróleo em níveis mais altos do que os das suas trajetórias normais: os aspectos geopolíticos e a capacidade de financiamento dos investimentos por parte dos países membros da OPEP (Organização dos Países Exportadores de Petróleo). Esta consideração é apoiada nos fatos de: a OPEP possuir cerca de 80% das reservas provadas de petróleo, com tendência de aumento da dependência mundial em relação às exportações da OPEP; e dos investimentos na expansão da produção de petróleo dependerem cada vez mais de empresas estatais, principalmente de países da OPEP. (PINTO et. al, 2006)

Diante deste cenário de alta dos preços do petróleo, da necessidade de garantia de abastecimento energético, e das pressões ambientais, mais

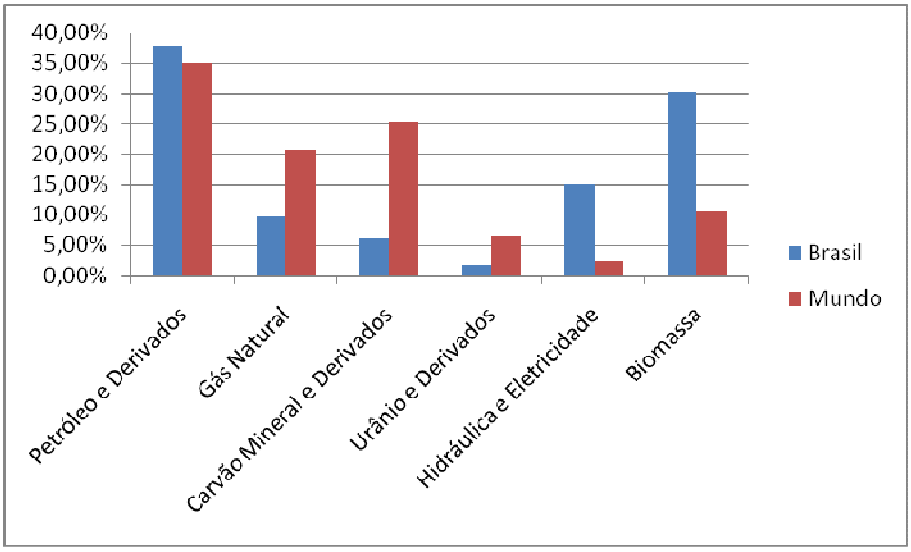
[2] Estes dados não consideram a queda acentuada sofrida nos preços dos barris de petróleo no final do ano de 2008, reflexo da crise econômica mundial.

evidenciadas pelo aquecimento global, as fontes renováveis de energia, como os biocombustíveis, têm uma maior oportunidade de inserção na matriz energética mundial. É importante mencionar que a inclusão social também tem sido cada vez mais apontada como tópico de motivação para a utilização dos biocombustíveis, pelo fato desses combustíveis utilizarem mão-de-obra intensiva de baixa especialização e de áreas rurais.

2.1.2. A Matriz Energética Mundial e Brasileira

A matriz energética mundial é composta em sua grande maioria pelos combustíveis fósseis, que contribuem com cerca de 80% do fornecimento total de energia primária do mundo, conforme mostrado na Figura 2.3.

Figura 2.3 - Oferta Interna de Energia: Participação das Fontes no Brasil (2006) e no Mundo (2005)



Fonte: BEN, 2007.

O petróleo, principal insumo energético mundial, é concentrado em dez países principais, que detém 85% das reservas totais. O gás natural, combustível fóssil mais leve e menos poluente, tem 58% de suas reservas em apenas três países: Rússia, Catar e Irã. Enquanto que o carvão, o mais poluente dos fósseis e responsável por 25% do consumo mundial de energia,

possui reservas mundiais quase 3,5 vezes maiores que as do petróleo e de gás natural e concentra dois terços delas na Rússia, Estados Unidos, China e Índia. (CNI, 2007)

O Brasil, por possuir sua matriz energética bem diversificada e com grande participação de fontes renováveis de energia, consegue minimizar os efeitos das altas dos preços do petróleo e da dependência dos fósseis em geral. O país conta com uma participação de 45% de energia renovável em sua matriz, enquanto a média mundial é de apenas 14%.

Tabela 2.1 – Distribuição da Oferta Interna de Energia do Brasil (%)

Fonte	2003	2004	2005	2006	Δ (06-05)
Petróleo e Derivados	40,1	39,1	38,7	39,4	1,8%
Gás Natural	7,7	8,9	9,4	9,6	2,3%
Carvão Mineral	6,7	6,7	6,3	5,5	-11,6%
Urânio	1,8	1,5	1,2	1,6	39,1%
Hidráulica e Eletricidade	14,6	14,4	14,8	14,8	0,2%
Lenha e Carvão Vegetal	12,9	13,2	13,0	12,6	-2,9%
Produtos da Cana	14,0	13,5	13,8	14,6	5,9%
Outras Fontes Primárias	2,8	2,7	2,9	1,8	-38,3%

Fonte**:** BEN, 2007

A Tabela 2.1 apresenta a oferta interna de energia no Brasil, distribuída pelas principais fontes, de 2003 a 2006 e a variação entre a distribuição das fontes de 2006 em relação a 2005.

O aumento expressivo verificado no urânio, relacionado à energia nuclear, de 2005 para 2006 deve ser desconsiderado devido às grandes perdas do ano de 2004 para o de 2005 e de 2003 para 2004. O petróleo, principal insumo energético, hidráulica e eletricidade, e a lenha e o carvão vegetal apresentaram oscilações pequenas no período mencionado. O gás natural demonstrou crescimento contínuo na distribuição de energia de 2003 a 2006, com variação acumulada de cerca de 25%, enquanto o carvão mineral e as outras fontes primárias decresceram em participação. Os produtos da cana tiveram um ganho expressivo em participação, de 5,9 % de 2005 para 2006.

A posição do Brasil no setor energético é consideravelmente boa, e são destacados três principais fatores, que justificam a atratividade de investimentos externos energéticos: a grande participação de fontes renováveis na matriz; a possibilidade de integração de setores energéticos, como os complexos de bioenergia; e a segurança energética, com a auto-suficiência na produção de petróleo, gás natural e energia elétrica, que pode promover uma possível integração regional. (CNI, 2007)

O Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT, 2007) enumera o potencial brasileiro para as fontes de energias renováveis destinadas à produção de energia elétrica:

- Pequenas centrais hidrelétricas têm se consolidado e expandido devido à reestruturação do setor elétrico;

- Utilização do bagaço de cana e de outras formas de biomassa já são bem estabelecidas no país, graças aos incentivos oferecidos a essas fontes e à co-geração de eletricidade;

- Estudos sobre os sistemas heliotérmicos, que utilizam o calor do sol para gerar eletricidade em plantas de geração térmica, estimam um potencial de 2,1 MWh/m^2 ano de irradiação direta ao nível do solo, valor muito próximo das condições solarimétricas da Espanha, país referência nessa tecnologia;

- Estudos que mostram a existência de áreas com regimes médios de vento propícias à instalação de parques eólicos, principalmente nas regiões Nordeste (144 TWh/ano), Sul e Sudeste do país (96 TWh/ano). O potencial total do país é de 143 GW de potência.

Em relação à energia renovável destinada aos transportes, destacam-se os biocombustíveis, que por poderem substituir parcial e até totalmente combustíveis fósseis em motores do ciclo Otto e Diesel[3], têm atraído muitos

[3] Motores do ciclo Otto possuem funcionamento por combustão interna com ignição por faísca e têm como exemplo mais conhecido os motores automotivos a gasolina ou álcool. Motores a diesel funcionam com ignição por compressão, logo trabalham com altas taxas de compressão, o que exige que seus componentes sejam mais pesados.

investimentos internos e externos ao Brasil pelo fato do país possuir grande área disponível à agricultura.

2.2. O Quadro Ambiental

Tema de constantes e crescentes discussões, o grande aumento de gases do efeito estufa (GEE), verificado principalmente no último século, são conseqüência direta de atividades humanas. O acúmulo de GEE na atmosfera produz o aquecimento global, que ameaça a sobrevivência de muitas espécies animais e vegetais, destrói parte das geleiras polares, e aumenta os níveis dos mares.

A Tabela 2.2 enfoca as regiões e os países de maior contribuição, acrescido do Brasil, nas emissões de CO_2 no consumo e queima de combustíveis fósseis, de 1980 a 2005.

Tabela 2.2 - Emissões de CO_2 pelo consumo e queima de combustíveis fósseis por ano (milhões de toneladas métricas de C equivalente)

País Região	1980	1985	1990	1995	2000	2005
Estados Unidos	4.747,60	4.577,58	5.001,73	5.289,26	5.823,48	5.956,98
América do Norte	**5.431,21**	**5.281,19**	**5.771,73**	**6.115,03**	**6.763,68**	**6.987,78**
Brasil	185,22	183,63	218,72	285,14	342,10	360,57
América do Sul e Central	**621,77**	**613,57**	**691,57**	**849,88**	**988,09**	**1.096,16**
Europa	**4.672,24**	**4.574,35**	**4.514,54**	**4.272,41**	**4.444,93**	**4.674,75**
Rússia	- -	- -	- -	1.622,94	1.580,21	1.696,00
Eurásia	**3.027,53**	**3.496,77**	**3.792,41**	**2.480,82**	**2.339,54**	**2.577,82**
Oriente Médio	**491,82**	**591,12**	**726,07**	**894,41**	**1.081,19**	**1.450,81**
África	**534,47**	**641,15**	**718,13**	**817,88**	**881,24**	**1.042,92**
China	1.454,65	1.838,47	2.241,19	2.844,56	2.912,59	5.322,69
Índia	288,70	440,37	574,56	862,18	994,07	1.165,72
Japão	935,94	887,44	1.009,06	1.075,50	1.190,16	1.230,36
Ásia & Oceania	**3.551,63**	**4.210,27**	**5.180,47**	**6.559,45**	**7.252,33**	**10.362,49**
Total Mundial	**18.330,68**	**19.408,42**	**21.394,92**	**21.989,88**	**23.751,01**	**28.192,74**

Fonte: EIA, 2005.

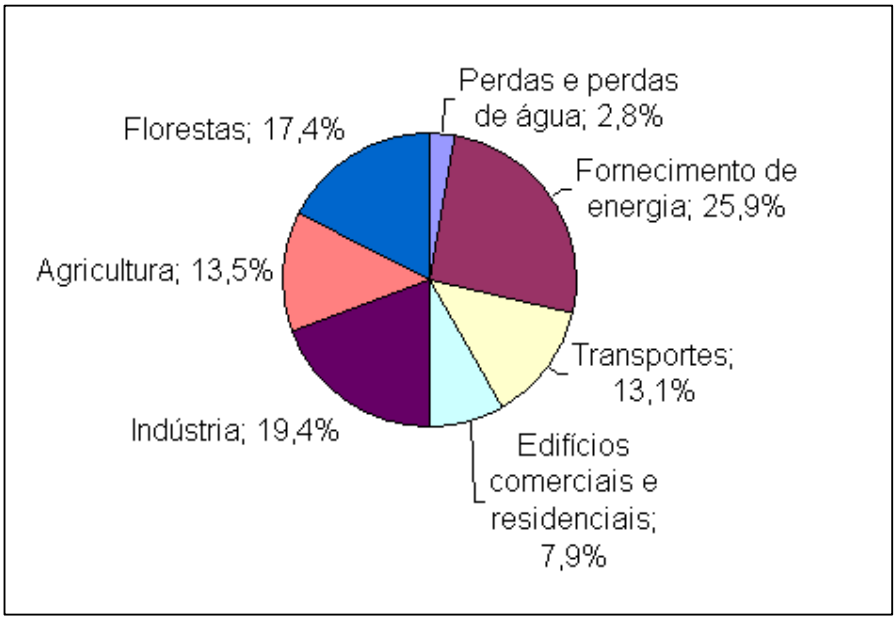
O nível ou os estoques atuais dos GEE na atmosfera é equivalente a cerca de 430 ppm de CO_2, ou 430 ppm de CO_2eq, em comparação com apenas 280 ppm antes da Revolução Industrial. Este aumento de concentração já provocou um aquecimento global de mais de 0,5 ºC. Se o fluxo de emissões não aumentasse em relação à taxa atual, em 2050 a quantidade de GEE na atmosfera atingiria o dobro dos níveis pré-industriais, ou seja 550 ppm de CO_2eq. Com a aceleração do fluxo anual das emissões, é possível que este índice seja alcançado em 2035 e, com isto, há uma possibilidade entre 77% e 99% de um aumento superior a 2 ºC da temperatura média global. Para comparar este aumento de temperatura, tem-se que a diferença entre a temperatura atual e a da última era glacial era de aproximadamente 5 ºC, e que

um aumento de 4 ºC ou superior torna provável que a produção global de alimentos seja gravemente afetada. (STERN, 2006)

O relatório Stern (2006) atenta ainda que os danos ambientais causados pelo aquecimento global têm implicação direta na economia, e extrapola-se que, os custos das condições meteorológicas extremas (tempestades, furacões, tufões, inundações, secas e ondas de calor) poderiam atingir entre 0,5 % e 1 % ao ano do PIB mundial até meados deste século.

A Figura 2.4 apresenta a distribuição das emissões de gases de efeito estufa, em termos de CO_2eq, por diferentes setores.

Figura 2.4 – Distribuição dos setores nas emissões de GEEs antropogênicos em 2004 (em CO_2eq)



Fonte: BERNSTEIN, 2007.

As emissões referentes ao fornecimento de energia, aos transportes, aos edifícios e à indústria podem ser consideradas diretamente ligadas ao setor energético, o que representaria um total de 66,3 % de emissões provenientes da opção energética antropogênica.

Para atenuar essas emissões deve-se, então, ter a transição para uma economia de energia voltada para baixos índices de carbono. Na esfera econômica, estima-se que os mercados para a energia de baixo carbono valerão provavelmente no mínimo 500 bilhões de dólares ao ano até 2050. (STERN, 2006)

2.2.1. O Tratado de Quioto

O Protocolo de Quioto (*Kyoto Protocol*) foi adotado na Terceira Conferência de Partes (COP3) em 11 de dezembro de 1997, no Japão, e entrou em vigor em fevereiro de 2005, quando passou a ser chamado de Tratado de Quioto. Por afetar todos os principais setores da economia, é considerado o acordo mais abrangente em meio-ambiente e desenvolvimento sustentável já existente. (UNFCCC, 2008)

O princípio básico do Protocolo de Quioto foi o de estabelecer metas de redução dos Gases do Efeito Estufa (GEE) para os países desenvolvidos, listados no anexo I do documento. As razões para o Tratado ser direcionado mais duramente para este grupo de países estão no fato deles poderem pagar mais facilmente os custos de redução de emissões, além de serem, historicamente, os principais responsáveis pelas alterações climáticas, por serem os maiores emissores de GEE.

As metas do Acordo variaram entre -8% a +10% dos níveis de emissões de GEE individuais dos países com o objetivo de reduzir as emissões totais em pelo menos 5%, sempre em relação aos níveis existentes em 1990, conforme apresentado na Tabela 2.3. Os limites estipulados, em quase todos os casos, atendem por significativas reduções das emissões projetadas para os países. O prazo para o cumprimento das metas foi o período de 2008 a 2012. (UNFCCC, 2008)

Tabela 2.3 – Metas Estabelecidas para o Protocolo de Quioto

Países	Metas de Redução (%)
União Européia (15)	-8
Suíça	-8
Europa Central e Oriental (i)	-8
Canadá	-6
Estados Unidos	-7
Hungria	-6
Japão	-6
Polônia	-6
Nova Zelândia	0
Rússia	0
Ucrânia	0
Noruega	+1
Austrália	+8
Finlandia	+10

Fonte: Elaboração Própria com base em dados do UNFCCC

(i) A maior parte dos países.

A União Européia elaborou um acordo interno para atingir sua meta total de 8% de redução. Suas metas internas variaram de reduções de 28% em Luxemburgo e 21% na Dinamarca e na Alemanha até aumentos de 25% na Grécia e 27% em Portugal. (UNFCCC, 2008)

Para o cumprimento das metas do Protocolo de Quioto, é necessário atender aos Potenciais de Aquecimento Globais (GWP – *Global Warming Potentials*) dos GEEs. O GWP é uma medida de contribuição de um GEE para o aquecimento global, num horizonte de tempo, e compara cada gás com a mesma quantidade de dióxido de carbono, de potencial referenciado como 1. O período mais comum de utilização do GWP é o de 100 anos. A Tabela 2.4 apresenta os potenciais de aquecimento globais para cada espécie.

Tabela 2.4 – Potenciais de Aquecimento Globais (GWP)

Espécie	Fórmula Química	Tempo de Vida (anos)	Potencial de Aquecimento Global (Horizonte de Tempo)		
			20 anos	100 anos	500 anos
Dióxido de Carbono	CO_2	Variável	1	1	1
Metano (i)	CH_4	12±3	56	21	6.5
Óxido Nitroso	N_2O	120	280	310	170
HFC-23	CHF_3	264	9100	11700	9800
HFC-32	CH_2F2	5.6	2100	650	200
HFC-41	CH_3F	3.7	490	150	45
HFC-43-10mee	$C_5H_2F_{10}$	17.1	3000	1300	400
HFC-125	C_2HF_5	32.6	4600	2800	920
HFC-134	$C_2H_2F_4$	10.6	2900	1000	310
HFC-134a	CH_2FCF_3	14.6	3400	1300	420
HFC-152a	$C_2H_4F_2$	1.5	460	140	42
HFC-143	$C_2H_3F_3$	3.8	1000	300	94
HFC-143a	$C_2H_3F_3$	48.3	5000	3800	1400
HFC-227ea	C_3HF_7	36.5	4300	2900	950
HFC-236fa	$C_3H_2F_6$	209	5100	6300	4700
HFC-245ca	$C_3H_3F_5$	6.6	1800	560	170
Hexafluoreto de Enxofre	SF_6	3200	16300	23900	34900
Perfluormetano	CF_4	50000	4400	6500	10000
Perfluoretano	C_2F_6	10000	6200	9200	14000
Perfluorpropano	C_3F_8	2600	4800	7000	10100
Perfluorbutano	C_4F_{10}	2600	4800	7000	10100
Perfluorciclobutano	$c\text{-}C_4F_8$	3200	6000	8700	12700
Perfluorpentano	C_5F_{12}	4100	5100	7500	11000
Perfluorhexano	C_6F_{14}	3200	5000	7400	10700

Fonte: UNFCCC, 2008.

(i) O GWP do metano inclui efeitos indiretos das produções de ozônio troposférico e vapor d'água estratosférico.

2.2.2. Os Mecanismos do Tratado de Quioto

O Protocolo de Quioto regulamentou três mecanismos de flexibilização para auxiliar no cumprimento de suas metas estabelecidas. Estes mecanismos oferecem possibilidades de reduzir as emissões de GEEs com custos mais acessíveis. São eles: a Implementação Conjunta, o Comércio de Emissões e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. Os dois primeiros mecanismos são

direcionados aos países do Anexo I, enquanto o último envolve as Partes não-Anexo I, correspondente aos países em desenvolvimento.

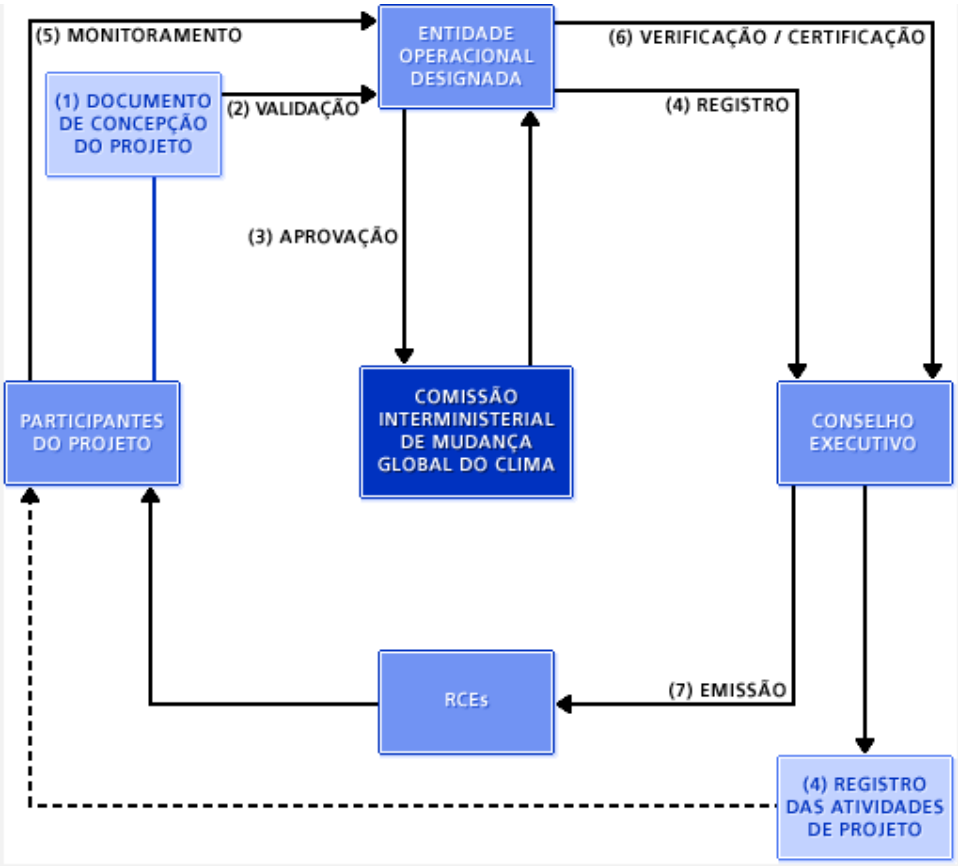
A Implementação Conjunta permite a um país do Anexo I implementar um projeto de redução de emissões ou um projeto que diminua as emissões em território de outro país do Anexo I e conte para si os resultados das Unidades de Emissões Reduzidas (UER) para atender sua meta. Países do Anexo I podem ainda autorizar entidades legais a participarem de projetos de Implementação Conjunta. (UNFCCC, 2008)

> O Comércio de Emissões concede aos países do Anexo I o direito de adquirir unidades de outras Partes do Anexo I e usá-las para atender suas metas de redução de emissões. A unidade a ser negociada é a tonelada métrica de emissões, em CO_2eq. (UNFCCC, 2008)

Por fim, o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) é a única opção que inclui países em desenvolvimento, como o Brasil. Ele possibilita aos países do Anexo I investir em projetos de redução de emissões e seqüestro de carbono em Partes não-Anexo I, gerando assim Reduções Certificadas de Emissões (RCEs), que podem ser negociadas no mercado global como Créditos de Carbono para atender os limites impostos no Protocolo de Quioto.

Para um projeto obter a condição de projeto de MDL, ele deve passar por diferentes etapas até receber a chancela da ONU, por intermédio do Conselho Executivo do MDL, e então receber os RCEs para negociar os créditos de carbono. A Figura 2.5 ilustra esse processo.

Figura 2.5 – Ciclo de um Projeto de MDL



Fonte: BM&F, 2008.

O ciclo de um projeto de MDL pode ser resumido como apresentando as seguintes etapas (UNFCCC, 2008; SOUZA, 2005, BM&F, 2008):

1) Planejamento da atividade do projeto: que consiste na etapa de elaboração de um Documento de Concepção do Projeto – DCP (ou PDD – Project Design Document). Deverá conter os seguintes tópicos:

A. Descrição geral da atividade do projeto.

B. Aplicação da metodologia da linha de base.

C. Definição da duração da atividade do projeto / período de obtenção de créditos.

D. Aplicação de uma metodologia e planejamento de monitoramento.

E. Estimativas das emissões de GEE pelas fontes.

F. Comentários dos stakeholders.

2) Validação da atividade do projeto de MDL: avaliação da atividade do projeto por uma Entidade Operacional Designada (EOD) em relação aos requerimentos do MDL.

3) Aprovação: consiste na aprovação do projeto no país sede pela Autoridade Nacional Designada (AND), que corresponde à aceitação do projeto pelo governo local. A AND, no Brasil, é a Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima (CIMGC)[4], que deve verificar se os projetos atendem às reduções das emissões de GEE, bem como contribuição para o desenvolvimento sustentável do país.

4) Registro da atividade do projeto de MDL: é a aceitação formal pelo Conselho Executivo de um projeto validado como uma atividade de projeto de MDL.

5) Monitoramento: procedimento de acompanhamento de um plano de monitoramento, que deve ser estabelecido pela metodologia definida no projeto. O monitoramento irá fornecer os dados para a contabilização dos créditos gerados do projeto.

6) Verificação / Certificação. A verificação é a revisão periódica realizada pela EOD para checar se as reduções monitoradas de emissões ocorreram devido à execução das atividades do projeto. A EOD também confere a certificação do projeto, que é a garantia de que as reduções de emissões ocorreram em decorrência das atividades do mesmo.

7) Emissão das RCEs. A EOD, com a certificação, pode requerer ao Conselho Executivo a emissão das RCEs, relativas às emissões reduzidas durante o monitoramento do projeto. Cada RCE é

[4] A Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima é presidida pelo MCT, vice-presidida pelo MMA e ainda composta por membros dos Ministérios das Relações Exteriores; da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; dos Transportes; das Minas e Energia; do Planejamento, Orçamento e Gestão; do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior; e da Casa Civil.

contabilizada como sendo igual a uma tonelada de dióxido de carbono (ton CO_2eq).

A Bolsa de Mercadorias & Futuros (BM&F) e o Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC) criaram o Mercado Brasileiro de Reduções de Emissões (MBRE), que objetiva desenvolver um eficiente sistema de negociação de certificados ambientais, de acordo com o Tratado de Quioto. A iniciativa visa criar no Brasil as bases de mercado ativo para créditos de carbono que venham a constituir referência para os participantes em todo o mundo.

Um projeto brasileiro foi o primeiro a ser registrado na ONU como sendo pertencente ao MDL. O projeto Novagerar, da empresa CTR Nova Iguaçu, visa a redução em aproximadamente 2,5 milhões de toneladas de CO_2eq pela queima de metano e geração de energia elétrica até 2012.

O primeiro leilão de créditos de carbono associado ao MDL realizado pela BM&F ocorreu em setembro de 2007 e estabeleceu um preço de € 16,2 por crédito. Na ocasião, o banco holandês *Fortis Bank* adquiriu cerca de 800 mil créditos de carbono, correspondentes a R$ 34 milhões, adquiridos pela Prefeitura de São Paulo. Os créditos eram provenientes de um projeto do aterro sanitário Bandeirantes.

O segundo leilão de créditos de carbono no âmbito do MDL ocorreu no final de setembro de 2008 e, ao valor de € 19,2 por crédito, totalizou cerca de R$ 37 milhões à Prefeitura de São Paulo. A *Mercuria Energy Trading*, da Suiça obteve o direito dos créditos, que foram gerados pelos aterros sanitários Bandeirantes e São João.

Apesar da oportunidade de desenvolvimento associada à captação de mais recursos que o MDL proporciona aos projetos implementados nos países em desenvolvimento, este mecanismo depara-se com alguns entraves. Dentre

eles, está a complexidade das metodologias e a dificuldade existente no monitoramento de seus projetos.

O Ministério da Agricultura (MAPA, 2006) cita ainda como limitações aos projetos de MDL o grande risco ao investidor, gerado por um alto grau de incerteza e pela burocracia existente para a aprovação de um projeto pela ONU, além do alto custo de transação de projetos, cujo mínimo é de aproximadamente US$ 150 mil.

2.2.3. O Mercado Voluntário de Carbono

O mercado voluntário constitui de uma iniciativa não-compulsória de redução de emissões de GEE, e é alavancado pelas limitações e incertezas relacionadas ao MDL após o ano de 2012. Esta alternativa ao MDL visa reduzir a burocracia, os custos, e as restrições em termos de metodologias, escala e natureza dos projetos.

Muitos são os motivos para a aquisição dos créditos de carbono, mas destaca-se a crescente preocupação com as mudanças do clima e a oportunidade de melhora da imagem pública de uma empresa frente a este cenário.

O mercado voluntário é dividido em dois componentes: a Bolsa do Clima de Chicago (Chicago Climate Exchange – CCX) e o mercado de balcão. No ano de 2007, foram transacionadas 42,1 milhões de toneladas de CO_2eq no mercado de balcão e 22,9 milhões de toneladas de CO_2eq na CCX. Esses valores representam o triplo do volume transacionado em 2006 para o mercado de balcão e mais do dobro para a CCX[5]. (HAMILTON, 2008)

Apesar deste acelerado crescimento, o mercado voluntário representou em 2007 cerca de 2% do volume negociado nos mercados regulamentados.

[5] Como estes dados tratam de transações completas e confirmadas, os volumes informados são conservadores.

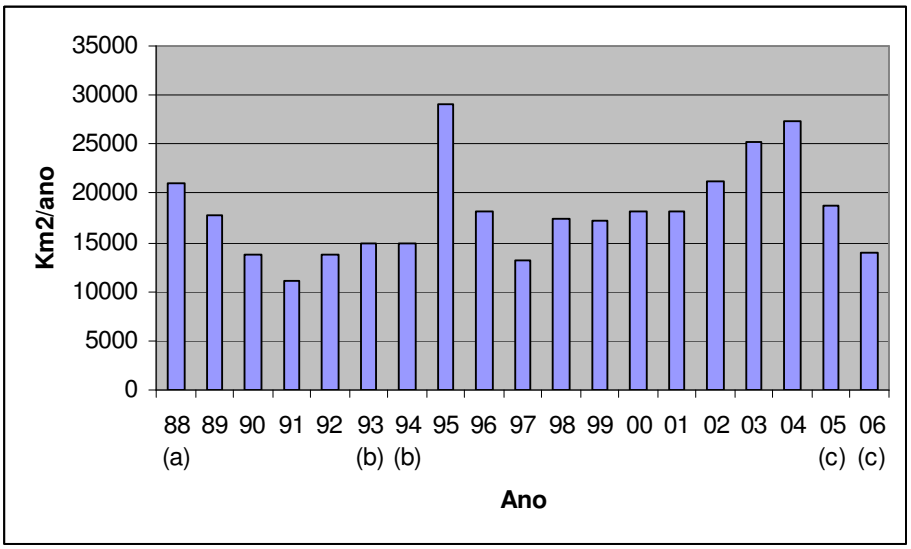
Porém, em relação a 2006, o mercado voluntário obteve um crescimento de 165%, contra 77% dos mercados regulamentados, o que sugere uma tendência para aumento de participação do mercado voluntário. (HAMILTON, 2008)

Ainda há neste mercado, como no mercado do MDL, uma grande variação para o preço da tonelada de carbono. Entretanto, os preços para o mercado do mecanismo de Quioto tendem a ser mais elevados que os do mercado voluntário.

2.2.4. O Panorama Brasileiro nas Questões Ambientais

As queimadas e o desmatamento da Amazônia constituem o fator mais crítico de emissões brasileiras de GEE, e coloca o país na indesejável posição de quarto maior emissor do mundo. Estima-se que esta contribuição seja de mais de 50% no Brasil, enquanto que em países desenvolvidos os maiores emissores de gases de efeito estufa são veículos automotivos e as indústrias.

Figura 2.6 – Taxa de Desmatamento Anual na Amazônia Legal (km^2 / ano), no período de 1988 a 2006



Fonte: Elaboração Própria com base em dados do INPE, 2008.
(a) Média entre 1977 e 1988;
(b) Média entre 1993 e 1994;
(c) Taxas Anuais de 2005 e 2006.

O Brasil, apesar de não estar comprometido com as metas do Protocolo de Quioto, por ser país em desenvolvimento, está buscando alternativas para contribuir na luta das mudanças climáticas.

Pela Figura 2.6 é possível verificar que o Brasil, nos três últimos anos, tem contado com consideráveis reduções nas taxas de desmatamento da Amazônia. Segundo o INPE, a variação relativa do ano de 2004 para o de 2005 foi de – 31 %; de 2005 para 2006 foi de – 25 %; e de 2006 para uma taxa projetada para 2007 foi de – 20 %.

O país também utiliza o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo para atender a necessidade de redução das emissões de GEEs, sendo o terceiro país em número de projetos, atrás somente da China e da Índia. A Tabela 2.5 mostra alguns números sobre os projetos de MDL no Brasil.

Tabela 2.5 – Os Projetos de MDL no Brasil

Projetos de MDL no Brasil		
Número de projetos	234	
Posição do país em número de projetos	3º no mundo	
Total de ton de CO_2eq a ser reduzida	anual	27.123.817
	1º período de obtenção de créditos	207.638.331
	início do projeto até 31/12/2012	182.018.488
Posição do país em total de CO_2eq a ser reduzido	anual	3º no mundo
	1º período de obtenção de créditos	3º no mundo
Número de projetos por Gases	CO_2	150
	CH_4	80
	N_2O	3
	PFC	1
Número de projetos por Setores	Geração elétrica	141
	Aterro sanitário	26
	Suinocultura	38
	Eficiência energética	9

Fonte: MCT, 2007.

O gás de maior ênfase nos projetos de MDL no Brasil é o gás carbônico, com 64 % do total, seguido pelo metano, com 34 %, enquanto que o setor mais beneficiado é o de geração elétrica, com 66 % do total.

2.3. Os Biocombustíveis

Os biocombustíveis são combustíveis obtidos a partir de fontes de carbono provenientes de produtos agrícolas, como a cana-de-açúcar e o dendê. Os biocombustíveis são considerados fonte de energia renovável pela potencialidade associada a eles de gerar mais energia do que consumo em seus processos de produção. Tal fato é ancorado na possibilidade de captação de energia das matérias-primas no cultivo no campo.

Os biocombustíveis de 1ª geração são aqueles gerados da primeira ou principal utilização de matérias-primas cultivadas. Fazem parte deste grupo os biocombustíveis mais utilizados atualmente, como o etanol produzido através da cana-de-açúcar e do milho, e o biodiesel dos óleos de soja, colza e dendê.

Os biocombustíveis de 2ª geração são gerados a partir de resíduos agrícolas, ou componentes com baixo valor agregado. Embora ainda não tenham produção expressiva, é possível citar exemplos consolidados existentes no Brasil, tais como o etanol do bagaço de cana-de-açúcar e de material lignocelulósico em geral e o biodiesel de ácidos graxos. Esta geração de biocombustíveis, em relação à primeira, possui maior complexidade tecnológica e, conseqüentemente, maior custo de produção. (FONTES, 2007)

Para não haver uma competição com alimentos, muitas vezes produzidos a partir dos mesmos cultivos de fins energéticos, e diminuir os impactos ambientais, é necessário que haja um direcionamento da indústria energética global em favor dos biocombustíveis de 2ª geração frente aos de 1ª geração. Entretanto, é necessário que haja um período de consolidação dos biocombustíveis de 1ª geração, de maior facilidade de inserção no mercado,

para que, posteriormente, seja possível o estabelecimento das tecnologias de produção dos biocombustíveis de 2ª geração.

Os fatores que afetam o retorno dos biocombustíveis são dinâmicos, interconectados e muitas vezes incertos. Alguns pontos críticos a serem considerados para uma estratégia geográfica são os custos das matérias-primas, que podem ser afetados por subsídios governamentais e usos alternativos; e as regulamentações governamentais, seja por subsídios, tarifas de importação ou incentivo às pesquisas. (CAESAR, 2007)

É possível destacar três grupos que têm apostado na produção dos biocombustíveis: os que já possuem os recursos necessários (incluem empresários do agronegócio, empresas de petróleo, operadores de plantas e pequenos fazendeiros); os provedores de produtos e serviços (incluem empresas de sementes, de engenharia e equipamentos, e de biotecnologia); e os participantes do mercado (como fazendeiros, empresa de equipamentos de agricultura, fornecedores de fertilizantes, e provedores de logística). (CAESAR, 2007)

A produção dos principais biocombustíveis, o biodiesel e o etanol, vem crescendo a taxas muito aceleradas nos últimos cinco anos, principalmente no Brasil e na América do Norte. Este crescimento tende a se acentuar com as recentes metas obrigatórias de produção de biocombustíveis na Europa (5,75 % do consumo total em 2010) e nos EUA (5 bilhões de galões de etanol em 2012). A partir destas metas, a Agência Internacional da Energia estima que os biocombustíveis tenham potencial para suprir cerca de 6% da demanda mundial de combustíveis em 2020. (PINTO, 2006)

2.3.1. Biodiesel

A Medida Provisória nº 214, da ANP, de 13 de setembro de 2004, define tecnicamente o biodiesel como um combustível para motores a combustão

interna com ignição por compressão, renovável e biodegradável, derivado de óleos vegetais ou de gorduras animais, que possa substituir parcial ou totalmente o óleo diesel de origem fóssil.

Na resolução da ANP, nº 42, de 24 de novembro de 2004, definiu-se o B100 como combustível composto de alquilésteres de ácidos graxos de cadeia longa, derivados de óleos vegetais ou de gorduras animais. O B2 como um combustível comercial composto de 98% em volume de óleo diesel, conforme especificação da ANP, e 2% em volume de biodiesel. As demais composições seguem os modelos do B2 e B100.

Quimicamente, o biodiesel se distingue do diesel por ser um éster, enquanto o outro é uma mistura de hidrocarbonetos responsável por uma fração do petróleo, acrescida de teores de enxofre, nitrogênio, oxigênio e aromáticos.

Por possuir oxigênio em sua estrutura, o biodiesel é capaz de promover uma combustão completa, eliminando emissões de monóxido de carbono (CO) e material particulado, além de aumentar a lubricidade, garantida no diesel pelo enxofre, conseqüentemente a vida útil dos componentes do motor. Há também reduções nas emissões de óxidos de enxofre pelo fato do biodiesel não conter enxofre. Por outro lado, o biodiesel proporciona um pequeno aumento das emissões de NOx.

Monteiro (2005) conclui que o impacto da alteração das emissões de NOx pela substituição de diesel por biodiesel não é expressivo, porém as reduções de CO, hidrocarbonetos, poliaromáticos e matéria particulada implicam em benefícios significativos.

De uma maneira geral, acredita-se que o biodiesel seja capaz de reduzir as emissões totais de GEE, quando comparado ao óleo diesel. Entretanto, para um estudo mais amplo de emissões do biocombustível, é necessário

considerar algumas variáveis para a produção de biodiesel, tais como: a rota tecnológica de produção utilizada, a oleaginosa e o álcool empregados no processo. Será feita no capítulo 4 uma análise do ciclo de vida para a produção dos biocombustíveis associados a este estudo, onde será possível observar as emissões associadas às etapas de suas cadeias produtivas.

2.3.2. O Desenvolvimento do Biodiesel no Brasil

Para amparar a inserção do biodiesel na matriz energética brasileira, o Governo Federal criou, em dezembro de 2004, o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB). Trata-se de um programa inter-ministerial que objetiva implementar de forma sustentável, tanto técnica como economicamente, a produção e o uso do biodiesel, com enfoque na inclusão social e no desenvolvimento regional, via geração de emprego e renda.

O PNPB foi regulamentado pela lei no 11.097, de 13 de janeiro de 2005, que dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira; altera as Leis n^{os} 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.847, de 26 de outubro de 1999 e 10.636, de 30 de dezembro de 2002; e dá outras providências.

Esta lei estabeleceu um percentual mínimo obrigatório de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor final, que seria de 5% em volume (B5), em qualquer parte do território nacional.

O prazo para tal aplicação é de 8 anos após a publicação da Lei, sendo de 3 anos o período, após essa publicação, para se utilizar um percentual mínimo obrigatório intermediário de 2% em volume (B2). Porém, devido ao satisfatório atendimento da oferta, este percentual mínimo intermediário elevou-se para 3% em volume de biodiesel no diesel comercial (B3) em julho de 2008.

Portanto, o B3 e o B5, que podem ser utilizados sem ajustes nos motores, estão liberados para comercialização no Brasil. A comercialização do

B2 foi opcional até 2007 e a partir de janeiro de 2008 tornou-se obrigatória, quando começou a ser opcional a oferta do B5. A partir de julho de 2008, entretanto, o B3 tornou-se obrigatório. O B5 será opcional até 2012 e compulsório a partir de 2013. Há, porém, a possibilidade de antecipação da obrigatoriedade do B5. O uso de B10, B20 ou mais, dependerão do mercado futuro.

Destacam-se três tópicos estratégicos importantes para o desenvolvimento do biodiesel no Brasil: o Selo Combustível Social; o Regime Tributário; e os Leilões Públicos de biodiesel.

- Selo Combustível Social

A criação do Selo Combustível Social foi uma das medidas de destaque para o lançamento do PNPB. As empresas detentoras do Selo Combustível Social podem ter redução parcial ou total de tributos federais, conforme definido no modelo tributário aplicável ao biodiesel, e também participar dos leilões de compra do combustível, tendo o certificado para diferenciar a origem/marca do biodiesel no mercado. (PNPB, 2005)

Como previsto nas Instruções Normativas MDA nºs 01 e 02, de 2005, o Selo Combustível Social é concedido pelo Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA) a produtores de biodiesel habilitados pelas leis brasileiras a operar na produção e comercialização do biodiesel e que atendam aos seguintes requisitos (PNPB, 2005):

- Adquiram percentuais mínimos de matéria-prima de agricultores familiares, sendo de 10% nas regiões Norte e Centro-Oeste; de 30% nas regiões Sul e Sudeste e de 50% no Nordeste e no Semi-Árido; e

- Celebrem contratos com os agricultores familiares estabelecendo prazos e condições de entrega da matéria-prima e respectivos preços e lhes prestem assistência técnica.

O MDA estabeleceu também um mecanismo de verificação anual da manutenção do Selo Combustível Social, cuja validade é de cinco anos. (PRATES, 2007)

- Regime Tributário

O regime tributário da cadeia de produção do biodiesel prevê alíquotas diferenciadas de PIS/Cofins em função da matéria-prima utilizada, tipo de fornecedor (agricultura familiar ou não), e com a região onde está situada a unidade fabril, conforme mostrado na Tabela 2.6. O combustível é também isento de IPI e de CIDE. (PRATES, 2007)

Tabela 2.6 – Regime tributário do biodiesel no Brasil

Tributos Federais	**Biodiesel**				**Diesel de petróleo**
	Agricultura familiar no Norte, Nordeste e Semi-árido com mamona ou palma	**Agricultura familiar**	**Norte, Nordeste e Semi-árido com mamona ou palma**	**Regra geral**	
IPI	Alíquota zero	Alíquota zero	Alíquota zero	Alíquota zero	Alíquota zero
Cide	Inexistente	Inexistente	Inexistente	Inexistente	R$ 0,07
PIS/Cofins	Redução de 100%	Redução de 68%	Redução de 31%	R$ 0,22	R$ 0,15
Total de tributos federais	R$/litro	R$/litro	R$/litro	R$/litro	R$/litro
	R$ 0,00	R$ 0,07	R$ 0,15	R$ 0,22	R$ 0,22

Fonte: PRATES, 2007.

A regra geral contempla as outras matérias-primas oleaginosas, como o girassol, a soja e o algodão; cultivados nas regiões Sul, Sudeste e Centro-oeste.

- Leilões Públicos de Biodiesel

No Brasil, a comercialização do biodiesel é realizada pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) por meio de leilões públicos.

A Resolução da ANP 31, de novembro de 2005, regulamenta a realização destes leilões públicos. Esta resolução estabelece que os produtores e importadores de diesel mineral devem comprar o biodiesel com fornecimento de produtores que possuam o Enquadramento Social[6]. A ANP define ainda as quantidades máximas de biodiesel a serem adquiridas e os preços (máximos) de referência para cada leilão. (PRATES, 2007)

O primeiro leilão público de biodiesel ocorreu em novembro de 2005, e a Agropalma foi a única das quatro empresas vencedoras a ter seu lote aprovado pela ANP. As outras empresas tiveram que fazer ajustes em seus processos para se enquadrarem nas especificações da agência.

Até outubro de 2008 houve 11 leilões públicos de biodiesel, sendo o 2º, 3º e 4º em 2006; o 5º, 6º e 7º em 2007; e o restante em 2008. A Tabela 2.7 e a Figura 2.7 orientam para os resultados dos leilões públicos de biodiesel, onde é possível observar os volumes totais arrematados e os preços médios obtidos.

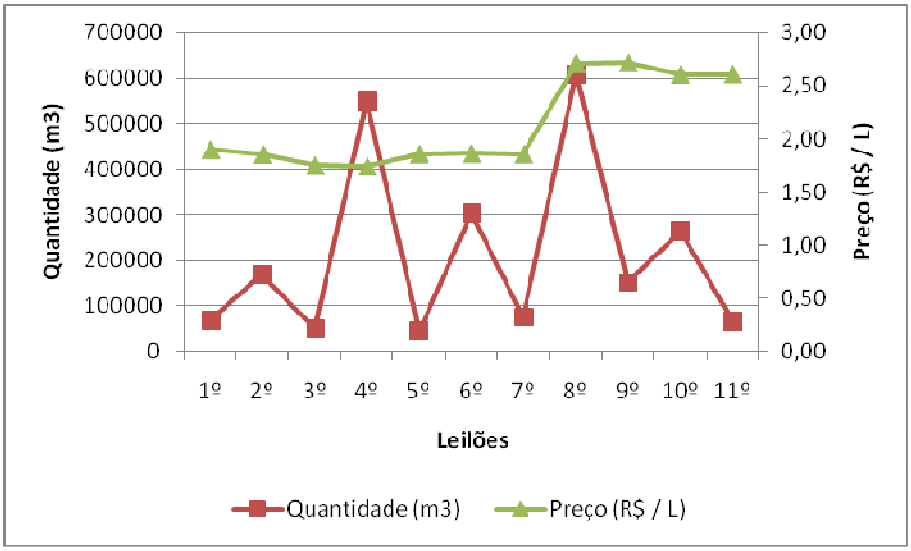
[6] Possuem Enquadramento Social os produtores que atendem os requisitos do Selo Combustível Social.

Tabela 2.7 – Resultados dos leilões públicos de biodiesel

Leilões	Quantidade (m^3)	Preço (R$ / L)
1º	70000	1,90
2º	170000	1,86
3º	50000	1,75
4º	550000	1,75
5º	45000	1,86
6º	304000	1,87
7º	76000	1,86
8º	607900	2,71
9º	152350	2,72
10º	264000	2,60
11º	66000	2,61

Fonte: ANP, 2008.

Figura 2.7 – Resultados dos leilões públicos de biodiesel



Fonte: ANP, 2008.

Os resultados dos leilões mostram que as quantidades arrematadas não possuem uma tendência bem definida, tendo apresentado grandes variações tanto positivas como negativas. Os preços médios dos leilões de biodiesel se elevaram consideravelmente do 7º para o 8º leilão, do final do ano de 2007 para o início de 2008, porém, acompanharam a tendência de valorização do preço do barril de petróleo para o período.

2.3.3. O Mercado Potencial do Biodiesel

O mercado potencial do biodiesel pode ser estimado através da demanda de óleo diesel, pelo fato dos combustíveis serem substitutos.

O óleo diesel no Brasil é utilizado em veículos pesados, tais como ônibus, caminhões, tratores, locomotivas, navios, e ainda em motores estacionários, e representa o principal combustível da frota veicular brasileira.

O setor de transportes historicamente corresponde a cerca de 80% do consumo do diesel no Brasil. A Tabela 2.8 apresenta a distribuição do consumo do combustível no país do ano de 1970 a 2006.

Tabela 2.8 – Distribuição do consumo do óleo diesel no Brasil (m^3)

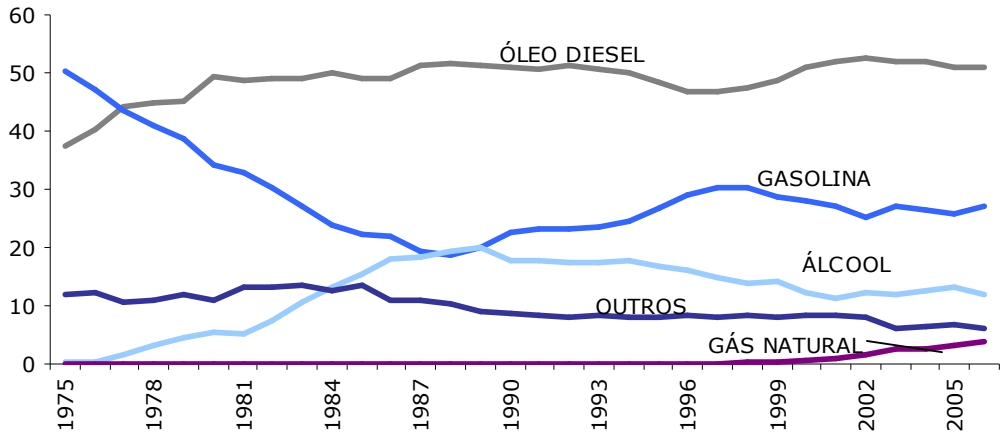
	1970	1980	1990	2000	2005	2006
Geração de Eletricidade	225	431	653	1.768	2.235	1.910
Consumo Final Energético	6.290	18.321	23.936	34.674	38.186	38.698
Setor Energético	65	288	490	297	186	109
Comercial	75	28	45	79	63	64
Público	49	168	94	139	101	108
Agropecuário	458	2.588	3.710	5.232	5.583	5.660
Transportes	5.262	14.804	19.232	28.311	31.469	31.972
Rodoviário	4.542	13.304	18.266	27.511	30.429	30.899
Ferroviário	407	680	597	474	665	654
Hidroviário	313	820	369	326	375	419
Consumo Total	**6.515**	**18.752**	**24.589**	**36.442**	**40.421**	**40.608**

Fonte: BEN, 2007.

De acordo com a Tabela 2.8, o consumo total de diesel no país em 2006 foi de 40,608 milhões de m^3, sendo 31,972 milhões de m^3 para o setor de transportes, dos quais quase 97% foram destinados ao modal rodoviário.

De 2000 a 2007, o diesel representou aproximadamente 40% das vendas pelas distribuidoras dos derivados combustíveis de petróleo[7] comercializados no Brasil (ANP, 2008). Este dado se reflete na estrutura do consumo de combustíveis no setor de transporte, onde o óleo diesel é o grande destaque. Esta estrutura de consumo pode ser verificada na Figura 2.8.

Figura 2.8 – Evolução da Estrutura do Consumo no Setor de Transportes (em %)



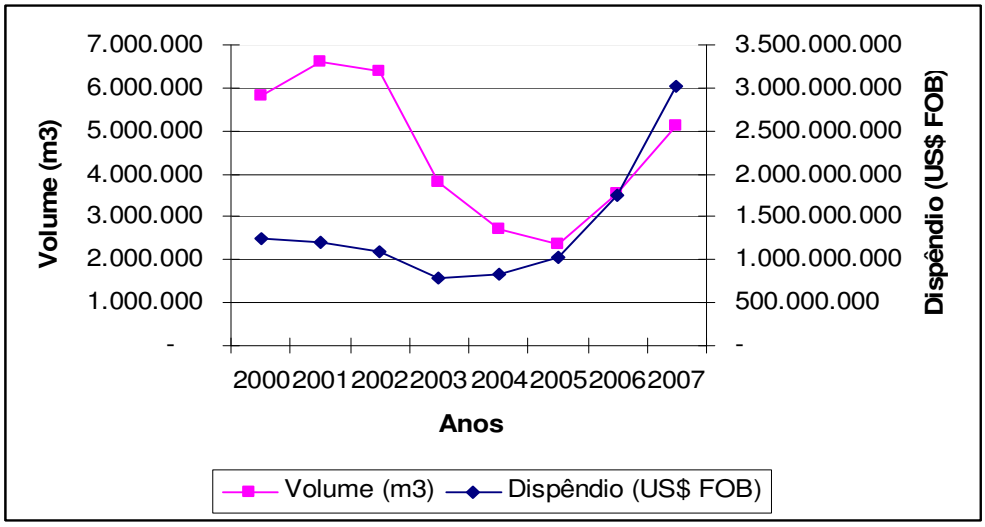
Fonte: BEN, 2007

O Brasil, apesar de ter atingido a auto-suficiência em petróleo em 2006, ainda apresenta dependência externa em relação ao óleo diesel. Em 2007, foram necessários aproximadamente 5,1 milhões de metros cúbicos de óleo diesel provenientes de importação, que corresponderam a um gasto de pouco mais de 3 bilhões de dólares FOB. (ANP, 2008)

A Figura 2.9 apresenta dados da evolução da importação brasileira de óleo diesel nos últimos sete anos.

[7] Os combustíveis considerados pela ANP são: álcool hidratado, gasolina C, gasolina de aviação, GLP, óleo combustível, óleo diesel, querosene de aviação e querosene iluminante.

Figura 2.9 – Importação Brasileira de Óleo Diesel de 2000 a 2007



Fonte: ANP, 2008.

Nos últimos anos, o aumento do dispêndio referente à importação do óleo diesel foi maior que o aumento do volume do mesmo. Enquanto os aumentos dos volumes demandados para os anos de 2006 em relação ao de 2005 e o de 2007 em relação ao de 2006 foi de pouco menos de 50%, as variações para os dispêndios nos mesmos períodos relacionados foram positivas em pouco mais de 70%.

A importância de substituição da importação de diesel pela produção de biodiesel, além de favorecer a balança comercial brasileira, também está atrelada à valorização da produção e capacitação nacional. Porém, esta substituição deve ser feita de forma gradual e de acordo com a lei 11.097 para garantir a oferta do combustível.

2.3.4. Culturas Para a Produção de Biodiesel

O biodiesel pode ser produzido a partir de óleos vegetais, sebo bovino, e óleos e gorduras residuais. São utilizados os triglicerídeos no processo de transesterificação, e os ácidos graxos de culturas oleaginosas nos processo de hidroesterificação e esterificação. Os triglicerídeos provêm do refino dos óleos

vegetais, enquanto os ácidos graxos constituem a fração não refinada, também chamada de borra ácida.

A Tabela 2.9 apresenta as cadeias de ácidos graxos mais comuns nos óleos vegetais e gorduras animais:

Tabela 2.9 - Principais Cadeias de Ácidos Graxos

Saturados	nº Carbonos	Insaturados	nº Carbonos
Láurico	12 C	Palmitoleico	15C (I)[(i)]
Mirístico	14 C	Oleico	18 C (I)
Palmítico	16 C	Linoleico	18 C (II)
Márgarico	17 C	Linolenico	18C (III)
Esteárico	18 C		

Fonte: FREITAS, 2007.

(i) Os números entre parênteses representam o número de insaturações das cadeias.

As principais culturas de produção do biodiesel podem ser divididas em perenes e anuais. Dentre as culturas perenes existentes, destacam-se as palmeiras: palma, babaçu e macaúba. As culturas anuais mais utilizadas nos processos de produção de biodiesel são: a soja, a colza, o girassol, o pinhão manso, a mamona, o nabo-forrageiro e o algodão.

Tabela 2.10 – Características de culturas oleaginosas no Brasil

Espécie	Teor de Óleo (%)	Meses de Colheita / Ano	Rendimento (ton óleo/ ha)
Dendê	22,0	12	3,0 - 6,0
Coco	55,0 - 60,0	12	1,3 - 1,9
Babaçu	66,0	12	0,1 - 0,3
Girassol	38,0 - 48,0	3	0,5 - 1,9
Colza	40,0 - 48,0	3	0,5 - 0,9
Mamona	45,0 - 50,0	3	0,5 - 0,9
Amendoim	40,0 - 43,0	3	0,6 - 0,8
Soja	18,0	3	0,2 - 0,4
Algodão	15,0	3	0,1 - 0,2

Fonte: MAPA, 2006.

É importante ressaltar também as potencialidades dos cultivos das oleaginosas de acordo com as regiões brasileiras, conforme apresenta a Tabela 2.11.

Tabela 2.11 – Potencialidades de Oleaginosas Brasileiras por Região

Região	Oleaginosas
Norte	Dendê; Babaçu e Soja (TO; PA; RO)
Centro-Oeste	Soja; Algodão; Girassol; Nabo e Mamona
Sul	Colza; Soja; Girassol; Algodão
Nordeste	Mamona; Babaçu; Dendê (BA); Algodão; Pinhão e Coco
Sudeste	Soja; Mamona; Pinhão; Algodão; Girassol

Fonte: KHALILI, 2006.

A soja e o algodão são bem representativos quanto à adaptabilidade em praticamente todas as regiões brasileiras. O dendê, que representa uma das oleaginosas de maior rendimento de óleo por área, tem seu desenvolvimento otimizado em áreas da Bahia e no Norte do Brasil.

2.4. A Cultura da Palma

No Brasil, a cultura da palma foi introduzida pelos escravos no século XVI. As sementes foram plantadas no litoral e recôncavo baiano, onde encontraram as condições de solo e clima para o seu desenvolvimento. Durante séculos foi cultivado somente para atender às necessidades da culinária regional.

A cultura da palma (ou dendê) constitui-se de palmeiras de cultivo perene. Por não apresentar safras sazonais, a oleaginosa beneficia a fixação da mão-de-obra e minimiza os problemas de erosão. (SUDAM, 2000)

As palmeiras são da espécie Elaeis guineensis, propícias para se desenvolver em trópicos úmidos, faixas de terra que se estendem 10º ao Norte e 10º ao Sul da linha do Equador, com muita luminosidade, clima quente, com

médias de temperatura de no mínimo 25° C, além de 2000 mm de chuvas bem distribuídas durante todo o ano.

O cultivo do dendê começa a produzir frutos a partir de 2 a 3 anos e tem uma vida econômica entre vinte e cinco a trinta anos. Após este período, a coleta dos frutos torna-se muito custosa devido à altura das palmeiras. O rendimento médio encontrado na literatura para a produção de óleo da cultura é de 5 toneladas de óleo por hectare anuais.

O óleo de palma, principal produto da cultura, tem sua maior utilização no setor alimentício. Ele possui proporções aproximadamente iguais de ácidos graxos saturados e insaturados, e deveria ser classificado como uma gordura saturada e insaturada ao mesmo tempo. Este óleo tem características de baixar o colesterol total e o mau colesterol (LDL) do sangue e elevar o bom colesterol (HDL), e ainda é isento de ácidos graxos trans, maléficos ao organismo. (AGROPALMA, 2007)

O óleo de palma é rico em vitamina A, além de ser a maior fonte conhecida de tocotrienóis, tipo de vitamina E que ajuda a reduzir o colesterol circulante no organismo. Estudos revelam ainda que os tocotrienóis do óleo de palma apresentam efeitos anticancerígenos. (AGROPALMA, 2007)

Algumas outras aplicações do óleo de palma estão na produção de alimentos para animais, ácidos graxos, ésteres metálicos, sabões, velas, lubrificantes e laminação de aço. Pode ser também um substituto para o óleo diesel. (SUDAM, 2000)

A Tabela 2.12 indica a produção de óleo de palma no mundo, bem como seus maiores produtores.

Tabela 2.12 – Produção de óleo de palma no mundo

	Produção de Óleo de Palma (milhões de ton)			
	2004/05	**2005/06**	**2006/07**	**2007/08**
Indonésia	13,56	15,56	16,6	18,3
Malásia	15,194	15,485	15,29	17,7
Tailândia	820	784	1,17	1,05
Colômbia	647	690	770	830
Nigéria	790	800	810	820
Outros	2,509	2,652	2,697	2,722
Total	**33,52**	**35,971**	**37,337**	**41,422**

Fonte: FAS, USDA, 2008.
Nota: Os anos são considerados de outubro a setembro, exceto para a Tailândia, que considera de janeiro a dezembro.

A cultura do dendezeiro é, provavelmente, a de maior potencial de crescimento no mundo dentre as culturas de significado econômico. Atualmente, a Malásia e a Indonésia produzem aproximadamente 87% do total de óleo de palma mundial (FAS USDA, 2008).

O Brasil é o sétimo produtor de óleo de palma do mundo e o terceiro da América Latina, onde destacam-se a Colômbia, em primeiro e o Equador, em segundo lugar. A participação do Brasil na produção mundial de óleo de palma tem sido de cerca de 0,5%, com destaque para o estado do Pará, que conta com cerca de 85% da produção nacional.

Apesar da tendência de crescimento do dendê pelo mundo e das informações disponíveis que indicam a Amazônia com condições naturais favorecidas para a oleicultura do dendê, sua expansão tem sido incipiente e tem apresentado reduzido interesse por parte dos empreendedores brasileiros. A Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) aponta como fatores repressores: as limitações geradas pela legislação ambiental, pela limitada capacidade financeira e institucional da pesquisa, necessárias à cultura do dendê e a ausência de um zoneamento agroeconômico e ecológico (CONAB, 2006).

Em relação ao óleo de soja, 2º óleo vegetal mais comercializado no mundo, o óleo de palma tem um rendimento médio de aproximadamente dez

vezes maior embora a cultura da palma tenha uma área plantada no mundo de quase dez vezes menor do que a soja. Marzullo (2007) compara[8] as duas culturas e conclui que a palma é mais vantajosa nos critérios de consumo de recursos energéticos, uso da terra, consumo de recursos naturais e potencial de toxicidade; enquanto a soja é preferível quanto à formação de rejeitos e potencial de riscos. (MARZULLO, 2007)

É importante destacar que é também possível se obter da palma o óleo de palmiste, proveniente da amêndoa da palma. O óleo de palmiste tem aplicação como óleo de cozinha, mas principalmente na indústria de cosméticos.

A Tabela 2.13 reúne algumas das vantagens e desvantagens para o uso do óleo de palma, em relação às outras oleaginosas:

Tabela 2.13 – Vantagens e Desvantagens do Uso do Óleo de Palma em Relação às Outras Oleaginosas

Vantagens	Desvantagens
Alto rendimento.	Longo tempo para a primeira colheita, a partir de 3 anos.
O cultivo é perene com longa vida econômica, de até 30 anos.	As restrições climáticas para o plantio.
A colheita é manual, o que oferece vantagem social através da criação de empregos.	As restrições para o aproveitamento do solo para outras atividades.
Baixo custo.	Baixo ponto de solidificação.

Fonte: Elaboração Própria

A dendeicultura, no Brasil, tem maior espaço para crescimento na região Norte pelas condições climáticas. Em muitas comunidades desta região não há energia elétrica devido à falta de fornecimento de óleo diesel, principal combustível da região, para atender aos geradores locais. É importante destacar que o custo do transporte do diesel nessas localidades pode chegar a até quatro vezes o valor médio do diesel em outros estados brasileiros. A

[8] Esta comparação é feita por meio da ferramenta de Análise de Ecoeficiência desenvolvida pela empresa BASF.

palma, portanto, representa uma oportunidade de produção de combustível, para veículos e motores estacionários, próxima aos consumidores locais, o que facilita a distribuição e, potencialmente, reduz os custos. (PERES, BELTRÃO, 2006)

O MAPA informa que a região Norte do Brasil dispõe de mais de 5 milhões de hectares desmatados com aptidão para a cultura da palma. Esta região, que tem elevada dependência de óleo diesel, possui somente uma empresa registrada produtora de biodiesel, a Agropalma, grande produtora de óleo de palma. (MAPA, 2006)

Capítulo 3

DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS DE PRODUÇÃO

Este capítulo tem por objetivo detalhar os processos de produção dos produtos da dendeicultura e do biodiesel.

Primeiramente, será descrita a cadeia produtiva da cultura da palma, desde a plantação no campo até o refino do óleo bruto, onde se obtém o óleo de palma e os ácidos graxos, matéria-prima desejada neste trabalho para a produção do biodiesel.

Em seguida, serão resumidos os principais processos de produção do biodiesel existentes atualmente: a transesterificação, a esterificação e a hidroesterificação.

3.1. Etapas da Cadeia Produtiva da Cultura da Palma

Este tópico informa sobre a cadeia produtiva da cultura da palma, com base nos processos praticados pela empresa Agropalma (AGROPALMA, 2007).

3.1.1. A Plantação

A produção do óleo de palma, principal produto da cultura da palma, começa com a aquisição de sementes pré-germinadas. As sementes são plantadas e tratadas em pré-viveiros por no mínimo três meses. As mudas são, então, transferidas para viveiros, onde permanecem por mais doze meses. Após este período, a planta já possui aproximadamente 1 metro de altura e é transferida para o campo.

Figura 3.1 – Foto de uma plantação de palma

Fonte: MPOC, 2008.

3.1.2. Colheita e Transporte de Frutos

Apesar das palmeiras de dendê produzirem frutos o ano inteiro, existem alguns períodos de baixa e alta produção. É importante que seja feita uma boa observação do amadurecimento ideal dos frutos, para otimizar a produção do óleo. Cada cacho de frutos pesa entre 10 kg e 20 kg e possui mais de 2.000 frutos. O amadurecimento ótimo pode ser verificado com a perda de 5 a 10 frutos do cacho.

Para plantas menores, mais novas, é utilizado o sacho para a retirada dos cachos, enquanto nas maiores palmeiras utiliza-se a foice. Os frutos são, em seguida, transportados em caixas de metal para o local onde ocorre a extração do óleo.

Figura 3.2 – Foto de um cacho de frutos frescos de palma

Fonte: MPOC, 2008.

3.1.3. Extração

Os cachos de frutos frescos (CFF) devem ser processados no mesmo dia do seu recolhimento, devido à presença da água e da atividade enzimática contida neles. O teor de ácidos graxos livres do óleo de palma está relacionado com o tempo em que os frutos são processados e a quantidade de frutos danificados.

Figura 3.3 – Foto de um fruto de palma cortado

Fonte: MPOC, 2008.

Dos frutos da palma são extraídos o óleo de palma, presente no mesocarpo dos mesmos, e o óleo de palmiste, das amêndoas. A Tabela 3.1 informa sobre a composição aproximada dos produtos da extração dos CFF.

Tabela 3.1 – Produtos da extração dos CFF

Cachos vazios	22%
Óleo de palma	20%
Óleo de palmiste	2,50%
Torta de palmiste	3,50%
Fibras, cascas, efluentes	52%

Fonte: MARZULLO, 2007.

A extração pode ser segmentada de acordo com as seguintes etapas:

- Esterilização: os cachos são cozidos com vapor direto a 2,5 a 3 kg / cm^2 de pressão. Esta etapa visa inativar as enzimas, facilitar o desprendimento dos frutos dos cachos, amolecer os frutos e facilitar a separação das amêndoas da polpa e a coagulação das proteínas.

- Debulhamento: consiste no processo de soltar os frutos dos cachos, através da centrifugação exercida no debulhador.

- Digestão e Prensagem: a digestão tem como finalidade o rompimento do mesocarpo dos frutos, quebrando as células oleosas, de modo a facilitar a extração do óleo. Esta etapa é feita em um digestor, com vapor indireto, a uma temperatura de 90ºC a 100ºC, por 30 minutos. A prensagem, logo após a digestão, é feita continuamente e resulta em um líquido que consiste de 53% de óleo, 7% de sólidos, 40% de fase aquosa e torta contendo fibra dos frutos e amêndoas.

- Clarificação e Purificação: a clarificação tem por fim a separação do óleo das impurezas, e é realizada em tanques de decantação e centrífuga. O óleo obtido é posteriormente purificado em centrífugas a vácuo.

- Recuperação das amêndoas: a primeira etapa é o desfibramento, que é feito pneumaticamente. As nozes separadas das fibras passam por um cilindro polidor para remoção das fibras aderidas às nozes. As nozes são quebradas e as cascas separadas das amêndoas em mesa gravimétrica. As amêndoas são secas por ar quente e o óleo de palmiste é extraído por prensagem.

- Perdas na extração de óleo: os cachos vazios e os sólidos da clarificação são utilizados para compostagem para uso como adubo orgânico na plantação de palma. As cascas das amêndoas são usadas como combustível nas caldeiras das usinas, que geram eletricidade através de uma turbina a vapor.

3.1.4. Refino

O refino do óleo bruto de palma tem por objetivo eliminar os compostos que possuem efeitos indesejáveis na estabilidade, sabor, odor e cor do produto.

A primeira etapa do refino é a degomagem, onde é adicionada uma solução aquosa de ácido cítrico para remover fosfatídeos e metais.

Posteriormente, o óleo é submetido a um branqueamento. Nesta etapa é adicionada terra branqueante natural para adsorção das impurezas obtidas pela etapa de degomagem. Após o contato com a terra, o óleo é filtrado para remoção da torta, que será utilizada também como adubo orgânico.

A última etapa do refino é a desodorização, onde ocorre a remoção dos ácidos graxos livres, prejudiciais ao sabor do óleo refinado. O equipamento para a desodorização / desacidificação é o desodorizador de coluna empacotada. Esta etapa deve manter a maior parte dos tocoferois e tocotrienóis presentes no óleo bruto.

Após estas etapas, obtém-se o óleo de palma refinado (*RBD palm oil – Refined Bleached Deodorized* – Refinado, Branqueado e desodorizado), recolhido pelo fundo da coluna.

O ácido graxo da palma é removido pelo topo junto com água, tocoferol (vitamina E), betacaroteno (vitamina A), glicerol, monoglicerídeos, diglicerídeos e triglicerídeos. Estes componentes são denominados como borra ácida e constituem um rejeito do óleo de palma refinado. (RODRIGUES, 2005)

3.2. Tecnologias de Produção de Biodiesel

3.2.1. Transesterificação

A transesterificação é o processo mais utilizado atualmente para a obtenção do biodiesel. Quimicamente, trata-se da reação de um éster e um álcool gerando outro éster e outro álcool:

Éster 1 + Álcool 1 ➔ Éster 2 + Álcool 2

O éster 1 é composto pelos triglicerídeos, formados por três cadeias de ácidos graxos; o álcool 1 é geralmente metanol ou etanol; o éster 2 é o biodiesel produzido, que pode ser metílico ou etílico dependendo do reagente; e o álcool 2 é o glicerol.

A empresa Tecbio relaciona algumas características dos principais alcoóis utilizados na transesterificação.

Tabela 3.2 – Comparação das rotas metílica e etílica

Quantidades e Condições Usuais Médias Aproximadas	Rotas de Processo	
	Metílica	Etílica
Quantidade Consumida de Álcool por 1.000 litros de biodiesel	90 kg	130 kg
Excesso Recomendado de álcool recuperável, por destilação, após reação	100 %	650%
Temperatura Recomendada de Reação	60ºC	85ºC
Tempo de Reação	45 min	90 min

Fonte: TECBIO, 2008.

Apesar das notáveis vantagens da rota metílica frente à etílica, deve-se considerar a grande oferta de etanol no Brasil, líder mundial na produção do álcool. Além do país não ser auto-suficiente em metanol, este álcool é obtido por combustíveis fósseis, majoritariamente pelo gás natural, o que evidencia uma desvantagem ambiental em relação ao etanol.

Quanto aos catalisadores da reação de transesterificação, pode-se citar os ácidos (HCl, H_2SO_4 e HSO_3-R), básicos (NaOH, KOH, carbonatos ou alcóxidos). Há ainda a possibilidade de se utilizar catálise enzimática ou heterogênea, que otimizaria a separação dos catalisadores, bem como a recuperação do glicerol e a purificação dos ésteres. (RODRIGUES, 2005)

Rodrigues (2005) comparou os diferentes tipos de catalisadores possíveis na transesterificação e confrontou as catálises homogêneas para a produção de biodiesel:

Tabela 3.3 – Catálise básica X catálise ácida na obtenção de biodiesel por transesterificação

Fatores	Catálise Básica	Catálise Ácida
Temperatura de Reação	60 - 70ºC	70 - 100ºC
Ácidos Graxos Livres na Matéria-Prima	Produção de sabão	Produção de ésteres
Presença de Água nas matérias-primas	Interfere na reação, favorece a saponificação	Alguma formação de ácidos carboxílicos
Rendimento de Ésteres Metílicos	Alto (~98%)	Alto (~99%)
Razão Álcool/Óleo	6:1	30:1
Recuperação do Glicerol	Difícil devido à presença do catalisador	O excesso de álcool dificulta a recuperação
Purificação dos Ésteres Metílicos	Repetidas lavagens, e tratamento da água de lavagem	Repetidas lavagens, e tratamento da água de lavagem
Custo do Catalisador	Baixo	Baixo
Tempo de Reação	Curto (< 2,5 h)	3 - 50 h

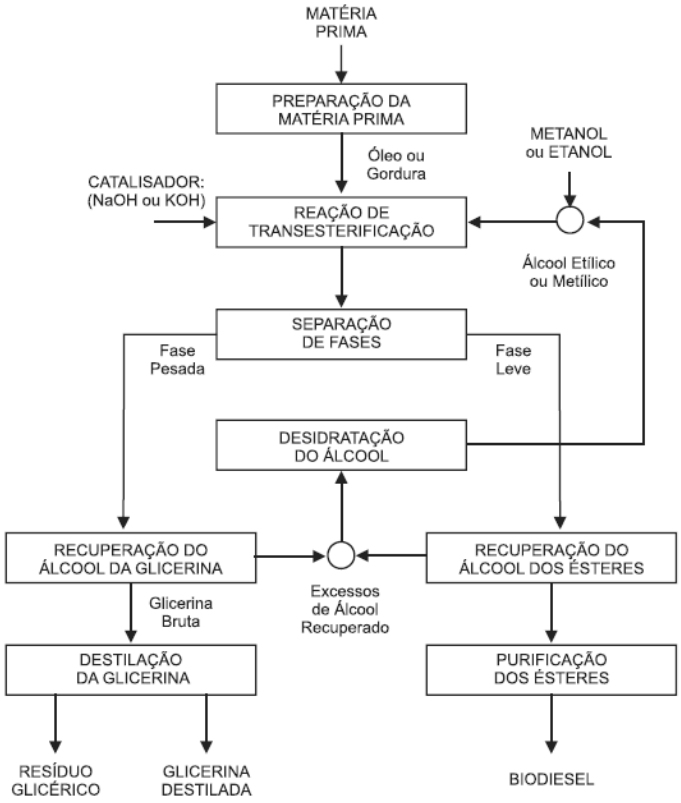
Fonte: RODRIGUES, 2005.

A catálise básica, no entanto, atende pela grande maioria dos processos de produção de biodiesel. Algumas restrições operacionais da transesterificação alcalina são: o excesso de álcool, para deslocar a reação no sentido da formação do biodiesel; o baixo índice de acidez livre do triglicerídeo; e a ausência de umidade da reação química. Os dois últimos pontos tornam a reação propensa à formação de sabões. (KHALIL, 2006)

Algumas vantagens apontadas para a catálise alcalina, quando comparada com a catálise ácida, são a obtenção de maiores rendimentos e seletividades e ainda apresentar menos problemas em relação à corrosão de equipamentos. (ENCARNAÇÃO, 2008)

A Figura 3.4 mostra o esquema para a transesterificação alcalina:

Figura 3.4 – Etapas operacionais do processo de produção de biodiesel por transesterificação alcalina



Fonte: ENCARNAÇÃO, 2008.

Após a reação, são formadas duas fases: a de maior densidade, constituída de glicerina bruta mais excessos de álcool, água e impurezas; enquanto a mais leve é formada pelo biodiesel, metílico ou etílico, mais álcool e impurezas. Em ambas as fases, deve-se evaporar os compostos mais voláteis de maneira a separar a glicerina e o biodiesel destes elementos. Os excessos

de álcool devem ser destilados para uma desidratação enquanto os ésteres (biodiesel) devem passar por etapas de centrifugação e desumidificação. (PARENTE, 2006)

3.2.2. Esterificação

A reação de esterificação tem como reagentes um ácido e um álcool e gera um éster e água como produtos. Para a produção de biodiesel, emprega-se os ácidos graxos provenientes de resíduos da extração de óleos vegetais e o metanol ou o etanol para formar o éster metílico ou etílico (biodiesel):

Ácido Graxo + Álcool ➔ Éster + Água

São vantagens da esterificação em relação à transesterificação o menor custo associado à matéria-prima e a possibilidade de realização do processo em pressão atmosférica e em temperaturas mais baixas.

Para a esterificação torna-se inviável a catálise básica, visto que a matéria-prima ácida favoreceria a produção de sabões. Ácidos fortes como o ácido sulfúrico e o ácido fosfórico, ou ainda catalisadores metálicos, são os catalisadores mais utilizados na esterificação. (RODRIGUES, 2005)

3.2.3. Hidroesterificação

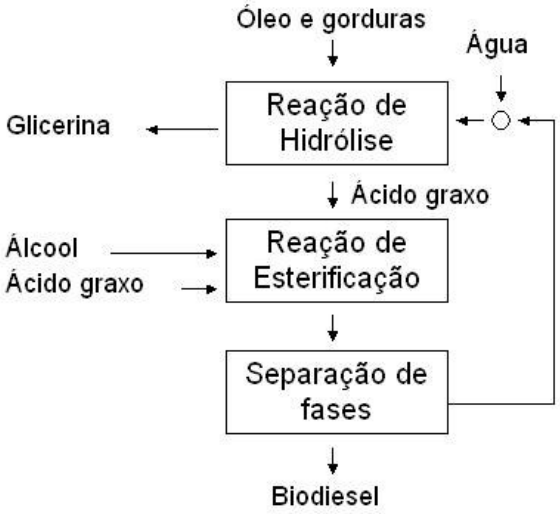
O processo de hidroesterificação conta com uma etapa de hidrólise do óleo bruto para uma posterior esterificação. O objetivo deste processo é a maximização dos ácidos graxos livres da oleaginosa para a esterificação.

A grande vantagem do processo de hidroesterificação, quando comparado ao de transesterificação, é a possibilidade do uso de qualquer matéria-prima graxa (gordura animal, óleo vegetal, óleo de fritura usado, borras

ácidas, etc), independente do grau de acidez e de umidade que possuem. (ENCARNAÇÃO, 2008)

A Figura 3.5 ilustra as etapas do processo da hidroesterificação.

Figura 3.5 – Etapas Operacionais do Processo de Produção de Biodiesel por Hidroesterificação



Fonte: ENCARNAÇÃO, 2008.

Capítulo 4

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

Esta sessão aborda a metodologia utilizada e os resultados da avaliação do ciclo de vida de dois produtos, o biodiesel produzido a partir da borra ácida da palma e o biodiesel produzido a partir do POME (*Palm Oil Mill Effluent)* gerado no processo de extração do óleo de palma.

A escolha destas matérias-primas se deve ao fato delas serem historicamente tratadas como rejeito na indústria da palma. Com base nas metodologias de MDL aprovadas até o presente momento, a substituição de diesel de petróleo por biodiesel só é possível se o biocombustível for produzido a partir de rejeitos[9]. Este fato é de extrema importância para o capítulo 5, onde serão contabilizados créditos de carbono para três projetos de reduções de emissões de GEE.

De modo a quantificar o benefício econômico gerado pelos créditos de carbono, é preciso comparar o diesel de petróleo ao biodiesel obtido pelos processos escolhidos. Para tal comparação, é necessário avaliar com maior acurácia as emissões provenientes dos produtos, e é esta a motivação para se avaliar o ciclo de vida dos mesmos.

Deve-se lembrar que a quantidade alvo dos dois tipos de biodiesel a serem avaliados é referente à utilização de 50 mil hectares de plantação de dendê.

É importante ressaltar também que o metanol foi escolhido o álcool necessário à produção do biodiesel por ser de origem fóssil, logo,

[9] Essa afirmação é relacionada à metodologia aprovada de MDL de número AM0047, que será apresentada no capítulo 5. A verificação das metodologias se deu até setembro de 2008.

potencialmente mais emissor de GEE do que o etanol, de origem renovável. Portanto, os resultados obtidos neste capítulo são conservadores em relação à escolha do emprego do etanol como matéria-prima do biodiesel.

Os cálculos para a obtenção das massas molares do óleo de palma, FFA e do biodiesel metílico de palma são importantes para alguns rendimentos a serem utilizados nos tópicos seguintes. Estes cálculos consideram a composição dos ácidos graxos presentes na oleaginosa.

Tabela 4.1 – Composição média dos ácidos graxos do óleo de palma

Ácido Graxo	Nº Carbonos	%
Láurico	12	1,1
Mirístico	14	1,0
Palmítico	**16**	**40,7**
Esteárico	18	5,0
Oléico	**18 (I)[(i)]**	**42,0**
Linoléico	18 (II)	10,2

Fonte: Grimaldi et. al, 2005.
(i) Os números entre parênteses representam o número de insaturações das cadeias.

De acordo com a Tabela 4.1, os ácidos palmítico e oléico representam mais de 80% do total de ácidos graxos existentes no óleo de palma. Portanto, eles constituem a amostra responsável para os cálculos das massas molares dos produtos da palma. A Tabela 4.2 reúne as massas molares consideradas para a determinação dos rendimentos.

Tabela 4.2 – Massas molares consideradas para os rendimentos (g / mol)

Massas molares consideradas para os rendimentos (g / mol)	
Ácido Palmítico	256
Ácido Oleico	282
Média FFA de palma	269,20
Triglicerídeo palmítico	851
Triglicerídeo oleico	929
Média óleo de palma	890,6
Biodiesel metílico palmítico	284
Biodiesel metílico oleico	310
Média biodiesel metílico de palma	297,2
Metanol	32

Fonte: Elaboração própria

O capítulo inicia-se com uma introdução ao ciclo de vida, depois sugere uma metodologia utilizada para a avaliação do ciclo de vida do primeiro produto, que servirá como base para o segundo, e apresenta seus resultados obtidos.

4.1. Introdução à Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

A Análise (ou Avaliação) do Ciclo de Vida (ACV) de um produto ou processo é uma técnica de gestão que permite quantificar os fluxos de massa, energia e de emissões, avaliando os aspectos ambientais e impactos potenciais provenientes de sua cadeia produtiva.

Essa análise, também conhecida como análise "do berço ao túmulo", é baseada em normas de Gestão Ambiental, referentes à série ISO 14000. As normas específicas que englobam o conceito da análise do ciclo de vida, bem como suas descrições, estão dispostas na Tabela 4.3:

Tabela 4.3 – Normas da família ISO 14040 – Avaliação do Ciclo de Vida

Normas	Descrição
ISO 14040(i)	Princípios e estrutura
ISO 14041(ii)	Definição de Objetivo e Escopo e análise de inventário
ISO 14042(ii)	Avaliação do impacto do ciclo de vida
ISO 14043(ii)	Interpretação do ciclo de vida

Fonte: ABNT (2008)
(i) Está sendo revisada em função da nova edição da ISO de 2008.
(ii) Estas normas serão canceladas e substituídas pelas novas edições de 2008 das ISO 14040 e 14044.

As normas da família ISO 14040 detalham uma metodologia bastante complexa para a ACV de um produto. De uma maneira prática, pode-se estruturar a avaliação de um ciclo de vida em três etapas:

1) Definição dos objetivos e limites do estudo.
2) Elaboração de um inventário de entradas e saídas do sistema.
3) Avaliação do impacto ambiental causado pela quantificação das emissões analisadas. Interpretação dos resultados e identificação das possíveis melhorias.

Camargo (2007) atenta para as limitações da utilização da ACV, tais como: a subjetividade das escolhas, suposições e limites do estudo; a limitação das hipóteses previamente admitidas pelos modelos utilizados; a possibilidade de não adequação de cenários globais ou regionais em aplicações locais; além das dificuldades na coleta de dados, que requerem uma manipulação complexa, tempo e recursos financeiros consideráveis.

É importante destacar que existem algumas bases de dados internacionais para a ACV de diversos produtos, entretanto, sempre que possível é preferível adotar valores referentes ao país onde o projeto de estudo está localizado. Isto porque existem significativas diferenças de um país para outro em relação à dependência externa, fontes energéticas e processos utilizados, entre outros fatores.

4.2. Metodologia Utilizada para a ACV do Biodiesel Metílico Produzido a partir da Borra Ácida da Palma

O objetivo desta etapa do trabalho é indicar os dados e cálculos necessários à avaliação do ciclo de vida do biodiesel de palma, produzido pelo processo de esterificação metílica de sua borra ácida, focada apenas no balanço das emissões atmosféricas causadoras do efeito estufa.

Um balanço completo das emissões de GEE da produção de um biocombustível fornece informações próximas da realidade do benefício ambiental gerado para o aquecimento global ao utilizá-lo em substituição ao combustível fóssil correspondente.

Quirin et. al. (2004) consideram a energia demandada e as emissões de GEE pelos biocombustíveis da produção ao tanque[10] como estando presentes:

[10] Este estudo é focado na utilização de combustíveis apenas para o setor de transportes, daí a menção ao termo “tanque”. Independentemente do uso final do biocombustível, as etapas listadas estão presentes em sua cadeia produtiva.

- Na agricultura, especialmente pelos fertilizantes nitrogenados e pela utilização de óleo diesel para o manejo das terras;
- No transporte de produtos agrícolas;
- Nos processos de conversão dos biocombustíveis;
- Nos créditos relativos aos co-produtos;
- E na distribuição do biocombustível.

De forma a tentar englobar todas as possíveis etapas da cadeia produtiva do biocombustível, deve-se ainda adicionar aos itens anteriores a utilização final do combustível e a gestão de resíduos gerados.

Para a ACV dos biocombustíveis e produtos agrícolas em geral, é preciso destacar a importância da aplicação dos fertilizantes nitrogenados, que apresentaram um crescimento bastante acelerado nas últimas décadas e é considerada uma fonte antrópica de grande contribuição para o aumento do efeito estufa global.

A FAO (2001) estima que, em média, as plantas consigam absorver apenas 50% dos fertilizantes nitrogenados aplicados nos campos, e ressalta a importância de quantificar suas emissões, para melhorar a eficiência bem como para diminuir os efeitos danosos ao meio ambiente.

Para efeito de comparação com a média, sabe-se que a empresa Agropalma, referência na produção da cultura da palma no Brasil, obtém hoje um aproveitamento em relação ao uso de fertilizantes de cerca de 70%. (AGROPALMA, 2008)

São considerados os gases do efeito estufa relevantes para o setor de energia o CO_2, o CH_4 e o N_2O. A agricultura, outra área de envolvimento do trabalho, engloba o CH_4 e o N_2O como gases de maior participação para o efeito estufa; enquanto as atividades de florestamento e reflorestamento são responsáveis apenas pelo seqüestro de CO_2. (CASTRO, 2007)

Portanto, adotou-se contabilizar para este estudo as quantidades emitidas dos gases CO_2, CH_4 e N_2O, correspondentes aos GEE relevantes para o setor de energia.

Para a ACV do produto de estudo, foram utilizadas as seguintes premissas:

- O carbono emitido pela queima do biodiesel nos motores (referente à etapa de utilização final do combustível) é renovável por ser proveniente de biomassa.[11]
- As emissões na produção das matérias-primas são obtidas por dados da literatura;
- A unidade de extração do óleo de palma bruto é localizada muito próxima à unidade de produção de biodiesel[12] (onde são englobadas as etapas de refino e esterificação dos ácidos graxos).
- A energia elétrica é a única utilidade significativa responsável por emissões na produção de biodiesel;
- As emissões provenientes de catalisadores e outros insumos são desconsideradas;
- As emissões da distribuição do biodiesel aos locais de consumo são desconsideradas.

A escolha das premissas mencionadas não distancia muito o resultado da ACV da realidade, já que o objetivo é estimar apenas o impacto em relação ao aquecimento global. As restrições nelas consideradas fazem parte das limitações existentes em qualquer ACV.

Para determinar as quantidades geradas de produtos no processo escolhido, foram utilizados os dados que seguem. O rendimento de CPO, em relação à área, vai de encontro com a média dos valores observados na

[11] Essa premissa negligencia a presença do carbono de origem fóssil (metílica) no éster.
[12] Essa condição anula a necessidade de contabilização das emissões do transporte do CPO até a unidade de produção de biodiesel.

literatura. Para a obtenção das relações dos produtos do refino do CPO, utilizou-se dados de balanço de massa obtidos pelo Greentec (2008). Para as relações advindas das reações de produção de biodiesel, foram utilizadas as razões molares existentes entre os componentes, que podem ser verificadas na Tabela 4.2, exceto para o metanol, onde o valor foi retirado de dados operacionais do Greentec (2008).

Finalmente, a Tabela 4.4 apresenta as relações utilizadas e a determinação das quantidades geradas de produtos no refino do CPO e na esterificação dos FFA. A tabela informa, ainda, a quantidade obtida de óleo refinado[13], que tem valores comerciais altos para a indústria.

Tabela 4.4 – Relações utilizadas e a determinação das quantidades geradas de produtos

Rendimentos utilizados para a determinação das quantidades finais produzidas	
Rendimento de CPO (ton / ha / ano)	5
Rendimento de Óleo Refinado / CPO	0,94
Rendimento de FFA / CPO	0,06
Produção de Biodiesel / FFA	1,1
Produção de Biodiesel / Metanol	8,06
Produção de Óleo Refinado (ton)	235.000
Produção de Biodiesel (ton)	16.500

Fonte: Elaboração própria com base em dados do Greentec (2008).

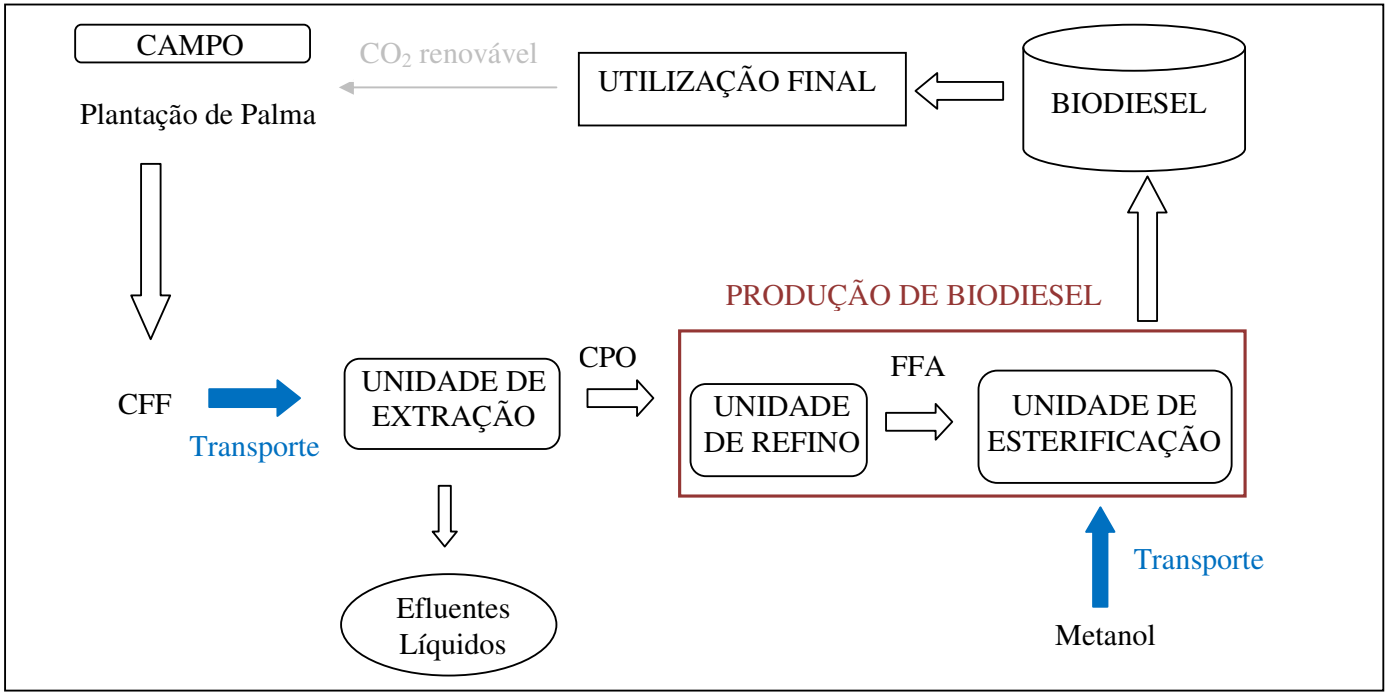
A ACV realizada visa, portanto, estimar a contribuição para o problema do aquecimento global das 16.500 toneladas anuais produzidas de biodiesel metílico esterificado de palma.

A construção do inventário das emissões atmosféricas causadoras do efeito estufa será segmentada de acordo com as etapas avaliadas da cadeia produtiva do produto, na seguinte ordem: produção das matérias-primas; transporte das matérias-primas; produção do biodiesel; e geração dos efluentes

[13] Não será feita nenhuma análise para o óleo refinado, porém, é preciso relatar os valores de produção do mesmo, já que o enfoque de uma empresa que realiza a esterificação da borra ácida de palma é a comercialização do óleo de palma refinado.

líquidos. A Figura 4.1 ilustra o esquema das etapas utilizadas para a obtenção deste inventário.

Figura 4.1 – Esquema das etapas da cadeia produtiva do biodiesel metílico produzido a partir da borra ácida da palma



Fonte: Elaboração Própria.

4.2.1. Produção das Matérias-Primas

Os dados das emissões da produção do óleo de palma bruto (CPO) foram obtidos de Marzullo (2007), onde é feito um inventário completo para a produção do óleo de palma, a fim de compará-lo com o óleo de soja. O estudo foi elaborado a partir das três etapas principais da cadeia produtiva da cultura da palma: o subsistema agrícola, onde acontece o plantio e tratamento da cultura no campo; o subsistema de transporte, etapa referente ao deslocamento dos CFF (Cachos de Frutos Frescos) produzidos no campo à unidade de extração do óleo; e subsistema de extração, onde o óleo de palma bruto é extraído dos CFF.

Ao somar as etapas, foram obtidos valores para a produção de 1 tonelada de CPO, acrescido dos co-produtos óleo de palmiste e torta de palmiste. Na Tabela 3.1 verificou-se que a partir dos CFF, são gerados 22% de CPO; 2,5% de óleo de palmiste; e 3,5% de torta de palmiste. Portanto, utilizou-se essas relações para informar apenas a contribuição referente ao CPO[22].

Para a contribuição apenas do FFA é utilizada a relação de que 1 tonelada de CPO origina 0,06 toneladas de FFA. Esta relação oferece a contribuição das emissões da matéria-prima oleaginosa efetiva para a produção do biodiesel esterificado. (GREENTEC, 2008)

Os dados da produção do metanol foram extraídos de Camargo (2007), que considerou o cenário brasileiro para a produção do álcool. O estudo admite as condições de produção das empresas GPC Química (Ex-Prosint Química), do Rio de Janeiro, e Metanor, de Camaçari.

[22] Este procedimento é equivalente ao desconto das emissões referentes aos co-produtos.

Tabela 4.5 – Dados utilizados para as emissões das matérias-primas

Matérias-primas	Valores para os GEE			Unidade
	CO_2	CH_4	N_2O	
Metanol	1,54E+03	8,70E+00	-	kg/ ton metanol
CPO	7,80E+02	2,25E-01	4,27E-01	kg / ton CPO

Fonte: Camargo (2007) e adaptação de Marzullo (2007).

4.2.2. Transporte das Matérias-Primas

Na etapa de distribuição das matérias-primas, apenas a distribuição do metanol foi abordada, já que a borra ácida da palma é obtida em local próximo ao da produção do biodiesel. Por coerência, deve-se adotar que o destino do metanol tem a mesma localização da unidade de extração do óleo de palma.

Marzullo (2007) considerou, para efeito de localização, os dados pertinentes ao Grupo Agropalma, cujas unidades de extração estão situadas nos municípios de Tailândia, Moju e Acará.

O metanol utilizado é produzido na empresa Metanor, responsável pelo abastecimento do álcool nas regiões Norte e Nordeste. A empresa é localizada em Camaçari/BA e a distribuição do produto é feita pelo modal rodoviário.

A Tabela 4.6 apresenta as distâncias estimadas de Camaçari até as cidades paraenses.

Tabela 4.6 – Distâncias estimadas de Camaçari - BA ate as cidades paraenses

Distâncias estimadas até Camaçari - BA	
Acará - PA	2080 km
Moju - PA	2050 km
Tailândia - PA	2175 km
Média total	**2100 km**

Fonte: Elaboração própria com base em dados de Marzullo (2007).

É preciso dobrar o valor da média total da distância entre o local de produção do metanol e o da utilização dele como matéria-prima, pelo fato das

carretas terem que realizar aproximadamente o mesmo trajeto na ida e na volta.

Outros dados relevantes estão contidos na Tabela 4.7, que tem como base a quantidade de metanol necessária para a produção de 16.500 toneladas anuais de biodiesel.

Tabela 4.7 – Dados estimados e calculados para o transporte de metanol por ano

Dado	Valores	Unidades
Quantidade de metanol	2046	ton / ano
Densidade do metanol	0,7918	g / cm^3
Quantidade de metanol	2583985,86	litros / ano
Capacidade média das carretas	30000	litros
Número de carretas	87	unidades / ano
Distância percorrida pelas carretas	4200	km
Consumo de diesel na carreta	2,5	km / L
Consumo total de diesel	146383,208	litros / ano
Emissões para a produção de diesel(i)	0,3449	kg CO_2eq / kg diesel
Emissões para a queima do diesel(i)	3,146	kg CO_2eq / kg diesel
Densidade do diesel	0,845	g / cm^3

Fonte: Elaboração própria.
(i) Fonte: Mendonça (2007).

4.2.3. Produção do Biodiesel

As utilidades mais utilizadas na produção de biodiesel são o vapor e a energia elétrica. O vapor, como mencionado no capítulo anterior, é gerado em excesso na extração do CPO, sendo possível seu aproveitamento na produção do biocombustível.

Por isso, a energia elétrica consumida no processo de produção do biodiesel é a única fonte emissora de GEE contabilizada. Os dados para as emissões desta utilidade são provenientes de Coltro et. al (2003), que consideram o cenário de produção, importação e distribuição de energia elétrica no Brasil.

Tabela 4.8 – Dados utilizados para as emissões da energia elétrica

GEE	Valor	Unidade
CO_2	17,832	g / GJ
CH_4	54,8	g / GJ
N_2O	10,99	g / GJ

Fonte: Coltro et al (2003)

Como a região Norte do Brasil consome energia elétrica produzida quase que integralmente por termelétricas, os valores utilizados neste item são conservadores, por retratarem a média brasileira.

4.2.4. Efluentes Líquidos (POME)

Os efluentes líquidos da indústria da palma (POME) são gerados em larga escala no processo de extração do CPO dos cachos dos frutos.

O POME constitui um problema não só físico, pelo grande volume ocupado, mas principalmente ambiental, visto que é uma fonte emissora de biogás, que contém altos índices de metano.

A metodologia utilizada para a quantificação das emissões do POME segue o modelo utilizado por PREGA (2004):

Emissões de CH_4 (ton CO_2eq / ano) = produção de CPO (ton) * rendimento de POME na extração de CPO (m^3 / ton) * rendimento do biogás (m^3 / m^3) * fração de CH_4 no biogás (m^3 / m^3) * densidade do CH_4 (ton / m^3) * GWP (CH_4)

Os dados referentes às emissões de GEE pelos efluentes líquidos da palma estão dispostos na Tabela 4.9:

Tabela 4.9 - Dados utilizados para as emissões dos efluentes líquidos da palma

Dados	Valores	Unidades
Produção de CPO	250000	ton / ano
Rendimento de POME na produção de CPO	3,86	m^3 POME / ton CPO
Rendimento do biogás	16,8	m^3 biogás / m^3 POME
Fração de CH_4 no biogás	0,62	m3 CH_4 / m3 biogás
Densidade do CH_4	0,00071	ton CH_4 / m^3 CH_4
GWP (CH_4)	21	-

Fonte: PREGA (2004).

Para o cálculo da quantidade de emissões dos efluentes líquidos responsável pela produção do biodiesel, deve-se, mais uma vez, utilizar a relação FFA / CPO, de 6% em massa.

4.3. Resultados da ACV do Biodiesel Metílico Produzido a partir da Borra Ácida da Palma

De acordo com os dados de cada etapa considerada para o ciclo de vida do biodiesel esterificado de palma, foram feitos os cálculos necessários à elaboração do inventário das emissões atmosféricas.

Os primeiros cálculos são relacionados às quantidades finais dos componentes emissores. A Tabela 4.10 oferece essas informações.

Tabela 4.10 – Quantidades utilizadas para a construção do inventário de emissões de GEE do biodiesel produzido a partir da borra ácida de palma por ano

Etapas da Cadeia Produtiva	Componente emissor	Valor	Unidade
Produção das Matérias-Primas	Metanol	2046	ton
	FFA	14850	ton
Distribuição do Metanol	Óleo Diesel	123693,8	kg
Produção do Biodiesel	Energia Elétrica(i)	1188	GJ
Geração de Efluentes Líquidos	POME	965000	m3

Fonte: Elaboração própria.
(i) Fonte: Greentec (2008).

Com base nos valores apresentados na Tabela 4.10 e a metodologia detalhada no item 4.2, foi elaborado o inventário das emissões atmosféricas causadoras do efeito estufa para o biodiesel de palma descrito no trabalho.

Tabela 4.11 – Inventário das emissões atmosféricas de GEEs do biodiesel produzido a partir da borra ácida de palma por etapas da cadeia produtiva (kg / ano)

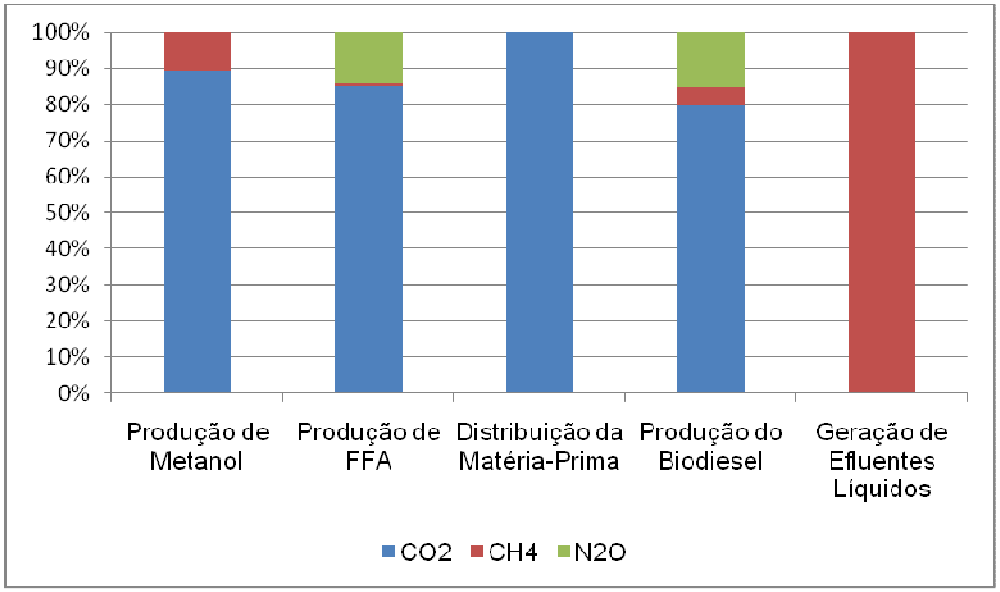
Etapas da Cadeia Produtiva	Componente emissor	CO_2	CH_4	N_2O
Produção das Matérias-Primas	Metanol	3,15E+06	1,78E+04	
	FFA	6,95E+05	2,00E+02	3,81E+02
Distribuição da Matéria-Prima	Óleo diesel	4,32E+05	-	-
Produção do Biodiesel	Energia Elétrica	2,11E+04	6,51E+01	1,31E+01
Geração de Efluentes Líquidos	POME	-	4,28E+05	-

Fonte: Elaboração própria.

Para uma melhor compreensão dos efeitos dos valores do inventário obtido, foram feitos os gráficos e tabelas seguintes.

A Figura 4.2 destaca a contribuição de cada GEE, em unidade de massa de CO_2eq de acordo com os GWP do CH_4 e do N_2O, nas etapas da cadeia produtiva do produto analisado.

Figura 4.2 – Contribuição por GEE em cada etapa da cadeia produtiva do biodiesel de palma



Fonte: Elaboração Própria.

É possível verificar que o CO_2 é preponderante nas etapas de produção de metanol, produção de FFA e produção de biodiesel, etapa onde o componente emissor é a energia elétrica. Estas duas últimas etapas são as únicas que apresentam a contribuição do N_2O.

Na etapa de produção de FFA, os cerca de 15% de emissões correspondente ao N_2O se originam principalmente da aplicação de fertilizantes nitrogenados.

Na etapa de distribuição do metanol, o CO_2 é o único gás contribuinte pelo fato do dado utilizado para a produção e emissão do óleo diesel estar representado em equivalentes de CO_2.

Na geração de efluentes, o único gás contribuinte é o metano, gerado pelas bactérias existentes no POME. Este gás exerce pouca influência nas demais etapas.

A Tabela 4.12 fornece os valores encontrados para o total de emissões de GEE, em equivalentes de CO_2, por etapas da cadeia produtiva.

Tabela 4.12 – Total de emissões de GEEs de 16.500 toneladas de biodiesel produzido a partir da borra ácida de palma

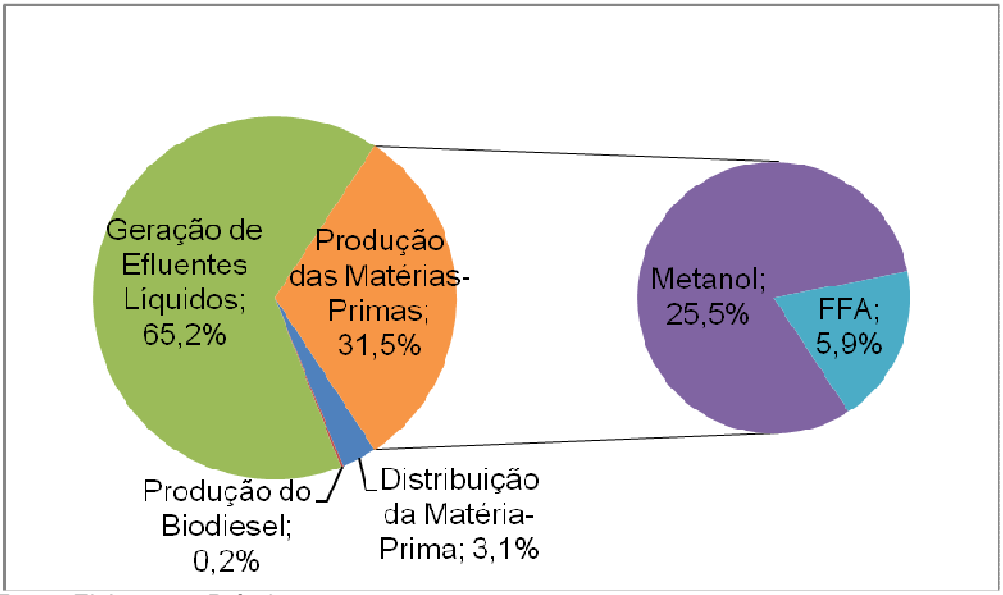
Etapas da Cadeia Produtiva	Componente emissor	Total (ton CO_2eq / ano)
Produção das Matérias-Primas	Metanol	3,52E+03
	FFA	8,17E+02
Distribuição da Matéria-Prima	Óleo diesel	4,32E+02
Produção do Biodiesel	Energia Elétrica	2,66E+01
Geração de Efluentes Líquidos	POME	8,99E+03
TOTAL		**1,38E+04**

Fonte: Elaboração própria.

Obteve-se um total de 13,8 mil toneladas de CO_2eq, sendo quase 9 mil toneladas de CO_2eq geradas pelo metano emitido dos efluentes líquidos da palma. Essa expressiva contribuição de emissões por parte dos efluentes líquidos deve-se ao alto índice de geração de metano associado ao alto GWP do gás.

A Figura 4.3 representa as proporções nas emissões de cada etapa da cadeia produtiva do biodiesel.

Figura 4.3 – Composição das emissões de GEE do biodiesel de palma produzido a partir da borra ácida por etapas da cadeia produtiva



Fonte: Elaboração Própria.

Como verificado anteriormente, os efluentes líquidos são os grandes responsáveis pelas emissões de GEE na cadeia produtiva do biodiesel de palma, com cerca de 65% do total das emissões. A produção das matérias-primas seguem com representativos 31,5%, dos quais grande parte, ou 25,5% do total das emissões, sendo correspondentes à produção do metanol.

A distribuição da matéria-prima, apesar de contribuir apenas com 3,1% do total das emissões, merece observação já que esta etapa deve ser foco de otimização de reduções de emissões, por não estar relacionada diretamente ao foco principal da produção do biodiesel.

A etapa da produção do biodiesel tem emissões de GEE de pouca significância para o ciclo de vida do biodiesel de palma, pelo fato da energia elétrica brasileira ser majoritariamente renovável.

4.4. Resultados da ACV do Biodiesel Produzido a partir do POME

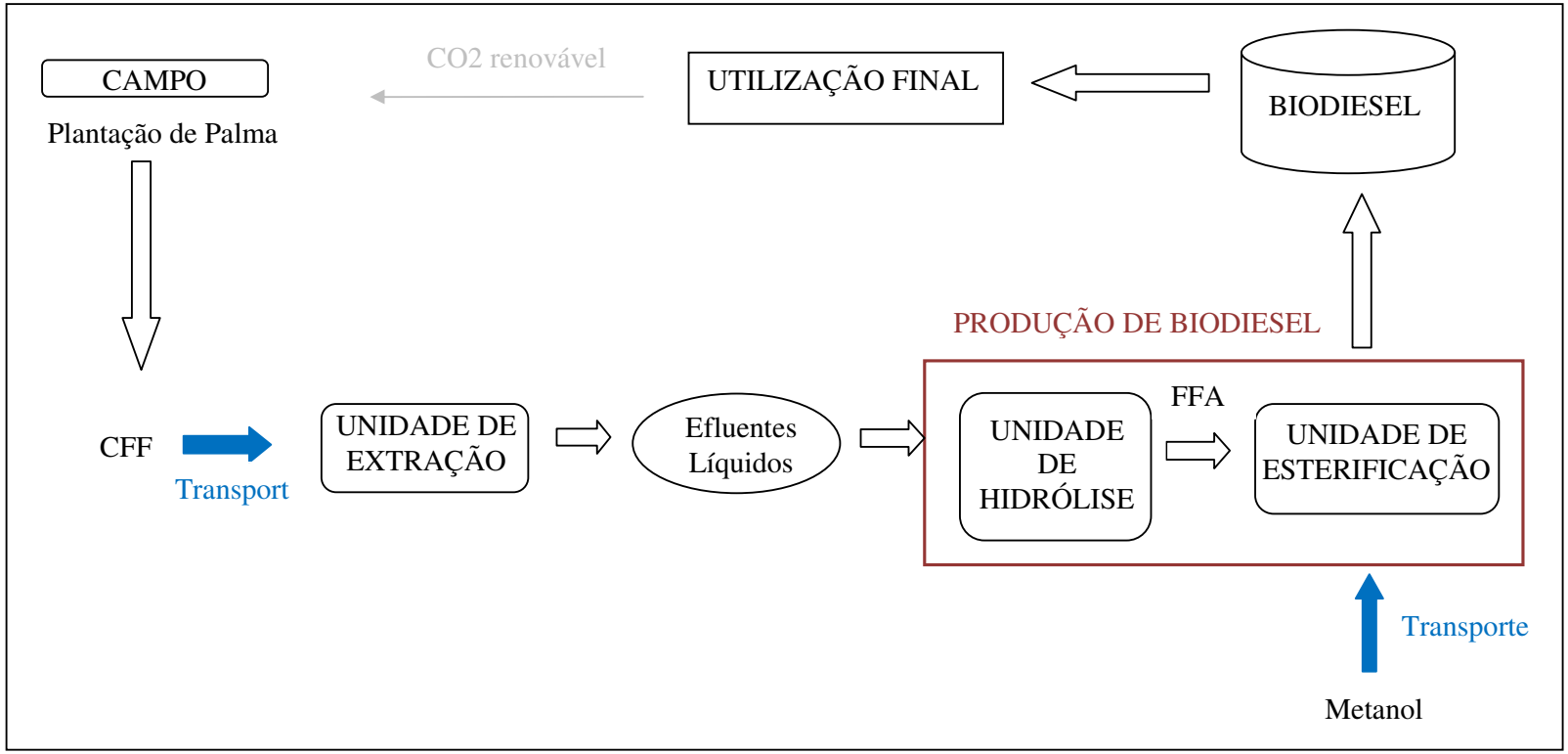
Optou-se por sugerir a produção de biodiesel através da matéria graxa contida nos efluentes líquidos da palma por ser algo inovador na indústria da palma e de grande utilidade para os produtores da oleaginosa.

O óleo residual encontrado nos efluentes líquidos gerados na extração do óleo de palma tem uma acidez de aproximadamente 35%. Visto que a transesterificação apresenta problemas com níveis de acidez elevados, optou-se por utilizar o processo de hidroesterificação deste óleo para a produção do biodiesel.

A metodologia utilizada para a ACV do biodiesel produzido a partir dos óleos residuais do POME segue o modelo e os dados explicados no item 4.2.

O ciclo de vida do biodiesel produzido a partir do POME considerado inicia-se também no campo, com a plantação das palmeiras de dendê; passa pelo processo de extração, onde os efluentes são gerados; o POME é, então, transformado em biodiesel pelo processo de hidroesterificação; e termina com a queima do biodiesel nos motores a diesel. A Figura 4.4 esquematiza as etapas da cadeia produtiva deste ciclo de vida.

Figura 4.4 – Esquema das etapas da cadeia produtiva do biodiesel metílico produzido a partir do POME



Fonte: Elaboração Própria.

De acordo com os dados da Tabela 4.9, o volume total anual de POME gerado na área considerada é de 965.000 m^3. Utilizou-se a relação de que 1% do POME formado é composto de óleo de palma residual (IGWE, 2007). A densidade do óleo de palma é de 0,918 g / cm^3 (SANTOS, 2008).

Portanto, a quantidade anual de óleo residual do POME obtida é de 9.650 m^3 ou 8.858,7 toneladas.

A hidroesterificação é um processo onde são necessárias 104 toneladas de óleo e 11,2 toneladas de metanol para cada 100 toneladas de biodiesel produzido (GREENTEC, 2008). Os dados operacionais para a produção do biodiesel estão contidos na Tabela 4.13.

Tabela 4.13 – Dados operacionais para a produção de biodiesel a partir do POME

Componente	Quantidade (ton / ano)
Óleo de palma	8.858,70
Metanol	954,01
Biodiesel	8.517,98

Fonte: Elaboração própria com base em dados do Greentec (2008).

A Tabela 4.14 lista os componentes emissores do produto analisado, com base nos dados descritos nos itens anteriores.

Tabela 4.14 – Quantidades utilizadas para a construção do inventário de emissões de GEE do biodiesel produzido a partir do POME por ano

Etapas da Cadeia Produtiva	Componente emissor	Valor	Unidade
Produção das Matérias-Primas	Metanol	954,01	ton
	Óleo de palma	8858,70	ton
Distribuição do Metanol	Diesel	58433,9	kg
Produção do Biodiesel	Energia Elétrica(i)	1285,22	GJ

Fonte: Elaboração Própria.
(i) Fonte: Greentec, 2008.

Para a elaboração do inventário de emissões deste produto, foram considerados os dados referentes aos CFF, que originam o POME que contém o óleo residual. Foram utilizados os mesmos dados da literatura do produto

anterior para as emissões desta matéria-prima, que considera que o CPO responde por 20% da massa dos CFF. (Marzullo, 2007)

Neste item não serão consideradas as emissões dos GEE dos efluentes líquidos, pelo fato da produção do biodiesel avaliado não implicar na formação do POME, já que a fração de POME responsável pelo produto corresponde à própria matéria-prima do mesmo.

Os outros dados utilizados para a construção do inventário não diferem daqueles já apresentados para o produto anterior. A Tabela 4.15 apresenta o inventário das emissões atmosféricas de GEEs para o biodiesel produzido a partir do POME.

Tabela 4.15 – Inventário das emissões atmosféricas de GEEs do biodiesel produzido a partir do POME por etapas da cadeia produtiva (kg / ano)

Etapas da Cadeia Produtiva	Componente Emissor	CO_2	CH_4	N_2O
Produção das Matérias-Primas	Metanol	1,47E+06	8,30E+03	-
	Óleo de palma	2,48E+05	7,15E+01	1,36E+02
Distribuição da Matéria-Prima	Óleo diesel	2,04E+05		
Produção do Biodiesel	Energia Elétrica	2,29E+04	7,04E+01	1,41E+01

Fonte: Elaboração própria.

A partir deste inventário é possível extrair alguns resultados comparativos, como feito no primeiro produto.

A composição dos GEE por etapas da cadeia produtiva é equivalente à apresentada na Figura 4.2 pelo fato dos componentes emissores serem os mesmos. A única possível diferença esperada seria em relação à matéria-prima oleaginosa, porém, as relações entre os gases são mantidas pelo fato dos componentes serem extraídos das mesmas fontes e pelos mesmos processos.

A Tabela 4.16 oferece o total de emissões de gases do efeito estufa, em toneladas de CO_2eq, por etapas da cadeia produtiva.

Tabela 4.16 – Total de emissões de GEEs de 8517,98 toneladas de biodiesel produzido a partir do POME (ton de CO_2eq / ano)

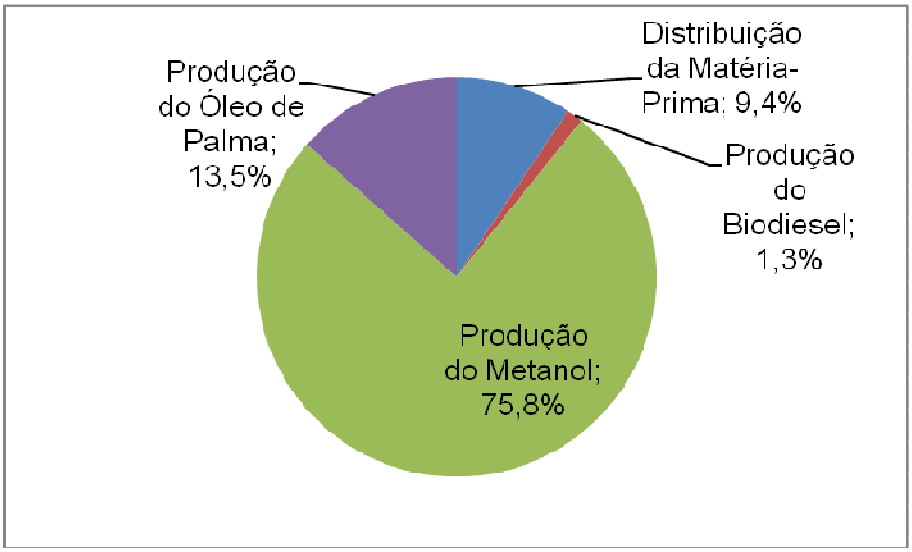
Etapas da Cadeia Produtiva	Componente Emissor	Total (ton CO_2eq / ano)
Produção das Matérias-Primas	Metanol	1,64E+03
	Óleo de palma	2,92E+02
Distribuição da Matéria-Prima	Óleo diesel	2,04E+02
Produção do Biodiesel	Energia Elétrica	2,87E+01
TOTAL		**2,17E+03**

Fonte: Elaboração Própria.

Portanto, considerando a composição de 1% de óleo de palma residual no POME, foi possível estimar um biocombustível que emite 2,17 mil toneladas de CO_2eq. Percebe-se uma grande redução das emissões totais deste produto em relação ao anterior, que continha as emissões dos efluentes líquidos gerados.

A Figura 4.5 informa sobre a composição das emissões gasosas por etapa da cadeia produtiva.

Figura 4.5 - Composição das emissões de GEE do biodiesel de palma produzido a partir do POME por etapa da cadeia produtiva



Fonte: Elaboração Própria.

Neste produto, diferentemente do primeiro, a produção das matérias-primas é a grande responsável pelas emissões de GEE, representando quase 90% do total, dos quais 75,8% são de contribuição do metanol e 13,5% da matéria-prima oleaginosa.

A distribuição da matéria-prima responde por 9,4% das emissões totais, enquanto a produção de biodiesel é pouco representativa, como no primeiro produto, contribuindo com apenas 1,3%.

4.5. Comparação entre os Produtos Analisados

A Tabela 4.17 resume os resultados obtidos com a avaliação do ciclo de vida dos produtos analisados neste capitulo. Na tabela são indicadas as contribuições das etapas de maiores emissões (críticas).

Tabela 4.17 – Resultados da avaliação do ciclo de vida dos produtos objetivados nos Projetos 1 e 2

Dados	Projeto 1	Projeto 2
Quantidade-alvo de biodiesel (ton)	16.500	8.518
Emissões totais anuais (ton CO_2eq)	1,38E+04	2,17E+03
Etapa crítica	Efluentes Líquidos	Produção de Metanol
Emissão da etapa crítica	8,99E+03	1,64E+03
Contribuição da etapa crítica	65,2%	75,8%

Fonte: Elaboração própria.

Os projetos diferem bastante quanto às emissões obtidas. O Projeto 1 obteve cerca de 0,84 toneladas de CO_2eq para cada tonelada de biodiesel produzido, enquanto o Projeto 2 emitiu cerca de 0,25 toneladas de CO_2eq para cada tonelada de biodiesel gerado. Esta expressiva diferença se justifica pela desconsideração da formação de efluentes líquidos, etapa crítica do Projeto 1, no Projeto 2.

As emissões das produções das matérias-primas oleaginosas dos dois produtos também são diferentes, por serem provenientes de diferentes processos. Os FFA do Projeto 1 são responsáveis por cerca de 0,05 toneladas de CO_2eq por tonelada de biodiesel produzido, enquanto o óleo de palma contido no POME emite cerca de 0,034 toneladas de CO_2eq por cada tonelada de biodiesel.

As outras etapas consideradas nestas avaliações são proporcionais aos dois produtos objetivados.

Capítulo 5

POTENCIAIS DE GERAÇÃO DE CRÉDITOS DE CARBONO

Neste capítulo será estimado o possível benefício econômico proporcionado pelos efeitos mitigadores dos gases de efeito estufa aos projetos propostos para a indústria da palma.

A primeira sessão aborda as metodologias utilizadas para determinar as reduções das emissões de CO_2 e apresenta os três projetos sugeridos para geração de créditos de carbono. Os demais tópicos apresentam os resultados obtidos para cada projeto deste estudo.

5.1. Metodologias de Reduções de Emissões de GEE

Este item descreve os projetos bem como as metodologias utilizadas para as estimativas de geração dos créditos de carbono, analisadas aos moldes das metodologias do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. A escolha dessa referência se dá pela maior regulamentação deste mercado de carbono.

É importante destacar que o MDL é um mecanismo que visa contribuir com o desenvolvimento sustentável dos países não incluídos no Anexo I do Tratado de Quioto, auxiliando o cumprimento das metas desses países. Logo, o mecanismo não tem como objetivo a obtenção de receitas adicionais a projetos já lucrativos ou atividades já consolidadas. Portanto, só é possível obter RCEs para serem negociadas como créditos de carbono para projetos de MDL quando o projeto de redução de emissões não for viável economicamente. Os créditos de carbono devem ser o diferencial para a viabilidade econômica do projeto. Esta medida estimula, portanto, a inovação de alternativas favoráveis ao clima.

Diferentemente do MDL, o mercado voluntário não depende de uma avaliação econômica preliminar do projeto. Por ser um mercado menos robusto e regulamentado que o MDL, de uma maneira geral, o mercado voluntário gera créditos de carbono de valor mais baixo que o mecanismo de Quioto.

Os projetos sugeridos neste trabalho abordarão uma faixa de preços para os créditos de carbono correspondente aos mercados voluntário e do MDL.

Diante da complexidade existente na elaboração de um projeto de MDL completo formal, que abrange todas as etapas de seu ciclo, optou-se por fazer apenas as estimativas para as reduções de emissões de GEE, que se enquadraria na etapa de elaboração do Documento de Concepção do Projeto (DCP) do ciclo de um projeto de MDL.

Para estimar as reduções de emissões de GEEs da atividade de um projeto específico de MDL, os participantes do projeto devem propor uma nova metodologia ao Conselho Executivo ou usar uma metodologia previamente aprovada para a atividade pela entidade. A metodologia escolhida deve ser, então, incorporada ao DCP.

A metodologia de linha de base utilizada para projetos de MDL para medir as reduções de emissões ocasionadas pela atividade do projeto contrapõe as emissões de uma linha de base, que corresponde ao padrão de emissões sem as atividades do projeto, com as emissões do projeto. A diferença entre esses dois cenários é igual às reduções de emissões decorrentes da utilização do projeto. O conceito da adicionalidade de uma atividade do projeto está relacionado à existência dessa diferença, que pode ser representada de uma maneira geral pela fórmula da Figura 5.1.

Figura 5.1 – Fórmula da redução de emissões de GEEs para projetos de MDL

Reduções de Emissões	=	Emissões da linha de base	–	Emissões do Projeto	–	Fugas
(ton CO_2eq / ano)		(ton CO_2eq / ano)		(ton CO_2eq / ano)		(ton CO_2eq / ano)

Fonte: UNFCCC (2008).

As fugas, representadas na Figura 5.1, são as emissões que ocorrem fora dos limites do projeto. Os limites do projeto representam o limite geográfico do projeto onde ocorrem as emissões de GEEs. Um exemplo bastante utilizado para as fugas é o transporte de matérias-primas até o local (limite) do projeto.

Para evitar uma super quantificação de reduções de emissões, é preciso ser conservador e utilizar o valor ou a metodologia de cálculo que leve à menor geração de créditos. Caso contrário, não haveria uma real redução de emissões. (SOUZA, 2005)

A ferramenta de demonstração da adicionalidade de um projeto de MDL[15] da UNFCCC (2008) indica a realização dos seguintes passos:

1 - Identificação de alternativas para a atividade do projeto;

2 - análise de investimentos para determinar se a atividade do projeto não é a alternativa mais atrativa economicamente ou financeiramente, ou não é viável economicamente ou financeiramente.

3 - análise de barreiras[16];

4 - análise de práticas comuns, para verificar a similaridade entre projetos.

Estes passos são imprescindíveis à elaboração de um projeto de MDL, e devem demonstrar a importância da obtenção dos créditos de carbono à viabilização do projeto. A adicionalidade, portanto, mensura as reduções de

[15] Este documento oferece uma estrutura geral para demonstração e avaliação da adicionalidade e sua aplicação aos projetos.

[16] As barreiras podem ser o fator determinante para o projeto poder gerar créditos de carbono, mesmo que seja economicamente viável. As barreiras podem ser culturais, tecnológicas, de necessidade de mão-de-obra especializada, entre outras.

GEE ocasionadas pelas atividades do projeto de MDL, que não poderiam ocorrer sem este mecanismo.

Os projetos de MDL são classificados em projetos de redução de emissões, para projetos não florestais; e de remoção de CO_2, para projetos florestais. Ambos os tipos de projetos podem ser de pequena ou grande escala.

Os projetos de pequena escala não florestais, de acordo com a Resolução CIMGC nº 5 (MCT, 2008), podem ser de três tipos:

- Atividade de projeto de energia renovável com geração máxima de 15 MW;
- Atividade de projeto de eficiência energética com limite máximo de produção de 60 GWh / ano;
- Outras atividades que resultem em redução de emissões inferiores ou iguais a 60 kt CO_2eq / ano.

Os projetos de pequena escala[17] florestais são aqueles que resultam na remoção antrópica líquida de GEEs por sumidouros inferiores a 16.000 toneladas de CO_2 por ano e desenvolvidos por comunidades e indivíduos de baixa renda (renda familiar per capita de até meio salário mínimo). (MCT, 2008)

O período para a duração dos créditos de carbono, nos projetos de MDL, pode ser fixo ou variável. Para projetos não florestais, pode-se escolher entre um período de até 10 anos (fixo), ou de até 7 anos, podendo ser renovado por até mais duas vezes (renovável). Para projetos florestais, o período fixo é de até 30 anos, e o renovável é de até 20 anos, podendo ser renovável em até duas vezes. (GEC, 2006)

[17] Os projetos de grande escala, tanto não florestais como os florestais, são aqueles que não atendem os requisitos dos de pequena escala.

Os potenciais de geração de créditos de carbono associados à produção de óleo de palma serão baseados em três projetos:

- Projeto 1: A substituição do óleo diesel pelo biodiesel de palma, produzido a partir da borra ácida da palma;
- Projeto 2: A substituição do óleo diesel pelo biodiesel de palma, produzido a partir dos efluentes líquidos da palma;
- Projeto 3: O Reflorestamento de Palma.

A geração de energia elétrica pela queima dos cachos vazios e fibras da palma poderia se enquadrar como um potencial gerador de créditos de carbono, já que estes, quando produzidos em excesso, significavam formação de rejeitos.

Outro potencial redutor de emissões de gases que não será tratado neste estudo é o tratamento dos efluentes líquidos, que de acordo com os resultados obtidos no capítulo anterior, é uma grande fonte emissora de metano. Porém, convém mencionar que alguns dos possíveis tratamentos do POME seriam a queima do metano captado em biodigestores em “flares” (o que reduz o potencial de aquecimento, pois converte CH_4 em CO_2), ou a aeração das lagoas formadoras dos efluentes, diminuindo a metanogênese. Se o metano, além de tratado, for utilizado para gerar energia, será possível a contabilização de créditos por duas atividades de projeto.

Para a estimativa dos potenciais créditos de carbono dos dois primeiros projetos sugeridos, será contraposta uma metodologia já aprovada de MDL com as práticas das atividades dos projetos apresentados. Esta metodologia de MDL já aprovada, que consta no site da UNFCCC (2008), que mais se enquadra aos dois primeiros projetos é a AM0047: Produção de biodiesel baseada em óleos residuais / gorduras residuais de origem biogênica para uso como combustível.

As estimativas dos créditos potenciais do Projeto 3 não serão apoiadas em nenhuma metodologia já aprovada de MDL.

Portanto, as estimativas dos potenciais de créditos de carbono apresentados neste trabalho não são absolutamente fiéis às metodologias do mecanismo de Quioto, apenas as utilizam como referência.

5.2. Projeto 1: A Substituição do Óleo Diesel pelo Biodiesel Produzido a Partir da Borra Ácida da Palma

As emissões da atividade deste projeto, onde são incluídas as fugas, foram ancoradas nas metodologias e resultados do ciclo de vida do biodiesel produzido a partir da borra ácida, detalhadas no capítulo 4.

Esta avaliação do ciclo de vida, entretanto, não previu um cenário para o horizonte de tempo a ser considerado no projeto. Será admitido neste trabalho que as emissões do projeto bem como as da linha de base são constantes ao longo de 10 anos, período de creditação fixo escolhido conservadoramente para o projeto.

Para este potencial de geração de créditos de carbono, verifica-se a adicionalidade na utilização do biodiesel de palma frente ao diesel de petróleo em relação à mesma quantidade de energia gerada.

A metodologia aprovada de MDL que mais se enquadra ao Projeto 1 deste estudo é a AM0047. As principais diferenças das emissões contabilizadas no Projeto 1 e do projeto referente à metodologia AM0047 do MDL estão dispostas na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Principais diferenças entre as emissões contabilizadas do Projeto 1 e o projeto da metodologia AM0047

Etapas	Projeto 1	AM0047
Produção do petrodiesel substituído	Sim	Não
Transporte do biodiesel até o local onde é misturado ao diesel	Não	Sim
Combustíveis fósseis consumidos na produção do biodiesel[18]	Não	Sim
Emissões provenientes do metanol na queima do biodiesel	Não	Sim

Fonte: Elaboração própria com base em UNFCCC (2008).

Na metodologia AM0047, as emissões associadas à produção de metanol, também incluídas na avaliação do ciclo de vida do produto do Projeto 1, são contabilizadas como fugas.

A Tabela 5.2 informa os dados para as emissões de óleo diesel, componente da linha de base a ser substituído:

Tabela 5.2 – Emissões de GEE do óleo diesel

Etapa	Valor	Unidade
Produção	0,3449	kg CO_2eq / kg diesel
Queima	3,146	kg CO_2eq / kg diesel

Fonte: Mendonça (2007).

Para comparar a contribuição energética dos combustíveis, deve-se utilizar os dados referentes aos poderes caloríficos. Os cálculos se baseiam nos valores 9365 kcal / kg para o biodiesel metílico de palma, e 10100 kcal / kg para o diesel. (BARRETO et. al, 2007; VIANNA, 2006).

Os resultados para a adicionalidade deste projeto encontram-se na Tabela 5.3.

[18] O processo de produção do biodiesel do projeto da metodologia AM0047 é a transesterificação, cujo consumo na produção é diferente do processo do Projeto 1, esterificação.

Tabela 5.3 – Resultados da adicionalidade do Projeto 1 por ano

	Quantidade (ton)	Energia (GJ)	Emissões (ton CO_2eq)
Biodiesel	16.500	646.831,19	13.790,42
Diesel	15.299,26	646.831,19	53.408,18
Reduções de Emissões			**39.617,76**

Fonte: Elaboração própria.

O preço da tonelada de CO_2 considerado por Santos (2008) é de 8 € a 10 € para projetos de MDL, enquanto a média dos projetos que geraram créditos de carbono na América Latina em 2007 no mercado de balcão foi de US$ 8,6 por tonelada de CO_2. (HAMILTON, 2008)

Portanto, o projeto 1 seria capaz de gerar com os créditos de carbono uma receita adicional entre aproximadamente R$ 750 mil e R$ 1,19 milhões[19] por ano, considerando a diferença de preços dos mercados voluntário e do MDL. Para o horizonte de tempo da creditação fixa de 10 anos, a receita com os créditos de carbono pode variar de R$ 7,50 milhões a R$ 11,9 milhões.

5.3. Projeto 2: A Substituição do Óleo Diesel pelo Biodiesel Produzido a Partir dos Efluentes Líquidos da Palma

As emissões da atividade deste projeto, como no item anterior, se referem às práticas adotadas no capítulo 4, onde é feita a avaliação do ciclo de vida do biodiesel produzido a partir do POME.

Este projeto também é comparado com a metodologia de MDL AM0047, e a Tabela 5.4 aponta as diferenças entre as considerações existentes nas duas bases.

[19] As taxas de câmbio utilizadas para os três projetos são: 1 euro = 3 reais e 1 dólar = 2,2 reais.

Tabela 5.4 - Principais diferenças entre as emissões do Projeto 2 e o projeto da metodologia AM0047

Etapas	Projeto 1	AM0047
Produção do petrodiesel substituído	Sim	Não
Transporte do biodiesel até o local onde é misturado ao diesel	Não	Sim
Combustíveis fósseis consumidos na produção do biodiesel[20]	Não	Sim
Emissões provenientes do metanol na queima do biodiesel	Não	Sim

Fonte: Elaboração própria.

As emissões referentes ao óleo diesel estão agrupadas na Tabela 5.2. Os valores para os poderes caloríficos do biodiesel metílico de palma e do óleo diesel e o preço da tonelada de carbono também são os mesmos do item anterior.

Para a avaliação do ciclo de vida deste biodiesel, considerou-se que o POME contém em sua composição 1% de óleo de palma residual. A Tabela 5.5 mostra os resultados das emissões do produto avaliado, do diesel e da diferença entre eles.

Tabela 5.5 – Resultados da adicionalidade do Projeto 2 por ano

	Quantidade (ton)	Energia (GJ)	Emissões (ton CO_2eq)
Biodiesel	8.518	333.920,95	2.167,16
Diesel	7.898,11	333.920,95	27.571,50
Reduções de Emissões			**25.404,34**

Fonte: Elaboração Própria.

Para as mesmas faixas de preços e cotações consideradas para o Projeto 1, o Projeto 2 seria capaz de gerar aproximadamente de R$ 480 mil até R$ 762 mil anuais. Nos 10 anos de creditação fixa, o projeto arrecadaria uma variação de R$ 4,80 milhões a R$ 7,62 milhões.

[20] Há diferença de consumo dos projetos comparados. Como mencionado anteriormente, o processo de produção do biodiesel da metodologia AM0047 é a transesterificação, enquanto o processo adotado no Projeto 2 é a hidroesterificação.

5.4. Projeto 3: O Reflorestamento de Palma

O Projeto 3 visa o reflorestamento de palma da área objetivada neste trabalho, de 50 mil hectares, na região degradada da Amazônia apta ao cultivo da oleaginosa.

As definições de florestamento e reflorestamento estão dispostas no MCT (2001) como:

> "Florestamento é a conversão induzida diretamente pelo homem de terra que não foi florestada por um período de pelo menos 50 anos em terra florestada por meio de plantio, semeadura e/ou a promoção induzida pelo homem de fontes naturais de sementes;
>
> Reflorestamento é a conversão, induzida diretamente pelo homem, de terra não-florestada em terra florestada por meio de plantio, semeadura e/ou a promoção induzida pelo homem de fontes naturais de sementes, em área que foi florestada mas convertida em terra não-florestada. Para o primeiro período de compromisso, as atividades de reflorestamento estarão limitadas ao reflorestamento que ocorra nas terras que não continham florestas em 31 de dezembro de 1989."

Por não definir os limites exatos do cultivo de palma, não é possível a observação da ocupação histórica desta área. Por isso, optou-se por entitular a conversão de terra não florestada em floresta de reflorestamento, já que esta atividade exige um menor tempo de verificação da área a ser ocupada.

A Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima (CIMGC) com a Resolução nº 2 regulamenta os procedimentos para as atividades de projetos de florestamento e reflorestamento no âmbito do MDL. Neste documento do MCT (2005), são definidos como requisitos para a aceitação dessas atividades:

- Valor mínimo de cobertura de copa das árvores: 30%;
- Valor mínimo de área de terra: 1 hectare, e;
- Valor mínimo de altura de árvore: 5 metros.

O cultivo de palma é potencialmente um grande absorvedor de carbono, por ser uma cultura perene constituída de palmeiras altas e de folhas longas, se enquadrando, portanto, nos requisitos exigidos para as atividades de florestamento e reflorestamento. Este cultiva ainda apresenta uma grande vantagem de seu aproveitamento comercial significativo estar relacionado apenas aos cachos de frutos, que correspondem a uma pequena fração da biomassa total das plantações.

O método direto para a contabilização dos estoques de carbono em cultivos florestais envolve retirar amostras das árvores, secar o material em estufa, pesar a biomassa seca e converter à quantidade de carbono. A literatura apresenta uma média de que 48 a 50% do peso seco da biomassa é constituído de carbono. Deste valor, então, é obtido o equivalente em CO_2 pela relação entre as massas moleculares do gás e do carbono.

Para este estudo, foram utilizados dados da literatura como base de informações quanto ao seqüestro de carbono proveniente do plantio de palma. A conversão a CO_2eq foi feita pela relação entre as massas moleculares do carbono e do CO_2[21].

Silva et al (2000) estimaram a quantidade de matéria seca por planta, bem como a quantidade de carbono seqüestrado de acordo com a idade da palmeira de dendê para as condições de Moju / PA.

[21] Consideração da massa molecular do carbono de 12 g / gmol e do CO_2 de 44 g / gmol.

Tabela 5.6 – Quantidade de carbono seqüestrado e do equivalente em CO_2 de acordo com a idade da palmeira de dendê

Idade (Anos)	Carbono (ton / ha)	CO_2 (ton / ha)	Idade (Anos)	Carbono (ton / ha)	CO_2 (ton / ha)
2	1,82	6,67	14	44,57	163,42
3	3,88	14,23	15	46,15	169,22
4	8,35	30,62	16	47,72	174,97
5	13,08	47,96	17	49,29	180,73
6	20,96	76,85	18	50,86	186,49
7	28,08	102,96	19	52,44	192,28
8	36,08	132,29	20	54,01	198,04
9	36,71	134,60	21	55,58	203,79
10	38,28	140,36	22	57,16	209,59
11	39,85	146,12	23	58,73	215,34
12	41,43	151,91	24	60,30	221,1
13	43,00	157,67	25	61,87	226,86

Fonte: Elaboração própria com base em dados de Silva et al (2000).

As emissões do subsistema agrícola da palma, quantificadas por Marzullo (2007)[22], serão descontadas do seqüestro de carbono de suas florestas. Este subsistema agrícola contempla as etapas de produção e transporte dos fertilizantes e as operações mecanizadas necessárias as terras. A Tabela 5.7 oferece esses dados e faz a extrapolação para os 50 mil hectares de terras para o plantio da oleaginosa.

Tabela 5.7 – Inventário de emissões para o subsistema agrícola da palma por ano

Referências para as emissões	CO_2	CH_4	N_2O
Produção de 1 ton de CFF (kg)	70,2	0,0537	0,108
Produção de CFF em 50 mil ha (kg)	56.268.035	43.042,64	86.566,21

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de Marzullo (2007).

De acordo com os dados da tabela anterior e considerando o potencial de aquecimento dos gases, a área objetivada para o Projeto 3 emite cerca de 84 mil toneladas de CO_2eq por ano. Este valor será descontado do seqüestro de carbono pela fotossíntese da planta para obter o seqüestro líquido de CO_2 para, então, estimar os créditos de carbono deste projeto.

[22] Este trabalho considerou que para a produção de 1 tonelada de CFF é necessário 0,06238 hectares.

O período de créditos escolhido será de 25 anos, por corresponder ao período dos dados obtidos para o seqüestro de carbono. Sabe-se, entretanto, que a vida econômica útil de uma plantação de palma é de 30 anos, em média. Conservadoramente, optou-se por não extrapolar os dados até os 30 anos.

As estimativas das reduções de emissões para o Projeto 3, para a área considerada neste trabalho, estão projetadas na Tabela 5.8.

Tabela 5.8 – Estimativas de reduções de emissões de GEE para o Projeto 3 para o período de creditação de 25 anos

Idade (Anos)	Seqüestro líquido de CO_2 (ton)	Idade (Anos)	Seqüestro líquido de CO_2 (ton)
2	249.667	14	8.087.167
3	627.333	15	8.376.833
4	1.446.833	16	8.664.667
5	2.314.000	17	8.952.500
6	3.758.667	18	9.240.333
7	5.064.000	19	9.530.000
8	6.530.667	20	9.817.833
9	6.646.167	21	10.105.667
10	6.934.000	22	10.395.333
11	7.221.833	23	10.683.167
12	7.511.500	24	10.971.000
13	7.799.333	25	11.258.833

Fonte: Elaboração própria.

O preço médio adotado para a tonelada de CO_2 para este projeto será de US$ 5,00[23], conforme utilizado por Santos (2008) para projetos florestais. Assim sendo, o Projeto 3 poderia contar com cerca de R$ 123,8 milhões ao final do seu vigésimo quinto ano. A expressividade deste número está relacionada ao alto índice do seqüestro de carbono da cultura e ao grande território considerado, de 50 mil hectares.

[23] Com taxa de câmbio de 1 dólar = 2,2 reais.

5.5. Comparação entre os Projetos Analisados

Os dois primeiros projetos visam substituir o óleo diesel por biodiesel produzido a partir de rejeitos da cultura da palma. A tabela 5.9 compara os resultados finais destes dois projetos.

Tabela 5.9 – Resultados da adicionalidade dos Projetos 1 e 2

	Projeto 1	**Projeto 2**
Quantidade-alvo de biodiesel (ton)	16.500	8.518
Quantidade equivalente de diesel (ton)	15.299,26	7.898,11
Energia dos combustíveis (GJ)	646.831,19	333.920,95
Reduções de emissões (ton CO_2eq / ano)	39.617,76	25.404,34
Possível variação de receita obtida por créditos de carbono (1000 R$ / ano)	750 - 1190	480 - 762
Receita média por créditos de carbono (1000 R$ / ano)	969	621

Fonte: Elaboração Própria.

Observa-se que apesar do Projeto 1 ter uma quantidade-alvo de biodiesel quase duas vezes maior que o Projeto 2, a redução das emissões não segue este mesmo padrão, ou seja, ela é menos que proporcional. Se a quantidade-alvo do projeto 2 fosse, por hipótese, igual a do Projeto 1, as reduções seriam significativamente maiores do que a do Projeto 1 para uma mesma quantidade-alvo.

É importante ressaltar que os Projetos 1 e 2 poderiam ser executados em conjunto, já que a geração de um produto não exclui a produção do outro. Desta forma, é possível para uma empresa participante da indústria da palma implementar concomitantemente tais projetos e buscar os ganhos gerados por cada um deles.

A Tabela 5.10 resume os resultados das receitas estimadas advindas dos créditos de carbono para os três projetos.

Tabela 5.10 – Receitas estimadas advindas dos créditos de carbono para os 3 projetos

Projeto	1	2	1 + 2	3
Período de creditação (anos)	10	10	10	25
Receitas (milhões de R$)	9,69	6,21	15,9	123,8

Fonte: Elaboração própria.

É possível perceber que o Projeto de Reflorestamento da Palma é o que mais arrecadaria com os créditos de carbono, mesmo considerando a diferença dos períodos de creditação. Isto se deve ao fato das palmeiras de dendê serem grandes absorvedoras de carbono e este carbono não ser descontado com o tempo, já que sua exploração comercial engloba apenas os frutos da oleaginosa, que são pouco significativos em relação ao total da biomassa.

Mesmo considerando a implementação em conjunto dos Projetos 1 e 2, os benefícios gerados por eles equivalem a cerca de 13% dos benefícios gerados pelo Projeto 3 isoladamente. No entanto, há de se ter em mente que, no presente estudo, não foram estimados os custos reais de formulação e implementação dos três projetos estudos, ou seja, os benefícios líquidos poderiam variar significativamente em relação aos benefícios brutos aqui apresentados.

Capítulo 6

CONCLUSÃO

6.1. Considerações Finais

O trabalho objetivou estimar as contribuições dos recursos provenientes de créditos de carbono a três projetos relacionados à indústria da palma. Os três projetos têm em comum a utilização de uma mesma área apta ao cultivo da oleaginosa, correspondente a 50 mil hectares. Os três projetos sugeridos foram:

- Projeto 1: A substituição do óleo diesel pelo biodiesel de palma, produzido a partir da borra ácida da palma;
- Projeto 2: A substituição do óleo diesel pelo biodiesel de palma, produzido a partir dos efluentes líquidos da palma;
- Projeto 3: O Reflorestamento de palma.

Para os dois primeiros projetos, foi necessário fazer avaliações do ciclo de vida em relação às emissões de GEE dos produtos finais objetivados, que foram dois tipos de biodiesel de palma, obtidos a partir de duas matérias primas distintas dentro da cultura da palma. Estas avaliações englobaram o gás carbônico, o metano e o óxido nitroso e contaram com metodologias propostas no capítulo 4 do trabalho.

A avaliação do ciclo de vida do produto referente ao Projeto 1, o biodiesel produzido a partir da borra ácida da palma, obteve emissões totais anuais de 13,8 mil toneladas de CO_2eq. O grande responsável por essas emissões são os efluentes líquidos gerados no processo de extração do óleo de palma, que contribuem com quase 9 mil toneladas de CO_2eq por ano. Estes

efluentes líquidos geram metano em larga escala, cujo poder de aquecimento global é 21 vezes maior do que o CO_2.

A avaliação do ciclo de vida do biodiesel do Projeto 2 contou com emissões totais anuais de 2,17 mil toneladas de CO_2eq. Este produto não considera as emissões dos efluentes líquidos por estes constituírem a própria matéria-prima do produto. As maiores emissões deste produto ocorrem na etapa de produção do metanol, matéria-prima que responde pela geração de 1,64 mil toneladas de CO_2eq anuais.

Os resultados mostram que o Projeto 1, apesar de estar associado a uma quantidade-alvo de biodiesel duas vezes maior que o Projeto 2, emite mais de seis vezes do total do Projeto 2. Porém, como mencionado anteriormente, o Projeto 2 não contabiliza as emissões dos efluentes líquidos, que constituem a etapa crítica do Projeto 1.

Depois de comparados energeticamente, os biocombustíveis foram confrontados com o diesel em relação às emissões de GEE. Os resultados da adicionalidade bem como as estimativas das receitas provenientes dos créditos de carbono dos Projetos 1 e 2 mostram que o Projeto 1 é capaz de gerar uma receita anual de aproximadamente R$ 969 mil com a obtenção dos créditos de carbono. O Projeto 2, no entanto, estaria apto a receber cerca de R$ 621 mil anuais por este benefício.

As receitas médias estimadas geradas pelos créditos de carbono dos dois projetos também não são proporcionais aos volumes de combustíveis produzidos, o que condiz com as considerações feitas nas avaliações de cada projeto.

É importante ressaltar que os Projetos 1 e 2 poderiam ser executados em conjunto, já que a geração de um produto não exclui a produção do outro. Neste caso, poderiam ser adquiridas cerca de R$ 1,59 milhões anuais. Para

ambos os projetos, foi considerado um prazo de 10 anos para a creditação, o que acarretaria em um total de R$ 15,9 milhões.

O Projeto 3 trata do reflorestamento da palma na área fixada como objetivo do trabalho. A remoção de emissões de GEE deste projeto não apresenta um aumento linear com o tempo, pois leva em consideração dados da literatura sobre o crescimento observado do cultivo.

Devido a não linearidade do crescimento da palmeira, optou-se por estimar a geração de créditos até um período de 25 anos, o que é conservador em relação à sua vida economicamente útil de aproximadamente 30 anos. Para o período escolhido, obteve-se uma receita total com os créditos de aproximadamente R$ 123,8 milhões. É possível perceber que este é o que mais arrecadaria com os créditos de carbono, mesmo considerando a diferença dos períodos de creditação.

Entretanto, os dois primeiros projetos não devem ser comparados ao terceiro, já que possuem o objetivo de aproveitar os resíduos desta cultura, ao invés de seqüestrar carbono somente pelo crescimento do cultivo. Mesmo assim, os Projetos 1 e 2 ainda conseguiram obter receitas expressivas com os créditos de carbono. Esses resultados mostram que existem grandes oportunidades ambientais e econômicas imediatas para a indústria do dendê. É importante enfatizar também que o Projeto 3, apesar de ter conseguido obter uma receita muito alta, apresenta um resultado mais ilustrativo, já que os projetos de florestamento/reflorestamento ainda implicam em algumas divergências quanto à possibilidade de implementação.

Os resultados do trabalho mostraram que é possível obter ganhos ambientais e econômicos com a exploração da cultura da palma. As receitas dos créditos de carbono dos projetos apresentados atentam para investimentos ambientalmente satisfatórios e que não necessitam ampliar a degradação da Floresta Amazônica.

Deve-se atentar para a forte relação existente entre os ganhos ambientais e os econômicos. Possíveis alterações nos mecanismos de obtenção de créditos de carbono poderão impactar significativamente os projetos ambientais que buscam este incentivo como justificativa. Portanto, considera-se de extrema importância o incentivo financeiro a projetos que visam a melhoria do meio ambiente através da redução das emissões de gases do efeito estufa.

6.2. Recomendações para Trabalhos Futuros

Este trabalho limitou-se a fazer estimativas dos potenciais de arrecadação de receitas com créditos de carbono de projetos ligados à indústria da palma. Portanto, seus resultados são ilustrativos e visam apenas alertar para a oportunidade existente na exploração desta indústria.

Deve-se ressaltar que haveria outros projetos relacionados a esta indústria que provavelmente apresentariam resultados também satisfatórios. Eles incluem a utilização da palha do dendê para gerar energia elétrica ou combustíveis líquidos, como o bioetanol; e o tratamento dos efluentes líquidos gerados no processamento de seus cachos.

Alguns outros tópicos podem ser sugeridos como forma de complementação e enriquecimento deste estudo, são eles:

- Estudos sobre a adequação dos combustíveis produzidos no mercado;
- Estudo e mapeamento da região Norte do Brasil e apresentação dos limites geográficos da área ocupada pelos projetos;
- Análise de mercado para verificação da possibilidade de aumento da oferta do óleo de palma refinado na indústria alimentícia, de cosméticos, etc;

- Avaliação econômica dos projetos sugeridos, para possibilitar a verificação do impacto dos créditos de carbono na viabilidade dos projetos;
- Avaliação do impacto social gerado com os projetos;
- Utilização do etanol ao invés do metanol na produção de biodiesel, por ser menos poluente e o Brasil ser um grande produtor do álcool.

A incorporação destas recomendações forneceria resultados mais consistentes ao objetivo do trabalho e contribuiria para melhores conclusões sobre os potenciais de exploração da indústria da palma.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, disponível em www.abntnet.com.br. Último acesso em julho de 2008.

Aboissa – Óleos Vegetais, disponível em www.aboissa.com.br. Último acesso em janeiro de 2008.

AGROPALMA. **Aspectos Funcionais do Óleo de Palma**. Documento Interno. Pará, 2007.

AGROPALMA, contatos por e-mail e telefone em agosto e setembro de 2008.

ANP, disponível em: http://www.anp.gov.br/petro/dados_estatisticos.asp. Último acesso em setembro de 2008.

BARRETO, A. J. B et. al. **Estudo da adição de Biodiesel do óleo de palma no óleo Diesel**. Instituto Nacional de Tecnologia. Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: http://www.biodiesel.gov.br/docs/congresso2007/uso/6.pdf. Último acesso em agosto de 2008.

BEN, **Balanço Energético Nacional**. MME / EPE, 2007.

BERNSTEIN, L.; BOSCH, P.; CANZIANI, O et. al. ***Climate Change 2007: Synthesis Report***. IPCC, 2007. Disponível em: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_spm.pdf. Último acesso em fevereiro de 2008.

BM&F, disponível em: http://www.bmf.com.br/portal/pages/MBRE/mecanismo.asp. Último acesso em fevereiro de 2008.

CAESAR, W. K.; RIESE, J.; SEITZ, T. ***Betting on Biofuels***. *The McKinsey Quarterly*, nº 2. 2007.

CAMARGO, A. M. **Inventário do Ciclo de Vida do Metanol para as Condições Brasileiras**. Tese de Mestrado: Escola Politécnica. USP; São Paulo, 2007.

CASTRO, A. C. **Oportunidades de Projetos de Redução de Emissões de Gases do Efeito Estufa no Setor de Transportes Através do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL**. Tese de Mestrado: Engenharia de Transportes. UFRJ; Rio de Janeiro, Março de 2007.

CNI, Confederação Nacional da Indústria. **Matriz Energética: Cenários, Oportunidades e Desafios**. Brasília, 2007.

COLTRO, L.; GARCIA, E. E. C.; QUEIROZ, G.C. ***Life Cycle Inventory for Electric Energy System in Brasil***. Campinas: CETEA/ITAL, 2003.

CONAB. **Conjuntura Semanal Dendê (Palma)**. 2006. Disponível em: http://www.conab.gov.br/conabweb/download/cas/semanais/semana11a15092006/dende___2_semana___11_a_15092006.pdf. Último acesso em janeiro de 2008.

EIA, *International Energy Data and Analysis*. ***International Energy Annual 2005***. Disponível em: http://www.eia.doe.gov/iea/carbon.html. Último acesso em janeiro de 2008.

EIA, site. Preços de Petróleo. Disponível em: http://tonto.eia.doe.gov/dnav/pet/pet_pri_spt_s1_d.htm. Último acesso em setembro de 2008.

ENCARNAÇÃO, A. P. G. **Geração de Biodiesel pelos Processos de Transesterificação e Hidroesterificação, uma Avaliação Econômica**. Tese

de Mestrado: Programa em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos. UFRJ, Rio de Janeiro, 2008.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em http://www.epe.gov.br/default.aspx. Último acesso em março de 2008.

FAO. ***Global estimates of gaseous emissions of NH3, NO and N2O from agricultural land.*** Roma, 2001.
Disponível em: ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/globest.pdf. Último acesso em agosto de 2008.

FAS, USDA. ***Palm Oil: World Supply and Distribution***. Disponível em: http://www.fas.usda.gov/psdonline/psdreport.aspx?hidReportRetrievalName=BVS&hidReportRetrievalID=710&hidReportRetrievalTemplateID=8. Último acesso em outubro de 2008.

FONTES, A. O. **Energias Renováveis - Desenvolvimento Tecnológico na Petrobras**. Apresentação de seminário na UFRJ, em Setembro de 2007.

FREITAS, S. **Material da aula de Alternativas Tecnológicas Sustentáveis no Processamento de Óleos Vegetais**. Programa em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos. UFRJ, Rio de Janeiro, 2007.

GEC; Ministério do Meio Ambiente, Japão. **Manual do MDL para Desenvolvedores de Projetos e Formuladores de Política**. Japão, 2006. Disponível em: http://www.mct.gov.br/upd_blob/0024/24662.pdf. Último acesso em outubro de 2008.

GREENTEC. Documentos internos. Rio de Janeiro, 2008.

GRIMALDI, R.; GONÇALVES, L. A. G.; ANDO, M. Y. **Otimização da Reação de Interesterificação Química do Óleo de Palma**. Química Nova vol. 28, no 4. Julho/Agosto 2005.

HAMILTON, K., et al. **Forging a Frontier: State of the Voluntary Carbon Markets 2008.** 2008.

IGWE, J. C.; ONYEGBADO, C. C. ***A Review of Palm Oil Mill Effluent (Pome) Water Treatment***. *Global Journal of Environmental Research*, 1 (2): 54-62, 2007.

INPE, site. **Taxa de Desmatamento Anual da Amazônia Legal**. Disponível em: http://www.obt.inpe.br/prodes/prodes_1988_2007.htm. Último acesso em março de 2008.

KHALIL, C. N. **As Tecnologias de Produção de Biodiesel. O futuro da indústria: biodiesel: coletânea de artigos**. Brasília: MDIC-STI/IEL, 2006.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, disponível em: http://www.agricultura.gov.br. Último acesso em setembro de 2008.

MAPA. **Plano Nacional de Agroenergia – 2006 / 2011**. Brasília, 2006. Disponível em: http://www.agricultura.gov.br/pls/portal/docs/PAGE/MAPA/PLANOS/PNA_2006_2011/PLANO%20NACIONAL%20DE%20AGROENERGIA%202006%20-%202011-%20PORTUGUES.PDF. Último acesso em março de 2008.

MARZULLO, R. C. M. **Análise de Ecoeficiência dos Óleos Vegetais Oriundos da Soja e Palma, Visando a Produção de Biodiesel**. Tese de Mestrado: Escola Politécnica. USP; São Paulo, 2007.

MCT, MRE, MMA, MME, MDIC. **Contribuição do Brasil para Evitar a Mudança do Clima**. 2007.
Disponível em: http://www.mct.gov.br/upd_blob/0018/18757.pdf. Último acesso em janeiro de 2008.

MCT. **Decisão 11/CP.7, 2001**. Disponível em: http://ftp.mct.gov.br/Clima/negoc/pdf/Marraqueche/11cp7.pdf. Último acesso em outubro de 2008.

MCT. **Resolução CIMGC nº 2, de 10 de agosto de 2005**. Disponível em: http://www.mct.gov.br/upd_blob/0008/8023.pdf. Último acesso em setembro de 2008.

MCT. **Resolução CIMGC nº 5, de 11 de abril de 2007**. Disponível em: http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/52695.html. Último acesso em outubro de 2008.

MCT. **Resolução CIMGC nº 7, de 05 de março de 2008**. Disponível em: http://www.mct.gov.br/upd_blob/0023/23744.pdf. Último acesso em outubro de 2008.

MENDONÇA, R. M. L. **Avaliação de Ciclo de Vida do Carbono na Queima do Biodiesel à Base de Óleo de Soja**. Tese de Mestrado: Faculdade de Tecnologia. UnB; Brasília, Abril de 2007.

MONTEIRO, N. **Uma Estratégia para Substituição de Diesel Importado por Biodiesel, e suas Eventuais Implicações**. Tese de Mestrado: Programa em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos. UFRJ, Rio de Janeiro, 2005.

MPOC, disponível em http://www.mpoc.org.my/. Último acesso em outubro de 2008.

OLIVEIRA, L. B. **Potencial de Aproveitamento Energético de Lixo e de Biodiesel de Insumos Residuais no Brasil**. Tese de Doutorado: Programa de Planejamento Energético. UFRJ, Rio de Janeiro, Setembro de 2004.

PARENTE, E. J. S. **Biodiesel no Plural**. Brasília: MDIC-STI/IEL, 2006.

PERES, J. R. R.; BELTRÃO, N. E. M. **Oleaginosas para biodiesel: situação atual e potencial. O futuro da indústria: biodiesel: coletânea de artigos**. Brasília: MDIC-STI/IEL, 2006.

PINTO, H. Q.; ALMEIDA, E. L. F.; BOMTEMPO, J. V. et. al. **Matriz Brasileira de Combustíveis**. Instituto de Economia. UFRJ, Rio de Janeiro, Novembro de 2006.

PNPB, Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel: **Biodiesel, o Novo Combustível do Brasil**, 2005. Disponível em: http://www.biodiesel.gov.br/docs/Folder_biodiesel_portugues_paginado.pdf. Último acesso em abril de 2008.

PRATES, C. P. T; PIEROBON, E. C.; COSTA, R. C. **Formação do Mercado de Biodiesel no Brasil**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, Março de 2007.

PREGA. ***Utilization of Biogas Generated from the Anaerobic Treatment of Palm Oil Mills Effluent (POME) as Indigenous Energy Source for Rural Energy Supply and Electrification*.** Indonésia, Junho de 2004. Disponível em: http://www.adb.org/Clean-Energy/documents/INO-PFS-Biogas-Palm-Oil-Mill.pdf. Último acesso em setembro de 2008.

QUIRIN, M., et al. ***CO_2 Mitigation Through Biofuels in the Transport Sector***. Institute for Energy and Environmental Research Heidelberg. Heidelberg, Alemanha, Agosto de 2004.

REINHARDT, G. *et al*., ***Rainforest for Biodiesel?*** WWF, Frankfurt, 2007.

RODRIGUES, B. W. **Estudo da Atividade Catalítica de Sistemas Homogêneos e Heterogêneos na Produção de Biodiesel a Partir de Ácido Graxo de Palma**. Tese de Mestrado: Programa em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos. UFRJ; Rio de Janeiro, Outubro de 2005.

SANTOS, A. M. **Análise do Potencial do Biodiesel de Dendê para a Geração Elétrica em Sistemas Isolados da Amazônia**. Tese de Mestrado: Programa de Planejamento Energético. UFRJ, Rio de Janeiro, Março de 2008.

SILVA, O. C., STELLA, O., VARKULYA, A. et. al. **Potencial de mitigação de gases estufa pela indústria de óleo de palma visando a captação de recursos do mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL)**. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 3., Campinas, 2000.

SINGH, S. P. et al. ***Emerging Importance of Bio-based Products and Bio-energy in the U.S. Economy: Information Disseminatin and Training of Students***. *Department of Agricultural Sciences. Tennessee State University*, Nashville, Estados Unidos, Junho de 2003.

SOUZA, M.; PALADINO, G. G.; SCHNEIDER, A. H. et. al. **Cenário Energéticos Globais 2020**. Curitiba, 2007.

SOUZA, P. F. M. **Metodologias de Monitoramento de Projetos de MDL: Uma Análise Estrutural e Funcional**. Tese de Mestrado: Programa de Planejamento Energético. UFRJ, Rio de Janeiro, Dezembro de 2005.

STERN, N. **Estudo Stern**: **Aspectos econômicos das mudanças climáticas**. Inglaterra, 2006.

SUDAM / PNUD. **Estudo de Mercado de Matéria-Prima: corantes naturais (cosméticos, indústria de alimentos), conservantes e aromatizantes, bio-inseticidas e óleos vegetais e essenciais (cosméticos e oleoquímica)**. Belém, 2000.

TECBIO, disponível em: www.tecbio.com.br. Último acesso em fevereiro de 2008.

UNFCCC, disponível em http://unfccc.int. Último acesso em outubro de 2008.

VIANNA, F. C. **Análise de Ecoeficiência: Avaliação do Desempenho Econômico-Ambiental do Biodiesel e Petrodiesel**. Tese de Mestrado: Escola Politécnica. USP; São Paulo, 2006.