



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
MUSEU PARAENSE EMILIO GOELDI
EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

DUBER ORLANDO CHINGUEL LABAN

**POTENCIAL DO SEQUESTRO DE CARBONO EM PLANTIOS DE
DENDEZEIROS PARA COMPENSAR AS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO
ESTUFA NO PROCESSO PRODUTIVO DE ÓLEO DE PALMA**

BELÉM-PA

2019

DUBER ORLANDO CHINGUEL LABAN

**POTENCIAL DO SEQUESTRO DE CARBONO EM PLANTIOS DE
DENDEZEIROS PARA COMPENSAR AS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO
ESTUFA NO PROCESSO PRODUTIVO DE ÓLEO DE PALMA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em convênio com EMBRAPA–Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Área de concentração: Clima e Dinâmica Socioambiental na Amazônia

Linha de pesquisa: Interação Clima, Sociedade e Ambiente

Orientador: Dr. Alessandro Carioca de Araújo
Coorientador: Dr. Steel Silva Vasconcelos

BELÉM-PA

2019

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

C539p Chinguel Laban, Duber Orlando

Potencial do sequestro de carbono em plantios de dendzeiros para compensar as emissões de gases de efeito estufa no processo produtivo de óleo de palma / Duber Orlando Chinguel Laban. — 2019.
152 f: il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Alessandro Carioca de Araújo
Coorientador(a): Prof. Dr. Steel Silva Vasconcelos
Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

1. Mudanças climáticas - Amazônia. 2. Aquecimento global. 3. Emissões. 4. Híbrido interestespecífico. 5. ACV. I. Título.

CDD 551.69811

DUBER ORLANDO CHINGUEL LABAN

**POTENCIAL DO SEQUESTRO DE CARBONO EM PLANTIOS DE
DENDEZEIROS PARA COMPENSAR AS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO
ESTUFA NO PROCESSO PRODUTIVO DE ÓLEO DE PALMA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em parceria com o Museu Paraense Emílio Goeldi e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária da Amazônia Oriental, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais. Área em Clima e Dinâmica Socioambiental na Amazônia.

Data de aprovação: 24/ 03 / 2017

Banca Examinadora:



Dr. Alessandro Carioca de Araújo - Orientador
Doutor em Ciências Geoambientais
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária



Dr. Breno Cesar de Oliveira Imbiriba - Membro
Doutor em Física
Universidade Federal do Pará



Dr. José Henrique Cattanio - Membro
Doutor em Agronomia
Universidade Federal do Pará



Dr. Luiz Alexandre Kulay - Membro
Doutor em Engenharia Química
Universidade de São Paulo

*A meus pais, Orlando Chinguel e Segundina Laban, pelo amor incondicional na minha vida.
A minha esposa Sara Jibaja, pela paciência e compreensão.
A meus filhos, Anapaula e Joaquin, é para vocês.
A meus irmãos, Rosário, Demétrio e minha anjo, Gisela.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelas coisas boas que sempre envia para minha vida.

Ao universo pelas energias positivas que recibo no dia a dia.

A minha família Chinguel e Laban, residentes nos Andes do Norte Piurano no Perú, grato pelas mostras incondicionais de apoio.

Aos seguintes órgãos e seus respectivos funcionários, pelo apoio institucional, financeiro e/ou logístico: PPGCA, CAPES, PAEC-OEA. Especialmente à Prof. Dr. Iracilda Sampaio.

Aos colegas da minha turma PPGCA-2015 pelos momentos de aprendizagem, distração e solidariedade e outros muitos vividos ao longo desses últimos dois anos. Especialmente ao Martinho, a Jhanier, a Kelly, o Rogério, o Marcus, e a Leila.

A meu amigo, Luiz neves, pelas lutas juntos na procura do conhecimento e pelas palavras de ânimo nos momentos difíceis, fonte de respeito e consideração.

Aos Professores Dr. Alessandro Carioca de Araújo e Dr. Steel Silva Vasconcelos, pelas orientações e pela oportunidade da realização deste trabalho.

A Embrapa Amazônia Oriental pelo apoio técnico e logístico na condução do trabalho.

À Empresa Marborges Agroindústria S.A, pela concessão da área de pesquisa, em especial a seus colaboradores: Antônio Jose de Abre Pina e Sidney Sousa, imensa gratidão.

Aos companheiros do LASS, especialmente a Raissa Lopez, grato pela ajuda no laboratório.

A todos os meus amigos do Perú, por entender e aceitar a minha ausência.

E a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

Atualmente as plantações de palma de óleo estão se expandindo na Amazônia brasileira, onde encontram-se as condições ótimas para seu desenvolvimento. A limitação da cultura é um fator importante para a manutenção de áreas primárias na Amazônia. Portanto, para conhecer características da cultura dentro de um contexto produtivo é necessário aplicar metodologias que ajudem aos executores das empresas à levarem em consideração as emissões de carbono do produto. Alguns estudos vêm adotando metodologias para determinar as emissões de gases de efeito estufa, emitidos no processo de produção de óleo de palma a través da técnica de avaliação do ciclo de vida. Sabendo da importância de se conhecer detalhadamente as emissões, este trabalho estimou em primeiro lugar, os estoques de carbono no dendê híbrido interespecífico (HIE) (*Elaeis oleifera* cortés x *Elaeis guineensis* jacq) a longo dos 25 anos (tempo do ciclo produtivo da palma), e posteriormente inventariar as emissões de gases de efeito estufa do processo produtivo de óleo de palma na empresa Marborges S.A. Os valores mostram para o dendê híbrido um sequestro de carbono de 0,49 Mt de CO₂ em 25 anos e as emissões do processo produtivo contabilizam-se em 0,39 Mt de CO₂eq. Além disso, estimou-se que nas áreas de vegetação nativa próprias da empresa o sequestro registrou 4,5 Mt CO₂, mais que as plantações de palma. Finalmente pode-se concluir que dentro do contexto ambiental a compensação dos gases emitidos no processo de produção de óleo de palma somente deve acontecer em áreas de pastagens ou áreas sem vegetação aliado á manutenção da vegetação nativa.

Palavras-chave: Mudanças climáticas - Amazônia. Aquecimento global. Emissões. Híbrido interespecífico. ACV

ABSTRACT

Currently, the oil palm plantations are expanding in the Brazilian Amazon, where there are the optimal conditions for their development. The limitation of culture is an important factor for the maintenance of primary areas in the Amazon. Therefore, to know the characteristics of the culture within a productive context it is necessary to apply methodologies that help the executors of the companies to take into account the carbon emissions of the product. Some studies have been adopting methodologies to determine the greenhouse gas emissions emitted in the palm oil production process, through life cycle assessment applications. In this scenario, this work estimated the carbon stocks in the hybrid palm Interspecific (HIE) (*Elaeis oleifera* cortés x *Elaeis guineensis* jacq) over 25 years (productive time of the palm) and later to inventory greenhouse gas emissions from the palm oil production process at Marborges SA. The values show to hybrid palm oil, a carbon sequestration of 0.49 Mt CO₂ in 25 years and emissions from the productive process are recorded at 0.39 Mt CO₂eq. In addition, it was estimated that in the native vegetation areas of the company, the sequestration registered 4.5 Mt CO₂, more than the palm plantations. Finally, it can be concluded that within the environmental context the compensation of the gases emitted in the production process of palm oil should happen in pasture areas only or areas without vegetation allied to the maintenance of the native vegetation.

Keywords: Climate change - Amazon. Global warming. Emissions. Interspecific hybrid. ACV.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Aumento das concentrações atmosféricas de gases de efeito estufa ao longo do tempo.....	25
Figura 2 – O comportamento das mudanças de temperatura global da terra desde o ano 1000 até o ano 2000 estimadas em modelos utilizando parâmetros naturais e antropogênicos.	26
Figura 3 – Aumento das concentrações do dióxido de carbono (CO ₂), metano (CH ₄) e óxido nitroso (N ₂ O) nos últimos 150 anos.....	27
Figura 4 - Mapa resumo do desenho animado da operação de injeção (a), localização do projeto sleipner (b), e a plataforma de injeção de CO ₂ (c).....	31
Figura 5 - Ranking das emissões de gases de efeitos estufa mundiais pela agropecuária em 2011.....	33
Figura 6 - Ações de mitigação descritas no decreto nº 7.390 da PNMC.....	37
Figura 7 - Partes do fruto de dendê de onde são extraídos os óleos de valor comercial.	39
Figura 8 - Diferentes usos e aplicações dos diversos compartimentos da planta de palma.	40
Figura 9 - Porcentagem de participação dos municípios do dendê 2013, no estado do Pará.	43
Figura 10 - Zoneamento de riscos climáticos do dende no estado do Pará.	45
Figura 11 - Deficiência hídrica anual vs. produção anual média de cachos de palma. ..	46
Figura 12 - Mapa de aptidão climática para a cultura da palma na Amazônia.....	46
Figura 13 - Áreas afetadas pelo amarelecimento fatal (af) em municípios produtores de palma de óleo, no estado do Pará.....	47
Figura 14 - Localização geográfica das empresas produtores de óleo de palma no município de Moju- Pará.	51
Figura 15 - Estrutura da avaliação do ciclo de vida.	54
Figura 16 - Fluxograma representativa do sistema de produto de um calçado de couro	59
Figura 17 - Localização da área de estudo da empresa marborges agroindústria s.a, no município de Moju- PA.	64
Figura 18 - Precipitação e temperatura no intervalo de 2005 – 2015, no município de Moju, Pará.....	65
Figura 19 - Diâmetro a 50 cm (d50), diâmetro a altura do peito (dap), diâmetro do coleto (dc) altura total (ht), altura do estipe (he).	66

Figura 20 - Esquema dos distintos compartimentos de uma folha de palma de óleo.....	66
Figura 21 - Diferentes compartimentos da palma de óleo que foram mensurados nesse estudo.	67
Figura 22 - Identificação das amostras (22A1) e secado das amostras, na estufa de circulação forçada (22A2).....	68
Figura 23 – Fluxograma do sistema de produto do óleo de palma na marborges agroindústria S.A no estado do Pará.	70
Figura 24 - Seleção de sementes (a), cobertura com casquinha (b) e técnica de monda (c).	72
Figura 25 - Equipamentos para a limpeza da área e para a incorporação de material orgânico no solo.	73
Figura 26 - Distribuição das plantas do dendê híbrido hie no plantio definitivo.	73
Figura 27 - Roçagem mecânica com trator- roçadeira avaré e o coroamento com facão.	74
Figura 28 - Atividade de capina química e a poda das palmeiras.	75
Figura 29 – Animais (muare e bubalinos) utilizados para o carregamento dos cff dentro das áreas do plantio HIE.	75
Figura 30 - Tipo de caminhões utilizados no transporte de CFF das áreas do plantio até a indústria processadora.....	76
Figura 31 - Recebimento dos CFF (a), vagonetes com CFF (b) e o sistema de supervisão para a esterilização (c).....	76
Figura 32 - Tombador (a), fibras e nozes do prensagem(b), tanque de armazenamento do óleo bruto.	77
Figura 33 - Retirada das fibras (a), quebrador de nozes(b), tanque de cozimento (c) e tanque de armazenamento de óleo de palmiste (d).	78
Figura 34 - Piscina de efluente (a), distribuição do efluente nas áreas de plantio (b)....	79
Figura 35 - Peso fresco total por planta em kg da massa seca em plantas de hie, em função das idades	81
Figura 36 - Relação entre a massa seca (kg) e massa úmida (kg) nos plantios do HIE, em função das idades	82
Figura 37 – Curva do crescimento da biomassa seca aérea do hie (mg ha^{-1}) em função das idades.	82
Figura 38 - Fluxograma geral para a obtenção do diesel usado no sistema de produto.	84

Figura 39 - Entrada dos CFF à etapa industrial, os fluxos internos que ocorrem e os produtos resultantes do processo.	103
Figura 40 - Distribuição dos porcentagem pela categoria mudança climática da etapa agrícola.....	109
Figura 41 - Distribuição dos porcentagem dos gee emitidos no processo da etapa industrial.	110
Figura 42 – Compensação geral entre o sequestro de CO ₂ e as emissões de CO ₂ eq....	115
Figura 43 - Estimativas de sequestro de carbono mg CO ₂ eq ha ⁻¹ em cultivos de HIE	117

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – O potencial de aquecimento global e tempo de vida de alguns gases do efeito estufa.....	27
Tabela 2 - Produtividade esperada de um plantio de palma, em t cachos de frutos frescos por hectare (CFF.ha ⁻¹).....	40
Tabela 3 - Produção anual de cachos de frutos frescos (CFF) em toneladas (t) de 2010 a 2014	41
Tabela 4 - Porcentagem de produção (%prod) no período 2010 a 2014	41
Tabela 5 - Área plantada (ha) e projeção de expansão da palma para 2020 (ha), para as principais empresas produtoras do estado do Pará.	43
Tabela 6 - Características produtivas da cultivar do híbrido interespecífico HIE brs manicoré	48
Tabela 7 - Exemplos de categorias de impacto segundo as modelagens midpoint e endpoint	61
Tabela 8 - Exemplos de categorias de impacto e respectivos resultados do indicador de categoria.....	62
Tabela 9- Lista das abordagens para a elaboração dos questionários, considerando as unidades de processo	72
Tabela 10 - Valores do potencial de aquecimento global usados no estudo da mudança climática do impacto da produção de óleo de palma na marborges s.a.....	80
Tabela 11 - Peso fresco, peso seco e biomassa da parte área do hie em função da idade	82
Tabela 12 - Acúmulo de biomassa aérea e sequestro de carbono em plantios do dendê híbrido interespecífico, na marborges agroindústria S.A	83
Tabela 13 - Inventário para a produção de 1 kg de petróleo e a conversão para 2,32 kg de petróleo de petróleo nacional e importado. sendo as entradas, petróleo, carvão, gás natural, energia, urânio natural e água as fontes de matéria prima. o dióxido de carbono, metano, vapor de água e o material particulado principalmente as saídas de emissões atmosféricas do processo.....	85
Tabela 14 - inventário associado ao transporte marítimo de 1tkm de petróleo, sendo o óleo combustível e o óleo diesel, as fontes de entrada. o dióxido de sulfuro, dióxido de carbono, monóxido de carbono e oxido de nitrogênio as saídas atmosféricas do processo.....	86

Tabela 15 - Inventário do transporte marítimo associado a 1 tkm de petróleo importado	86
Tabela 16 - Inventário consolidado do transporte marítimo de petróleo importado	87
Tabela 17 - Inventário associado ao refino de 1 kg de petróleo nacional e importado e a conversão para 2,32 kg de petróleo nacional e importado.....	87
Tabela 18 - Inventário associado na produção de 1mj de energia elétrica no brasil e a conversão para 1,12 Mj.....	88
Tabela 19 - Inventário consolidado do refino de 2,32 kg de petróleo	89
Tabela 20 - Produção de derivados de petróleo e fatores de alocação	90
Tabela 21 - Inventário consolidado para a produção de 1 kg de óleo diesel.....	90
Tabela 22 – Emissões ao solo derivados da aplicação dos defensivos agrícolas na etapa agrícola	92
Tabela 23 - Inventário da aplicação de fertilizantes e água na etapa agrícola, sendo o n, p, k, as entradas de matéria prima e o CO ₂ , CO, CH ₄ , N ₂ O, NMVOC, SO ₂ as emissões atmosféricas.....	92
Tabela 24 - Inventário das entradas para a produção de 1 t de nutrientes N, P, K são a eletricidade, gás natural, óleo diesel, petróleo, água. as saídas atmosféricas da produção são o material particulado, o CO, CO ₂ , CH ₄ entre outros, além disso as emissões líquidas (DBQ, DQO).	93
Tabela 25 - Inventário parcial da produção de fertilizantes para a produção de 1 t de óleo de palma com a formulação 39,97 N; 33,92 P E 61,14 K.	94
Tabela 26 –Valores das emissões atmosféricas da queima de 1 kg de óleo diesel.....	94
Tabela 27 - Inventário consolidado da produção dos fertilizantes usados para a produção de 1 t de óleo de palma	95
Tabela 28 - Inventário do transporte de nutrientes desde os fornecedores até o misturador no estado do para (Município de Barcarena).....	96
Tabela 29 - Inventário para o transporte consolidado de nutrientes para a produção de 1 t de óleo de palma	97
Tabela 30 - Inventário do transporte terrestre de fertilizantes para a produção de 1t de óleo de palma, na distância de 122 km entre Barcarena e Moju	97
Tabela 31 - Inventário consolidado do transporte de fertilizantes utilizando a formulação media npk, no trajeto (Barcarena –Moju).....	98
Tabela 32- Inventário total consolidado do transporte de fertilizantes para a produção 1 t de óleo de palma	99

Tabela 33 - Consumo do diesel em litros, dos equipamentos usados nas operações mecânicas.....	99
Tabela 34 - Inventário consolidado associado as operações mecânicas para a produção de 1 t de óleo de palma.....	100
Tabela 35 - Inventário consolidado de emissões pela fermentação entérica dos muares e bubalinos, para a produção de 1 t de óleo de palma.....	101
Tabela 36 - Inventário associado ao transporte de 5 t de cff para a produção de 1 t de óleo de palma.....	101
Tabela 37 - Inventário total consolidado da etapa agrícola para a produção de 1 t de óleo de palma.....	102
Tabela 38 - Inventário consolidado do consumo de energia elétrica para a produção de 1 t de óleo de palma.....	104
Tabela 39 - Inventario das emissões atmosféricas pela queima de fibras e cascas para produção de 1 t de óleo de palma.....	105
Tabela 40 - Inventário consolidado das emissões do pome para produzir 1 t de óleo de palma.....	106
Tabela 41 - Inventário consolidado associado à etapa industrial para a produção de 1 t de óleo de palma.....	106
Tabela 42 - Inventário total consolidado da produção de 1 t óleo de palma na marborges agroindústria S.A.	107
Tabela 43 - Estimativa das emissões de gee em cada processo da etapa agrícola convertidas a CO ₂ eq.....	109
Tabela 44 – Estimativas das emissões de gee em cada processo da etapa industrial convertidas para CO ₂ eq.....	110
Tabela 45 - Distribuição das emissões totais de gee na produção de 1 t de óleo de palma.....	110
Tabela 46 - Inventário consolidado da produção de 1 t de óleo de palma e fatores de alocação específicos para os coprodutos.....	111
Tabela 47 - Distribuição das emissões de gee associadas ao fator de alocação para aos três coprodutos gerados.....	112
Tabela 48 - Emissões de gee alocados para os coprodutos de óleo de palma, por tonelada de óleo produzido nos 25 anos.....	113
Tabela 49 - Carbono e CO ₂ estocado em plantações de hie e reserva legal em marborges agroindústria s.a. estado do Pará, Brasil de 2016.....	114

Tabela 50 – Estimativa do balanço geral entre o sequestro de CO ₂ pelas plantações do HIE, a mudança no solo de pastagens para cultivo do HIE, e as emissões de gee do processo de produção de óleo de palma e a conversão das áreas de pastagens.....	114
Tabela 51 - Comparação da biomassa área do HIE em diferentes estudos	116
Tabela 52 - Comparação das emissões de gee pela categoria mudança climática na etapa agrícola	118
Tabela 53 - Comparação das emissões de gee pela categoria mudança climática do POME	120

LISTA DE ABREVIATURAS

°C	Graus Celsius
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
AF	Amarelecimento Fatal
BR-010	Rodovia Belém-Brasília
CFF	Cachos de frutos frescos
CH ₄	Metano
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
CO ₂ eq	Dióxido de carbono equivalente
COP	Cooperação das Partes
COVNM	Compostos Orgânicos Não Voláteis do Metano
C _x H _y	Hidrocarbonetos
DBO	Demanda Biológica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
g	Gramas
GEE	Gases de Efeito Estufa
GJ	Giga joule
Gt C	Gigatoneladas de Carbono
h.h	Horas homem
H ₂ S	Sulfeto de Hidrogênio
ha	Hectare
HIE	Híbrido Interespecífico
IDH	Índice Desenvolvimento Humano
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
kg	Quilograma
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
Mg	Megagrama
Mt	Megatonelada
MJ	Megajoule
Mm	Milímetro
N ₂	Dinitrogênio
NH ₃	Amônia

NO ₂	Dióxido nitroso
NO _x	Óxidos nitrosos
P	Precipitação
PA-150	Rodovia Estadual do Pará
PIB	Produto Bruto Interno
PNPB	Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel
PSOP	Programa de Produção Sustentável da Palma de Óleo
REDD	Redução das Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal
SO _x	Óxidos de enxofre
t	tonelada
UNFCCC	Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança Climática

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	26
1.1	Definição do problema de pesquisa	23
2	OBJETIVOS	24
3	REFERENCIAL TEÓRICO	25
3.1	A Questão da Mudança Climática	25
3.1.1	A Convenção do Clima	28
3.1.2	O “MDL” - Mecanismo de Desenvolvimento Limpo	29
3.1.3	Compensação e Sequestro de Carbono	30
3.1.4	A Mudança do clima e a agricultura no Brasil	32
3.1.5	Mudança e uso da terra.....	34
3.1.6	Plano nacional sobre mudança do clima (Plano Clima).....	35
3.2	A Cultura da Palma de óleo.....	37
3.2.1	Produção de Palma de Óleo.....	38
3.2.2	Municípios Produtores de óleo de Palma	42
3.2.3	Políticas de Orientação à Expansão da Palma.....	43
3.2.4	Hibridação da Palma de óleo.....	48
3.3	Reservas Legais e Áreas de Preservação Permanente	49
3.4	Moju e a cultura de palma de óleo.....	50
3.5	Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)	52
3.5.1	Aplicações da ACV	53
3.5.2	Limitações da ACV	53
3.5.3	Metodologia de ACV	54
3.5.3.1	<i>Definição de Objetivo e Escopo</i>	<i>54</i>
3.5.3.2	<i>Objetivo do estudo de ACV</i>	<i>55</i>
3.5.3.3	<i>Escopo do estudo de ACV.</i>	<i>55</i>
3.5.4	Análise do inventário do ciclo de vida (AICV)	58
3.5.5	Classificação.....	62

3.5.6	Caracterização.....	62
3.5.7	Interpretação.....	63
3.5.8	Comunicação e revisão crítica.....	63
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	64
4.1	Descrição da área de estudo.....	64
4.1.1	Coleta de dados.....	65
4.1.1.1	<i>Determinação da biomassa da parte aérea na palma de óleo.....</i>	65
4.1.1.2	<i>Estimação da biomassa aérea.....</i>	68
4.1.1.3	<i>Conteúdo de carbono na biomassa.....</i>	68
4.2	Avaliação do ciclo de vida.....	69
4.2.1	Definição de objetivo da ACV.....	69
4.2.2	Função.....	69
4.2.3	Definição da Unidade Funcional e Fluxo de Referência.....	69
4.2.4	Sistema de Produto.....	69
4.3	Caracterização do Subsistema Agrícola.....	72
4.4	Caracterização do subsistema industrial.....	76
5	RESULTADOS.....	81
5.1	Biomassa aérea.....	81
5.1.1	Biomassa do híbrido interespecífico (HIE).....	81
5.2	Sequestro de carbono na parte aérea.....	83
5.2.1	Análise do Inventário do ACV.....	84
5.2.1.1	<i>Inventário do Óleo Diesel.....</i>	84
5.2.1.2	<i>Inventário do Subsistema Agrícola.....</i>	91
5.2.1.2.1	Inventário dos Fertilizantes.....	92
5.2.1.2.2	Inventário do Transporte.....	95
5.2.1.2.2.1	Inventário do Transporte Rodoviário dos Fertilizantes.....	95
5.2.1.2.2.2	Inventário das Operações Mecânicas.....	99
5.2.1.2.2.3	Inventário da Colheita dos CFF.....	100

5.2.1.2.2.4	Inventário do Transporte Rodoviário dos CFF até a usina extratora	101
5.2.1.3	<i>Inventário consolidado da etapa agrícola para produzir 1t de óleo de palma</i> 102	
5.2.1.4	<i>Inventário na Etapa Industrial da produção de óleo de Palma</i>	103
5.2.1.5	<i>Inventário Total consolidado do processo de produção de Óleo de Palma na Marborges S.A</i>	107
5.2.2	Categoria de Impacto: Mudança climática.....	108
5.2.2.1	<i>GEE da Etapa Agrícola</i>	108
5.2.2.2	<i>GEE da Etapa Industrial</i>	109
5.2.2.3	<i>Consolidação total dos GEE na produção de 1 t de óleo de palma</i>	110
5.2.3	Alocação entre os coprodutos.....	111
5.2.3.1.	<i>Distribuição das emissões de GEE com alocação</i>	112
5.3	Consolidação das emissões de GEE no ciclo produtivo (25 anos)	112
5.4	Emissões pela Mudança de Uso do Solo	113
5.4.1	Conversão do Pastagem – Plantação de Palma de Óleo.....	113
5.5	Compensação geral dos GEE	114
6	DISCUSSÃO	116
7	CONCLUSÕES	124
8	RECOMENDAÇÕES	125
	REFERENCIAS	126
	ANEXO A	145
	ANEXO B	146
	ANEXO C	147
	ANEXO D	148
	ANEXO E	149
	ANEXO F	150
	ANEXO G	151
	ANEXO H	152

1. INTRODUÇÃO

O “dendê”, palma ou palma de óleo (*Elaeis guineensis*) apresenta a maior produtividade de óleo vegetal entre as plantas cultivadas, em média são 4 a 6 toneladas de óleo/ha e pode produzir durante um período de 25 a 30 anos (ROCHA, 2007). Sua extraordinária eficiência na produção de biomassa determina que os plantios estejam restritos a países de baixa latitude, na América Latina, África subsaariana e Sudeste asiático. Por ter o mais baixo custo de produção, o óleo de palma (polpa) é também o mais produzido no mundo, largamente utilizado na indústria alimentícia, na indústria de higiene e química, e produção de biocombustíveis (VILLELA, 2014).

No Brasil, a região norte, apresenta as condições climáticas e ambientais propícias para o cultivo de diversas oleaginosas como a palma e babaçu (MAPA, 2014). Assim no estado do Pará, o clima é adequado para o desenvolvimento da palma, com temperatura média entre 24°C e 28°C, luminosidade ótima e precipitações de 2500 mm, bem distribuídas no decorrer do ano (BASTOS, *et al.*, 2001; FURLAN, 2006).

No Pará as plantações de Palma de óleo, estão ocupando mais de 140 mil hectares e com potencial de expansão nos próximos anos (FAPESPA, 2015). Como ocorre em todas as monoculturas extensivas desenvolvidas na região tropical úmida, o cultivo da palma de óleo também está sujeito a uma infestação acentuada de doenças e pragas (MEDEIROS; SANO, 1988) como o Amarelecimento Fatal (AF) que é um problema de caráter fitossanitário de extrema importância para a economia dos países que cultivam essa oleaginosa, em particular para o Brasil. Desde a primeira ocorrência descrita sobre o AF, em 1974, mais de 5000 hectares de dendezais foram erradicados por causa deste problema fitossanitário (VENTURIERI *et al.*, 2009).

Assim, a alternativa para manter ou expandir a produção de palma de óleo em áreas de ocorrência do amarelecimento fatal é o uso de cultivares, em áreas degradadas (LOPES *et al.*, 2012), com o híbrido interespecífico (HIE) (*Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*) que apresenta resistência ao AF (CUNHA; LOPEZ, 2010). Além da resistência ao AF, as cultivares de híbrido interespecífico podem apresentar uma produção de cachos equivalente ou superior aos valores descritos na literatura para cultivares de dendê africano (SANTOS *et al.*, 2015).

Segundo o Zoneamento Agroecológico (ZAE-Dendê), o potencial de produção de óleo de dendê no Brasil é de cerca de 30 milhões de hectares (EMBRAPA, 2010). As áreas consideradas aptas à dendeicultura correspondem apenas aquelas já degradadas, além de não serem produtivas, possuem baixa assimilação de carbono atmosférico por área (SOUZA *et al.*, 2010).

A implantação de cultivos de palma nessas áreas, traz consigo algumas mudanças, como a fixação do homem ao campo, geração de novos empregos com aumento da renda familiar, principalmente por disponibilizar de uma produção durante todo o ano e desde o ponto de vista biológico, a palma é de rápida adaptação, que a tornam uma espécie apropriada para a recuperação de áreas degradadas (BRITO, 2007). Possui, grande capacidade de fixação de carbono, alta eficiência na conversão energética e gera, também, subprodutos com uso energéticos (cascas, fibras e efluentes da usina de processamento de cachos) (LOPEZ *et al.*, 2008).

Sendo assim, a dendeicultura no Brasil e no Pará tem potencial para desempenhar um papel importante frente às mudanças climáticas e sociais, pois contribui na absorção de CO₂ durante o crescimento da cultura, por ser uma espécie permanente de longa vida, ao mesmo tempo que contribui com a redução de emissões de CO₂ próprias das indústrias produtoras de óleo de palma (AHOLOUKPÈ *et al.*, 2013; FRAZAO, 2012; RODRIGUES *et al.*, 2014).

Segundo Becker (2010) um novo momento se configura para a Amazônia. O grande desafio que se coloca hoje para a região é como utilizar, sem destruir, o seu valioso patrimônio natural para beneficiá-la. Para Homma (2016) o desafio está relacionado com as tecnologias agrícolas e ambientais que precisam ser desenvolvidas nos próprios locais de modo a integrar o conhecimento com a capacidade tecnológica do Brasil. Além disso, é possível alcançar a sustentabilidade na Amazônia a partir da relação das três naturezas: a floresta intocada, a *primeira natureza*; a área desmatada, a *segunda natureza*; e a *terceira natureza*, resultante da transformação pelo menos da *segunda natureza* em atividades produtivas sustentáveis que gerem renda e emprego.

1.1. Definição do problema de pesquisa

Na procura por desacelerar a mudança climática, alguns governos, empresas, instituições, vêm adotando ações contra o aumento das emissões de GEE (NASCIMENTO, 2012). Neste processo, surgiu o conceito de compensação ou mitigação de GEE (BRIANEZI *et al.*, 2014), adotado principalmente a uma empresa, produto, serviço ou processo. Atualmente os cientistas vêm avançando na aplicação de metodologias que monitorem os GEE, nos diferentes níveis dos processos produtivos, para a posterior aplicação de medidas corretivas de redução.

Portanto, o problema de pesquisa é se o potencial do sequestro de carbono pelas plantações do dendê híbrido interespecífico (*Elaeis oleifera x Elaeis guineensis*) pode compensar as emissões de gases de efeito estufa produzidas no processo produtivo de óleo de palma, na Marborges Agroindústria S.A, no estado do Pará.

2. OBJETIVOS

Objetivo geral

Estimar a compensação de CO₂eq emitidos no processo produtivo de óleo de palma, pelo sequestro potencial de carbono em plantios do dendê híbrido interespecífico.

Objetivos específicos

Determinar o sequestro potencial de carbono da parte aérea, durante o ciclo produtivo da cultura em plantios de híbridos interespecíficos.

Estimar os principais GEE emitidos durante o processo de produção de óleo de palma, nas fases agrícola e industrial mediante a técnica do ACV.

Avaliar a compensação de emissões de GEE, através do sequestro de carbono nos plantios do dendê híbrido.

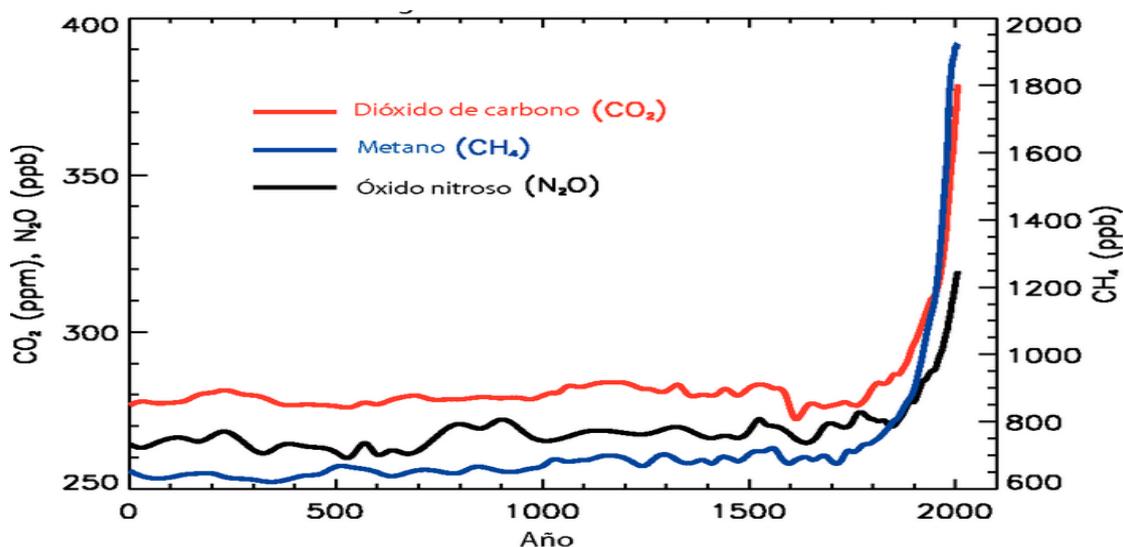
3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. A Questão da Mudança Climática

A terra passa por um período de mudanças no clima como: mudanças no regime de chuvas e secas, desertificação, derretimento de geleiras, aumento no nível de oceanos, etc. Uns dos fenômenos mais notáveis neste quadro é a elevação da temperatura média no planeta, que faz com que este conjunto de eventos seja também conhecido como aquecimento global (EPA, 2015).

O planeta já passou por outros períodos de mudanças climáticas, nas eras glaciais e em períodos mais recentes entre os séculos XV e XVIII, as quais podem ter ocorrido por diversos fatores, tais como: concentração de gases e aerossóis na atmosfera, variação na radiação solar, alteração nas propriedades da superfície terrestre, erupções vulcânicas, mudanças na órbita terrestre e nos regimes dos oceanos, etc. (IPCC, 2007). No caso das mudanças atuais, a hipótese mais aceita é que sejam associadas à ação humana, pelo aumento da concentração de gases do efeito estufa na atmosfera (Figura 1), mudanças na cobertura vegetal e outros fatores que alteram balanço de energia, absorção, dispersão e emissão de radiação no planeta. Esta hipótese é reforçada por estudos cujos resultados de modelos, considerando fatores antropogênicos, apresentam boa correlação com os aumentos medidos, ao contrário do que ocorre com resultados de modelos, considerando apenas, fatores naturais.

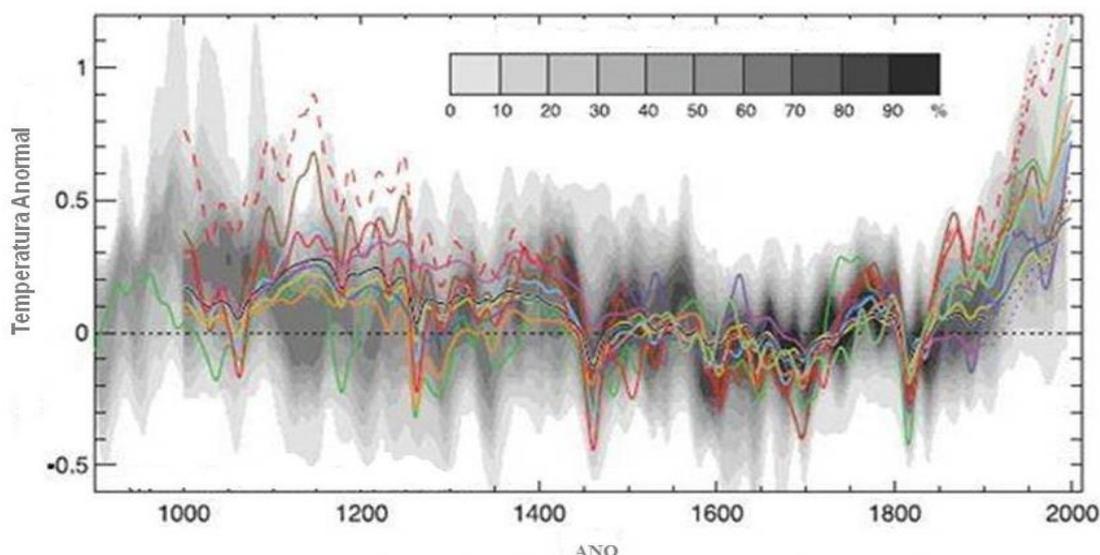
Figura 1 - Aumento das concentrações atmosféricas de gases de efeito estufa ao longo do tempo.



Fonte: IPCC (2007).

Informações paleo-climáticas usadas para determinar indicadores climáticos passados, a partir do estudo de anéis de árvores, camadas de gelo, sedimentos, rochas, etc., indicam que o aquecimento global não tem precedentes nos últimos 1300 anos (IPCC, 2007a) (Figura 2).

Figura 2 – O comportamento das mudanças de temperatura global da terra desde o ano 1000 até o ano 2000 estimadas em modelos utilizando parâmetros naturais e antropogênicos.

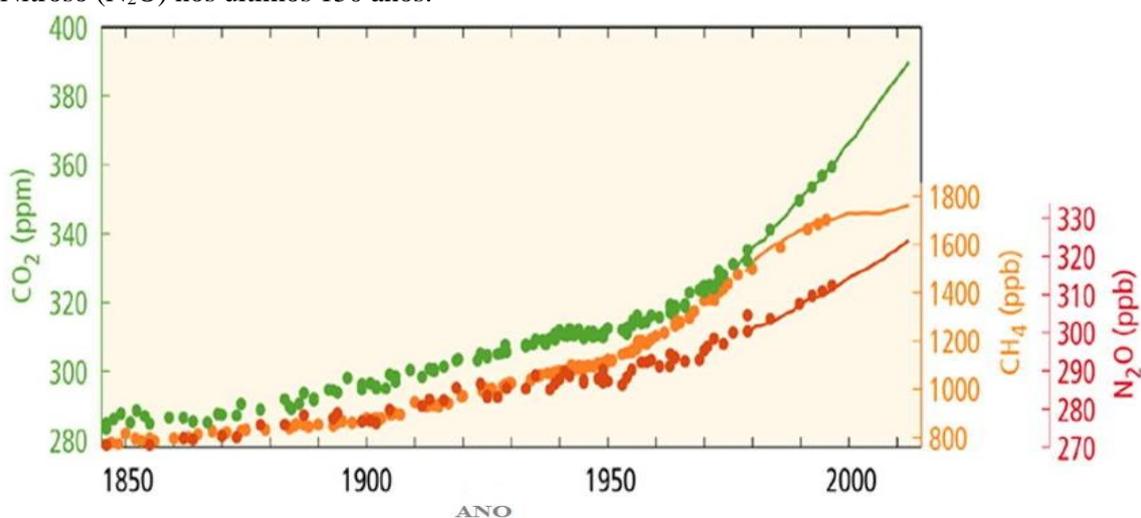


Fonte: IPCC (2007a).

Um dos fatores determinantes nas mudanças climáticas é a concentração de gases de efeito estufa na atmosfera (GEE), aqueles com a capacidade de reter radiação solar incidente na superfície terrestre como, vapor de água, gás carbônico (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), entre outros gases. O CO_2 é o principal deles e suas emissões antrópicas são associadas principalmente à queima de combustíveis fósseis, e de resíduos de biomassa e a mudanças no uso da terra (IPCC, 2007a). O metano é emitido na produção e transporte de carvão e na queima de combustíveis como gás natural, carvão, petróleo, etc., em atividades agrícolas e em depósitos de resíduos sólidos municipais (IPCC, 2007a). O óxido nitroso é, emitido na agricultura, indústrias e a partir da queima de combustíveis e resíduos sólidos.

A concentração dos GEE na atmosfera vem aumentando desde o período pré-industrial (Figura 3); por exemplo a concentração de CO_2 aumentou de 280 ppm (partes por milhão) no período 1850 para 406.13 ppm na recente publicação do Observatório Mauna Loa (2017).

Figura 3 – Aumento das concentrações do Dióxido de Carbono (CO₂), Metano (CH₄) e Óxido Nitroso (N₂O) nos últimos 150 anos.



Fonte: IPCC (2014).

Os gases de efeito estufa apresentam variações nas suas influências sobre as mudanças climáticas, que podem ser medidas pelo potencial de aquecimento global (Tabela 1). Apesar do potencial do CO₂ ser muito menor em relação aos outros GEE, sua participação é a maior no aquecimento devido aos altos níveis emitidos.

Tabela 1 – O Potencial de aquecimento global e tempo de vida de alguns gases do efeito estufa

Fórmula química	Potencial de Aquecimento Global para 100 anos		
	SAR	AR4	AR5
CO ₂	1	1	1
CH ₄	21	25	28
N ₂ O	310	298	265
CHF ₃	11.700	14.800	12.400
CH ₂ F ₂	650	675	677
CHF ₂ CF ₃	2.800	3.500	3.170
CH ₂ FCF ₃	1.300	1.430	1.300
CH ₃ CF ₃	3.800	4.470	4.800
CF ₄	6.500	7.390	6.630
C ₂ F ₆	9.200	12.200	11.100
C ₆ F ₁₄	7.400	9.300	7.910
SF ₆	23.900	22.800	23.500

SAR: Segundo relatório de avaliação; AR4: Quarto relatório de avaliação; AR5: Quinto relatório de avaliação

Fonte: IPCC (2014).

3.1.1. A Convenção do Clima

Para tratar o problema do efeito estufa e suas possíveis consequências sobre a humanidade, foi estabelecida, em 1992, durante o Rio 92, a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas (em inglês, UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE- UNFCCC, 2001a). A convenção do clima tem como meta propor ações para os países do ANEXO I (basicamente países industrializados)¹, para que estes estabilizem as concentrações atmosféricas dos gases de efeito estufa (GEE) de forma a impedir que atividades antrópicas levem a uma “interferência perigosa” no clima do planeta. A Convenção do Clima entrou em vigor em 1994 e conta atualmente com 186 países. Desde então, as partes têm-se reunido para discutir o assunto e tentar encontrar soluções para o problema apresentado.

A conferência das partes realizada em Quioto em 1997 destacou-se como uma das mais importantes, uma vez que, durante sua realização, foi estabelecido um acordo que define as metas de redução das emissões de GEE para os países do Anexo I (países com compromissos de redução das emissões de GEE), além de critérios e diretrizes para a utilização dos mecanismos de mercado. Esse acordo ficou conhecido como Protocolo de Quioto (UNFCCC, 2001b) e estabelece que os países industrializados devem reduzir entre 2008 e 2012 suas emissões em 5,2% abaixo dos níveis observados em 1990 (primeiro período de compromisso).

A 21ª Conferência das Partes (COP21) foi realizada em dezembro do 2015 em Paris – França, quando, pela primeira vez, houve um consenso global em que os 195 países signatários reconheceram que as emissões de GEE precisam ser desaceleradas e que os países devem trabalhar para que o aquecimento permaneça abaixo de 2°C, buscando limitá-lo a 1,5°C.

Mas a partir do Protocolo de Quito, ficou claro que o mercado poderia auxiliar no processo de redução das emissões de GEE, por meio da proposta de se criar um valor transacionável para essas reduções. Dentro desse princípio, foram estabelecidos mecanismos de flexibilização, entre eles o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL- Artigo 12 do Protocolo de Quioto). A proposta do MDL consiste em que cada

¹ A lista de países membros do Anexo A encontram-se na tabela ANEXO 1.

tonelada de CO₂ deixada de ser emitida ou retirada da atmosfera por um país em desenvolvimento poderá ser negociada no mercado mundial, criando um novo atrativo para redução das emissões globais. Os países em desenvolvimento podem utilizar o MDL para promover seu desenvolvimento sustentável (UNFCC, 2001b).

3.1.2. O “MDL” - Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

Este mecanismo teve origem na proposta brasileira apresentada em maio de 1997 ao secretariado da convenção em Bonn (Alemanha), como o objetivo de estabelecer a redução nas emissões de gases de efeito estufa. A proposta visava à criação de um fundo de desenvolvimento limpo, formado por contribuições de países desenvolvidos que não cumprissem suas quotas, e que seriam utilizadas para o desenvolvimento de projetos desta finalidade em países em desenvolvimento. Dessa maneira, o MDL cria um novo mercado, o “mercado das *commodities* ambientais” ou mercado de carbono gerando novas chances de negócios para os países em desenvolvimento, como o Brasil (CEZARINI NETO, 2002).

Fearnside (2001, 2012 a, b) argumenta que a debilidade do MDL em projetos no âmbito das florestas tropicais levou à criação da Redução das Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal (REDD) que surgiu na COP-11, em Montreal, em 2005, e foi aprovada na COP 13, em Bali (HOMMA, 2013b). O REDD é visto por alguns como a defesa das florestas tropicais e por outros como um comércio que faria uma precificação da natureza ou um truque para permitir que os países ricos continuem ao desastre climático. Essas controvérsias têm origem em uma longa lista de considerações políticas e outras, muitas das quais têm pouco a ver com as questões climáticas (FEARNSIDE, 2015).

As possibilidades e a amplitude dos efeitos do MDL sobre a base florestal mundial ainda são incertas. Há grandes variações nas tentativas de quantificar o mercado de carbono, em países como o Brasil, que possuem vastas áreas passíveis de reflorestamento e clima favorável a taxas elevadas de acúmulo de biomassa, serão bastante beneficiados se o princípio da adicionalidade (que permitem a implantação de novos projetos florestais para a fixação de quantidades adicionais de carbono atmosférico), vier a prevalecer (CEZARINI NETO, 2002).

No contexto do MDL, o mercado voluntário de carbono da floresta já existe, mas ainda tem um potencial limitado, onde a regularização e o mercado ainda não existe no âmbito da convenção do clima. A aplicação de políticas ambientais tornaria aos países do mundo se virem sérios sobre a contenção do aquecimento global e concordem em fazer as grandes reduções necessárias nas emissões de gases de efeito estufa (FEARNSIDE, 2015).

3.1.3. Compensação e Sequestro de Carbono

A compensação visa como uma forma de mitigação ambiental em que indústrias, empresas, instituições e cidadãos têm a possibilidade de compensar suas emissões de CO₂ (PÉLLICO NETTO *et al.*, 2008). Ramseur (2008) define que as compensações de emissões são descritas como um alicerce, dentro de um projeto, cujo principal objetivo é reduzir, evitar ou sequestrar as emissões de gases de efeito estufa. Vários setores da sociedade têm adotado essa prática de compensação, por ser uma alternativa econômica e ambientalmente viável, incluindo governos, indústrias e sociedade civil, por meio da obrigação de plantio de árvores e reflorestamento (MEDEIROS; DANIEL, 2011)

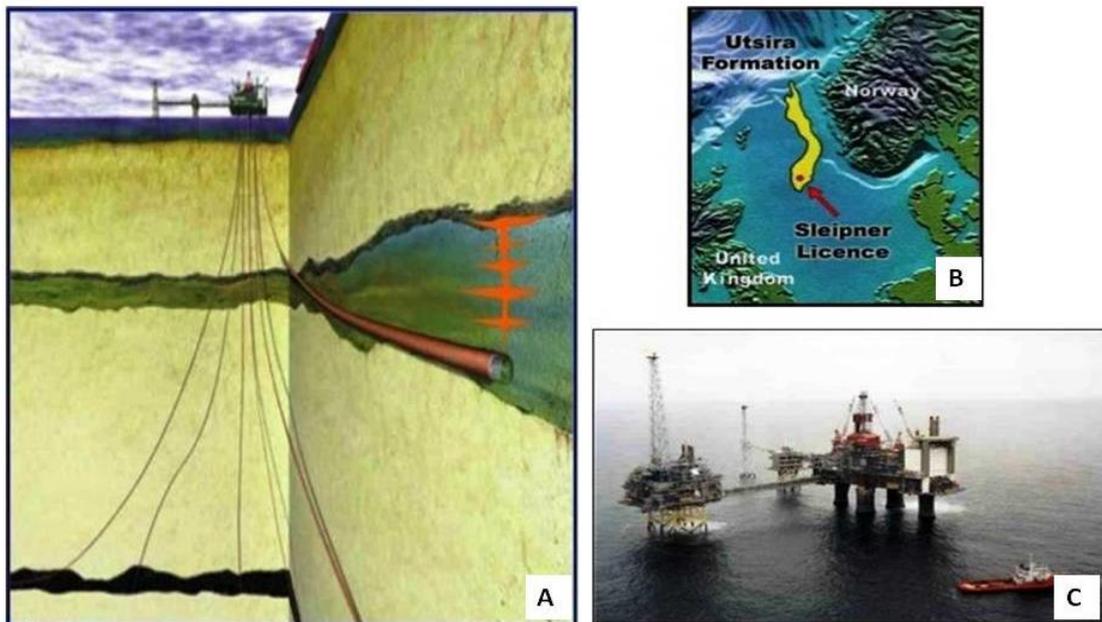
Segundo Renner (2004) o conceito de sequestro de carbono, é definido como a retirada do gás carbônico atmosférico através da absorção e armazenamento com a intenção de minimizar seus impactos no ambiente, e pode-se dar de duas formas: as que dependem exclusivamente da ação humana com o uso da tecnologia disponível, e as que fazem parte do ciclo natural do carbono.

No primeiro caso, segundo Baird *et al.*, (2002) o CO₂ pode ser sequestrado por submersão nas profundezas dos oceanos, onde seria dissolvido, ou em aquíferos muito profundo embaixo da terra ou do mar, ou em poços de gás ou em minas de carvão desativadas. Nas proximidades do fundo do mar, o dióxido de carbono reagiria com o carbonato de cálcio sólido formado pelas conchas marinhas para produzir bicarbonato de sódio solúvel. Outra sugestão é a criação de esferas sólidas gigantes de CO₂ sólido, ou gelo-seco e seu posterior isolamento e estocagem abaixo de -79°C. Segundo o mesmo autor, uma maneira de extrair o CO₂ já presente na atmosfera e depositá-lo no fundo do oceano, é através da fertilização com ferro.

Outra forma de armazenamento é como se apresenta na Figura 4 do Projeto Sleipner. Operado desde 1996 pela petrolífera Norueguesa Statoilhydro, que injeta CO₂

separado de gás natural na formação Utsira, um aquífero salino situado a 900 m abaixo de leito do Mar do Norte.

Figura 4 - Mapa resumo do desenho animado da operação de injeção (A), localização do projeto Sleipner (B), e a plataforma de injeção de CO₂ (C).



Fonte: Persoglia (2013).

Do projeto Sleipner, o armazenamento de CO₂ no subsolo, tem a capacidade de capturar cerca de um milhão de toneladas de CO₂ por ano (CHADWICK; EIKEN, 2013), diminuindo as concentrações de dióxido de carbono da atmosfera. Atualmente, os custos para essa tecnologia ainda são muito elevados, entretanto, pesquisas estão sendo realizadas para reduzi-los. As bacias de gás e óleo esgotadas poderiam tornar-se áreas úteis de armazenamento (IPIECA, 1999).

De outro lado, existe o sequestro biológico (ciclo natural), termo prescrito na conferência de Kyoto em 1997, cujo processo permite fixar e reter o carbono em forma de matéria lenhosa nas plantas, através da fotossíntese. Processo relacionado ao sequestro de carbono (YU, 2004). Segundo Sanquetta e Balbinot (2004) o sequestro de carbono relaciona-se normalmente ao potencial de estocar carbono em florestas e outros tipos de vegetação.

Para Renner (2004) uma alternativa viável para amenizar o aumento da temperatura global, resultante do aumento das emissões de GEE é pelo sequestro de carbono florestal, onde os vegetais, utilizando sua capacidade fotossintética, capturam o CO₂ atmosférico, biossintetizando na forma de carboidratos, sendo por fim depositados na parede celular,

assim o dióxido de carbono pode ser removido da atmosfera por meio do crescimento de plantas (BAIRD *et al.*, 2002). De tal modo, que, a obtenção de cálculos confiáveis de estoque de carbono da vegetação é essencial para estimar a quantidade de carbono, emitida ou sequestrada, no tempo e no espaço (HIGUCHI *et al.*, 2004).

3.1.4. A Mudança do clima e a agricultura no Brasil

O Brasil é hoje um dos maiores produtores de alimentos do mundo, sendo também o país com maior capacidade de aumentar sua produção e exportação agropecuária e atender a demanda futura por alimentos (OCDE, 2015). Ligado ao aumento de sua produção agropecuária em torno de 30%, o Brasil, está também entre os 10 países com maiores emissores globais de CO₂eq² (SEEG, 2014).

A disponibilidade de terra adequada para atividades agropecuárias, aliada às condições climáticas favoráveis, à abundância de água, assim como ao empreendedorismo dos produtores, permitiram o crescimento dos setores da agricultura e da pecuária, mas também, essa expansão provocou a mudança do uso da terra e colocou a agricultura brasileira como um dos responsáveis pela emissão de GEE (ASSAD *et al.*, 2012).

No ano 2014 o Brasil emitiu 1.336 Mt de CO₂eq, e em 2015 1.402 Mt de CO₂eq, dos quais o setor agropecuário contribui diretamente com cerca de 30% (423 Mt de CO₂eq) (SEEG, 2014). As emissões causadas diretamente pela agropecuária especificamente, se referem a produção animal e vegetal, ao uso de fertilizantes nitrogenados, disposição de dejetos animais e decomposição de resíduos culturais (SEEG, 2014). De outro lado, só a agricultura chega a ser responsável por quase 60% das emissões brasileiras quando são indiretas tais como: emissões provenientes do desmatamento dos ecossistemas naturais para expansão agrícola, do uso de combustíveis fósseis na agricultura e do tratamento de efluentes industriais (SEEG, 2014).

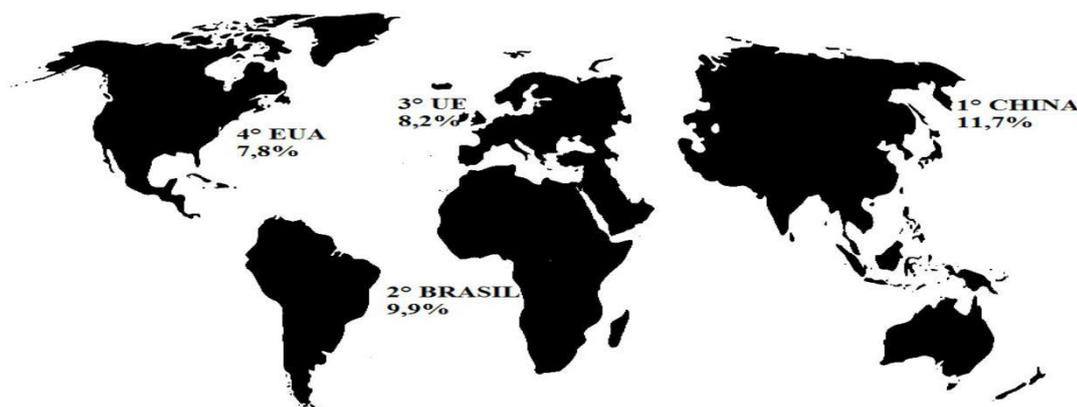
Dentre os setores da agropecuária, as emissões por fermentação entérica do rebanho de ruminantes (predominantemente bovinos de corte) é a causa da maior parte das emissões de GEE do setor (IMAFLOA, 2016). Em segundo lugar estão as emissões resultantes das atividades em solos agrícolas (que incluem os fertilizantes sintéticos, o

² Dióxido de Carbono equivalente (CO₂eq.) Concentração de CO₂, que poderia causar o mesmo grau de forçamento radiativo que uma mistura determinada pelo CO₂ e outros gases de efeito estufa (IPCC, 2001)

adubo de origem animal, os dejetos animais depositados em pastagem, os cultivos de solos orgânicos e os restos de culturas agrícolas). Posteriormente estão as emissões de manejo de dejetos de animais, do cultivo de arroz irrigado e da queima de resíduos agrícolas, como a cana-de-açúcar (IMAFLORA, 2016).

Se as emissões forem divididas por subsetores da agricultura e pecuária, nota-se que 84% das emissões do setor são provenientes da produção animal (76% provenientes da bovinocultura de corte e leite), aproximadamente 7% da produção vegetal, 8% da aplicação de fertilizantes nitrogenados e os 2 % restantes de outras fontes, segundo o World Resources Institute (WRI), estes números levam ao Brasil a ocupar o 2º lugar no ranking das emissões em atividades agropecuárias do mundo (Figura 5).

Figura 5 - Ranking das emissões de gases de efeitos estufa mundiais pela agropecuária em 2011.



Fonte: (IMAFLORA, 2016).

Em 2014 o Mato Grosso, Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Goiás, Mato Grosso do Sul, Pará e São Paulo, foram os estados brasileiros que mais emitiram GEE pela produção agropecuária de forma direta, somando quase 70% das emissões nacionais desse setor. As principais fontes de emissão são a pecuária de corte e o uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos em quase todos os estados (IMAFLORA, 2016).

Por outro lado, a agropecuária brasileira apresenta grande potencial em reduzir suas emissões de GEE através de inúmeras opções de práticas de mitigação principalmente aquelas relacionadas ao aumento da eficiência de uso das pastagens no Brasil. Contudo, para que as tecnologias de mitigação e aumento do sequestro de carbono cheguem ao produtor é necessário que políticas públicas promovam a implementação dessas práticas em larga escala, conciliando a conservação dos recursos naturais como o, aumento da

eficiência da produção agrícola, para suprir a demanda global por alimentos (IMAFLOA, 2016).

3.1.5. Mudança e uso da terra

Segundo o IPCC (2000) o carbono é retido na biomassa viva, na matéria orgânica, na decomposição e no solo, e desempenham um papel importante no ciclo global biogeoquímico. De maneira natural o carbono é trocado entre estes sistemas e a atmosfera através da fotossíntese, respiração, decomposição e combustão. Devido as atividades humanas como a mudança e uso da terra, alteram o troco natural dos estoques de carbono nestes reservatórios e as trocas entre eles e a atmosfera.

Para Bolin e Sukumar (2000) a mudança de uso da terra, especialmente a conversão de habitats nativos para terras agrícolas, pode gerar uma alteração da cobertura da terra e conseqüentemente, uma mudança nos estoques de carbono armazenados, gerando emissão de CO₂ como resultado da queima ou decomposição microbiana do carbono orgânico armazenado na biomassa vegetal e no solo. Assim, a mudança no uso da terra, juntamente com a combustão fóssil, são os principais impactos humanos no ciclo global do carbono (JANZEN, 2004).

A mudança no uso da terra para a expansão de áreas de cultivo em zonas tropicais, pode implicar a destruição de floresta tropical, e conseqüentemente a extinção de inúmeras espécies animais e vegetais. Segundo Michelsen (2007) o tipo de transformação e uso das terras apresenta um papel preponderante na perda da biodiversidade. Dados da WWF (2008), afirmam que cerca de 20 % das emissões mundiais de gases de efeito estufa, são causadas direta e indiretamente pelo desmatamento, sendo que das regiões desmatadas, como o Brasil e a Indonésia, apresentam os maiores índices de biodiversidade do Mundo, e são as que contribuem mais do 54% das emissões.

No Brasil a porção da floresta Amazônica, equivalente a cerca de 4 milhões de km², está inserida na região denominada Amazônia Legal, com território de 5.217.423 km², equivalente a 61% do território brasileiro (FERREIRA; COELHO, 2015). A Amazônia Legal foi criada em 1953 para fins de planejamento político (HOMMA, 2008) e compreende integralmente os estados do Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins e, parcialmente, o Maranhão (SUDAM, 2010).

Na Amazônia legal, segundo levantamento do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) o desmatamento aumentou continuamente a partir de 1991, variando, historicamente, em função das forças econômicas do mercado como: variação nos preços das *commodities* agrícolas, taxas de juros, subsídios governamentais para o crédito agrícola, índice de inflação e preço da terra (FEARNSIDE, 2005; FERREIRA *et al.*, 2005; SOARES-FILHO *et al.*, 2005; FEARNSIDE, 2006).

Os impactos decorrentes da mudança da terra pelo desmatamento de sistemas florestais para transformação em sistemas agrícolas e/ou pastagem, na Amazônia implica: erosão e compactação do solo e a exaustão dos nutrientes (FEARNSIDE, 2005); perda de biodiversidade e sócio - diversidade (FEARNSIDE, 2006); redução da ciclagem da água (e da precipitação) (NOBRE *et al.*, 1991; SAMPAIO *et al.*, 2007); e emissões de gases traço, partículas de aerossóis e carbono (na forma de dióxido de carbono-CO₂) para atmosfera (ARTAXO *et al.*, 2005; SOARES-FILHO *et al.*, 2010), contribuindo para o aquecimento global que, por sua vez, acaba atuando sobre a Amazônia.

3.1.6. Plano nacional sobre mudança do clima (Plano Clima)

Durante a COP 15°, o governo brasileiro oficializou um compromisso junto à convenção-quadro da ONU sobre mudança do clima de reduzir suas emissões de GEE entre 36,1 e 38,9% das emissões projetadas até 2020 (3.236 milhões tCO₂eq), em relação ao ano base de 1990 (IMAFLOA, 2016).

Este compromisso é a base para o plano nacional sobre mudança do clima ou “Plano Clima”, o qual tem por objetivo incentivar o desenvolvimento e aprimorar ações de mitigação no Brasil. Tal compromisso é voluntário uma vez que o Brasil não faz parte dos países do Anexo I do protocolo de Kyoto (os quais são países desenvolvidos e que ratificaram o protocolo tendo o compromisso de diminuir suas emissões de GEE até 2012 numa média de 5,25% em relação aos níveis que emitiam em 1990).

O plano clima é interministerial e conta com a contribuição dos estados e municípios para ser executado, sendo estruturado em quatro frentes de ação; oportunidades de mitigação; impactos; vulnerabilidades e adaptação; pesquisa e desenvolvimento; e educação, capacitação e comunicação (BRASIL, 2008).

Para alcançar suas metas, o plano clima, estabelece os seguintes objetivos específicos.

- I. Identificar, planejar e coordenar as ações para mitigar as emissões de gases de efeito estufa geradas no Brasil, bem como aquelas necessárias à adaptação da sociedade aos impactos que ocorram devido à mudança do clima;
- II. Fomentar aumentos de eficiência no desempenho dos setores da economia na busca constante do alcance das melhores práticas;
- III. Buscar a participação de energia renovável na matriz elétrica, preservando a posição de destaque que o Brasil sempre ocupou no cenário internacional;
- IV. Fomentar o aumento sustentável da participação de biocombustíveis na matriz de transportes nacional e, ainda, atuar com vistas à estruturação de um mercado internacional de biocombustíveis sustentáveis;
- V. Buscar a redução sustentada das taxas de desmatamento, em sua média quinquenal, em todos os biomas brasileiros, até que atinja o desmatamento ilegal zero;
- VI. Eliminar a perda líquida da área da cobertura florestal no Brasil, até 2015;
- VII. Fortalecer ações intersetoriais voltadas para redução das vulnerabilidades das populações;
- VIII. Procurar identificar os impactos ambientais decorrentes da mudança do clima e fomentar o desenvolvimento de pesquisas científicas para que se possa traçar uma estratégia que minimize os custos socioeconômicos de adaptação do País.

Em 2009 foi instituída a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), que oficializa o compromisso voluntário assumido pelo Brasil e o Decreto nº 7.390 que regulamenta a PNMC.

Na Figura 6 descreve as ações de mitigação relacionadas aos setores da agropecuária e mudança de uso do solo e as metas de redução de emissões definidas no decreto (BRASIL, 2010).

Figura 6 - Ações de mitigação descritas no Decreto nº 7.390 da PNMC.

Ações de Mitigação relacionadas à agricultura e floresta	Amplitude da redução de emissões de GEE para 2020 em tCO ₂ e
Reduzir em 80% a taxa de desmatamento na Amazônia Legal e em 40% no Cerrado.	669 milhões
Adotar intensivamente práticas sustentáveis na agricultura.	Entre 133 e 166 milhões
Ampliar a eficiência energética.	Entre 174 e 217 milhões
Total de redução nacional previsto que envolve direta o indireta a agropecuária.	Entre 976 e 1.052 milhões

Fonte: Brasil (2010).

O decreto nº 7.390/2010 também prevê a elaboração de planos setoriais com a inclusão de ações, indicadores e metas específicas para a verificação do seu cumprimento para guiar cada setor; agropecuária, energia, processos industriais, tratamento de resíduos e uso da terra e florestas. Estes planos setoriais são chamados NAMA_s (Ações de Mitigação Nacionalmente Apropriadas) e foram definidas para colocar em práticas as metas de mitigação e adaptação de cada setor. Especificamente para a agropecuária foi elaborado o plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura (Plano ABC) (BRASIL, 2012).

As metas de redução das emissões de GEE da PNMC deverão ser atingidas até 2020 (IMAFLOA, 2016). Portanto em um curto espaço de tempo. Conforme a Figura 6, pode se ver que 80% do total da meta brasileira de redução (mais de 1.000 Gt de CO₂eq) são de responsabilidade dos setores florestal e agropecuária. Hoje se sabe que para atingir esta meta, os Planos Setoriais de Mitigação e Adaptação deverão acelerar a implementação de suas ações, além de integrar a redução do desmatamento em todos os biomas com a intensificação da agropecuária em áreas já desmatadas (IMAFLOA, 2016).

3.2. A Cultura da Palma de óleo

A palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.) palmeira da família Arecaceae, originária da África, foi introduzido no continente americano por meio do comércio de escravos, com registro de ingresso no Brasil no século XVI, no atual estado da Bahia (MULLER *et*

al., 1997). Pertence ao gênero *Elaeis*, que, dentre outras espécies, possui duas espécies de interesse genético: o Caiaué, *Elaeis oleifera* (HBK) Cortez, e o dendezeiro africano, *Elaeis guineensis* Jacq. (VIEGAS; MULLER, 2000).

A cultura da palma de óleo se desenvolve adequadamente sob temperatura média do ar em torno de 24°C, com intervalo ideal de 25°C a 28°C (BASTOS, 2000). A umidade relativa do ar deve ser superior a 70% com média em torno de 75% e 90% (SILVA *et al.*, 2003). A temperatura do ar exerce impacto direto no processo de emissão de folhas, além de influenciar no número de cachos por unidade reprodutiva, assim como no teor de óleo nos frutos (BASTOS *et al.*, 2001).

Além da temperatura, outro fator limitante à palma de óleo é a insolação, pois, esta implica de forma direta a produção, visto que a planta apresenta elevada capacidade fotossintética. A palma de óleo requer cerca de 1500 a 2000 horas anuais de luminosidade solar, com homogeneidade de distribuição ao longo do ano, esta variável é fundamental para o desenvolvimento adequado da palma de óleo (BARCELOS *et al.*, 1999). A viabilidade e a potencialidade de produção de cachos e óleo da palma também estão relacionadas com a deficiência hídrica anual (BARCELOS *et al.*, 1995).

O estresse hídrico, na cultura da palma influencia negativamente nas características produtivas da planta, como a redução de peso médio de cachos, tamanho e surgimento de novas folhas, aumento da razão sexual masculina, abortamento de inflorescências e redução de produtividade (GOMES J, 2010; MORAES e BASTOS, 1972). Segundo BARCELOS *et al.*, (2001) existem indicações de que *Elaeis oleifera* apresenta maior tolerância ao déficit hídrico em comparação com *Elaeis guineenses*.

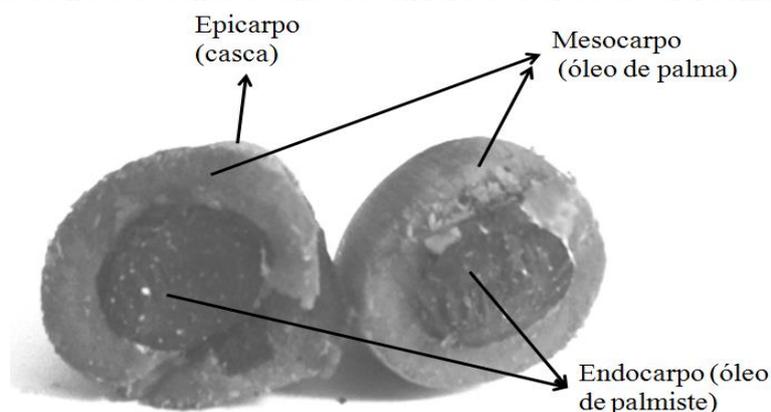
De acordo com Moraes e Bastos (1972), grande parte das áreas do Estado do Pará não apresentam as condições climáticas (pluviometria, média anual e precipitação pluvial) ideais para a cultura. Por outro lado, regiões específicas no Pará, apresentam as precipitações pluvial anuais ótimas, para o desenvolvimento do cultivo da palma de óleo.

3.2.1. Produção de Palma de Óleo

Do fruto da palma de óleo (Figura 7) pode ser extraído o óleo, tanto da polpa como da semente (amêndoa). O óleo extraído da polpa do dendê é usualmente chamado de óleo de dendê ou de palma, enquanto o óleo extraído da amêndoa é chamado de óleo de palmiste (MARZULLO, 2007).

Segundo Santos (2008), o óleo de palma é conhecido, por suas múltiplas aplicações, tem larga utilização na agroindústria alimentar. Após o refino o óleo encontra importante aplicação na fabricação de margarinas, biscoitos, pães e sorvetes, ressaltado que, o óleo de palma já vem sendo utilizado na fabricação de sabões, detergentes, velas, produtos farmacêuticos, cosméticos e corantes naturais (MACEDO *et al.*, 2010).

Figura 7 - Partes do fruto de dendê de onde são extraídos os óleos de valor comercial.

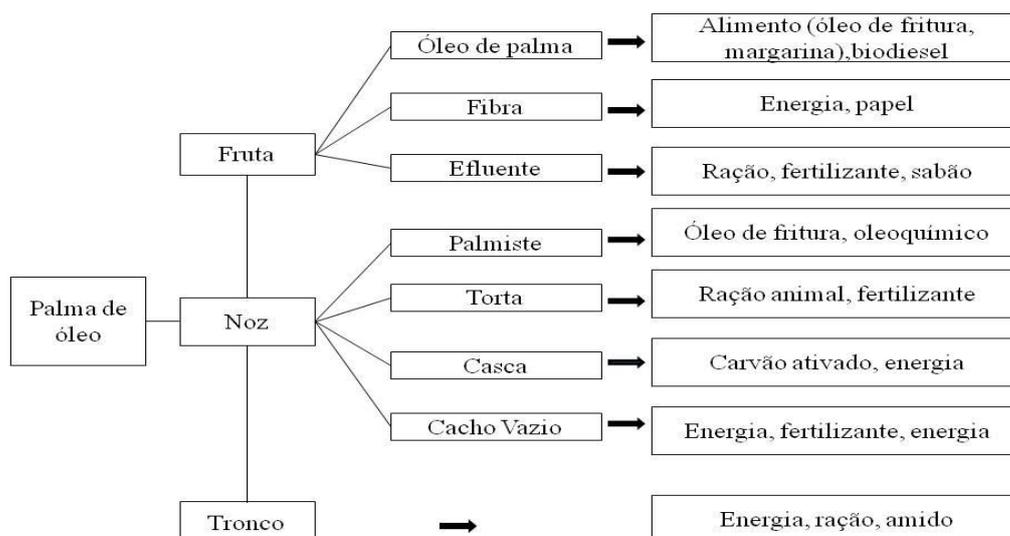


Fonte: Autor.

O resultante do endocarpo após a extração de óleo de palmiste, obtém-se a torta de palmiste, que é empregada na fabricação de rações animais (MULLER *et al.*, 2006), e contém um teor de 14% de proteína. Segundo Ramalho Filho *et al.*, (2010) a torta de palmiste é o material permanentemente disponível na região e uma boa alternativa para alimentação animal.

As fibras da polpa (mesocarpo) são usadas para produção de energia e vapor de água. Os cachos vazios (sem frutas) podem ser usados em caldeiras ou na produção de biogás. As cinzas dos cachos vazios são ricas em potássio e magnésio. São inúmeras as possibilidades de uso para os produtos da cultura do dendê (MARZULLO, 2007) com diversos fins do fruto e do estipe da palma de óleo (Figura 8).

Figura 8 - Diferentes usos e aplicações dos diversos compartimentos da planta de palma.



Fonte: Fairhurst e Mutert (1999).

A cultura da palma de óleo é considerada permanente, de vida útil entre 20 e 30 anos, sendo que a produção de cachos tem início 3 anos após o plantio, aumentando gradativamente até obter a produtividade máxima que ocorre entre o sétimo e o vigésimo ano de plantio. A partir desse momento, a produtividade começa a diminuir e vai decaindo até os 25 - 30 anos, quando a cultura deixa de ser economicamente viável (CARVALHO, 2012). A produtividade esperada de um hectare de plantio de palma no Pará ao longo do tempo é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 - Produtividade esperada de um plantio de palma, em t cachos de frutos frescos por hectare (CFF.ha⁻¹)

Idade do Plantio (ano)	Produtividade (t CFF.ha ⁻¹)
1	0
2	0
3	7,2
4	14,4
5	18
6	21,6
7 aos 9	25,2
10 aos 20	22
21	20
22 aos 23	15
24	12
25	8

Fonte: Agriannual (2006 apud MARZULLO, 2007)

No Brasil, em 2014, cerca de 127 mil hectares foram destinados a dendeicultura, resultando em uma produção de 1.393.873 t de cachos de frutos frescos e uma produtividade média de 11,01 t ha⁻¹. Segundo Bentes e Homma (2016), os estados produtores de óleo e palmiste foram: Pará, Amazonas, Bahia e Acre, que ocuparam apenas 2,18% da área total de 5.832.159 ha destinadas à lavoura permanente.

É o estado do Pará o maior produtor de óleo de palma no Brasil, com mais do 80% da produção brasileira de cachos de frutos frescos (CFF) (CARVALHO, 2015). A produção anual de CFF de dendê, correspondentes aos anos 2010 até 2014. A produção e porcentagem dos estados brasileiros produtores de CFF estão apresentadas nas Tabelas 3 e 4 respectivamente.

Tabela 3 - Produção anual de cachos de frutos frescos (CFF) em toneladas (t) de 2010 a 2014

ANO	BRASIL	AMAZONAS	PARÁ	BAHIA	ACRE
	Prod. (t)	Prod. (t)	Prod. (t)	Prod. (t)	Prod. (t)
2010	1292713,00	3060,00	1058381,00	231272,00	0,00
2011	1301192,00	3060,00	1082348,00	215784,00	0,00
2012	1240992,00	2278,00	1034361,00	204353,00	0,00
2013	1246835,00	2318,00	1040538,00	203979,00	0,00
2014	1393873,00	620,00	1187338,00	204961,00	954,00
t.ha⁻¹ (2014)	11,01	6,20	16,41	3,79	18,00

Fonte: Adaptado do IBGE (2015). Prod.= Produção

Tabela 4 - Porcentagem de produção (%Prod) no período 2010 a 2014

ANO	AMAZONAS	PARÁ	BAHIA	ACRE
	% Prod.	% Prod.	% Prod.	% Prod.
2010	0,24	81,87	17,89	0,00
2011	0,24	83,18	16,58	0,00
2012	0,18	83,35	16,47	0,00
2013	0,19	83,45	16,36	0,00
2014	0,04	85,18	14,70	0,07

Fonte: Adaptado de IBGE (2015). Prod.= Produção

No ano 2015 o Brasil produziu cerca de 300 mil toneladas de óleo de palma, e a maior parte do território paraense produziu 249 mil toneladas, no entanto, a produção nacional não consegue suprir a demanda interna que é de, aproximadamente, 500 mil toneladas por ano (ABRAPALMA, 2015).

Estima-se que o consumo mundial de óleo de dendê crescerá para aproximadamente 71 milhões de toneladas e 81 milhões de toneladas até 2020 e 2025, respectivamente. Segundo as projeções da Fundação Getúlio Vargas, para atender essa demanda, serão

necessários 3 milhões de hectares plantados adicionais, até 2020, e aproximadamente 5 milhões de hectares, até 2025 (LEVERMANN; SOUZA, 2014). Visto que o Pará é a região com maior área aproveitável para a dendeicultura (12.776.048 ha) (FREITAS; TEIXEIRA, 2010; RAMALHO FILHO; MOTTA, 2010) apresentando uma oportunidade dentro do mercado mundial do óleo.

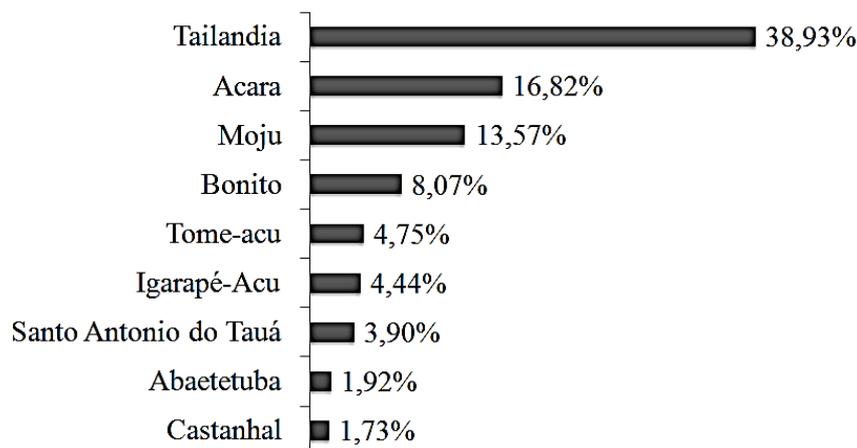
Dois programas estimularam a expansão das áreas para o cultivo da palma, no Brasil: Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel- PNPB (2004) e Programa de Produção Sustentável da Palma de Óleo -PSOP (2010) (MAPA, 2014). O primeiro programa é orientado basicamente para encorajar os pequenos agricultores das regiões (Norte e Nordeste) a se envolverem com a produção de biodiesel, a partir da palma e mamona, respectivamente. Adicionalmente com o anúncio do PSOP no ano 2010, estabeleceram-se como estratégias: a elaboração de uma linha de crédito; incentivo a pesquisa, desenvolvimento e inovação tecnológica; implementação e a regularização fundiária e ambiental dos estabelecimentos agrícolas inseridos no arranjo produtivo da palma de óleo, e mais importante, a proibição e a derrubada de floresta nativa para produção de palma (MAPA, 2014).

O sucesso das políticas nacionais de produção de palma de óleo na Amazônia depende de: (a) afinidade estabelecida entre produtores e indústrias, (b) fiscalização e monitoramento da atividade (c) apoio da pesquisa e da extensão rural, (d) transferência de tecnologias disponíveis nos maiores países produtores e da observação das normas ambientais e respeito aos pequenos produtores familiares envolvidos no programa (HOMMA e VIEIRA, 2012).

3.2.2. Municípios Produtores de óleo de Palma

Segundo Jaccoud e Villela (2013) no Estado do Pará, existem 33 municípios produtores de óleo de palma, sendo os principais produtores; Acará, Abaetetuba, Bonito, Castanhal, Concórdia do Pará, Igarapé-açu, Tome- Açu, Moju, Santo António de Tauá e Tailândia. E destaca-se o município de Tailândia como o maior produtor no estado (38,93%) seguido pelo Acará (16,82%) e Moju (13,57%), que juntos, totalizam 62,39% do total da produção dessa lavoura no Pará (FAPESPA, 2015) (Figura 9).

Figura 9 - Porcentagem de participação dos municípios do dendê 2013, no estado do Pará.



Fonte: FAPESPA, 2015.

As ações do estado, em parceria com as empresas de palma, vêm intensificado a verticalização da cadeia dendeícola nos diferentes municípios do Estado do Pará (VILLELA, 2014), e quase toda a produção de óleo no Pará vem de grandes empresas e produtores independentes de médio e grande porte, menos de 10% provém da agricultura familiar (EMBRAPA, 2011). Até 2020, a previsão é que a produção das diferentes empresas se duplique (Tabela 5).

Tabela 5 - Área plantada (ha) e projeção de expansão da palma para 2020 (ha), para as principais empresas produtoras do Estado do Pará.

Empresa	Á.P(ha)	P.E (ha)	C. P (t.CFF ⁻¹ .dia ⁻¹)	E.D	Município
Archer Daniels Midland	3000	50000	0	172	São Domingos do Capim
Agropalma	45000	50000	201	5314	Tailândia
Biopalma	42000	80000	40	2618	Moju
Denpasa	6000	10000	12	290	Santa Barbara do Pará
Dentauá	4000	6000	39	941	Santa Isabel do Pará
Marborges	5000	10000	20	1120	Moju
Palmasa	3000	8000	28	340	Igarapé- Açu
Petrobras/Galp	4000	75000	0	119	Tailândia
Yossan	16000	20000	0	0	Bonito
Outros	12000	20000	0	0	
Total	140000	329000	340	10914	

A.P: área plantada, P.E: projeto de expansão, C.P: capacidade de processamento, E.D: empregos diretos. Fonte: Adaptado de Glass (2013)

3.2.3. Políticas de Orientação à Expansão da Palma

O Governo Federal do Brasil, na procura de um modelo de desenvolvimento sustentável na Amazônia, elaborou o Macro Zoneamento Ecológico- Econômico da Amazônia Legal (MZEE-AL), como estratégia de ocupação e uso do território, orientando os diferentes usos da terra na Amazônia legal: através da recuperação de áreas

degradadas; nas áreas de fronteira agropecuária onde é pertinente, a promoção da exploração madeireira manejada; em atividades capazes de atribuir valor econômico à floresta em pé, até momento reconhecidos nos serviços ambientais, turismo e energia solar (MMA, 2010).

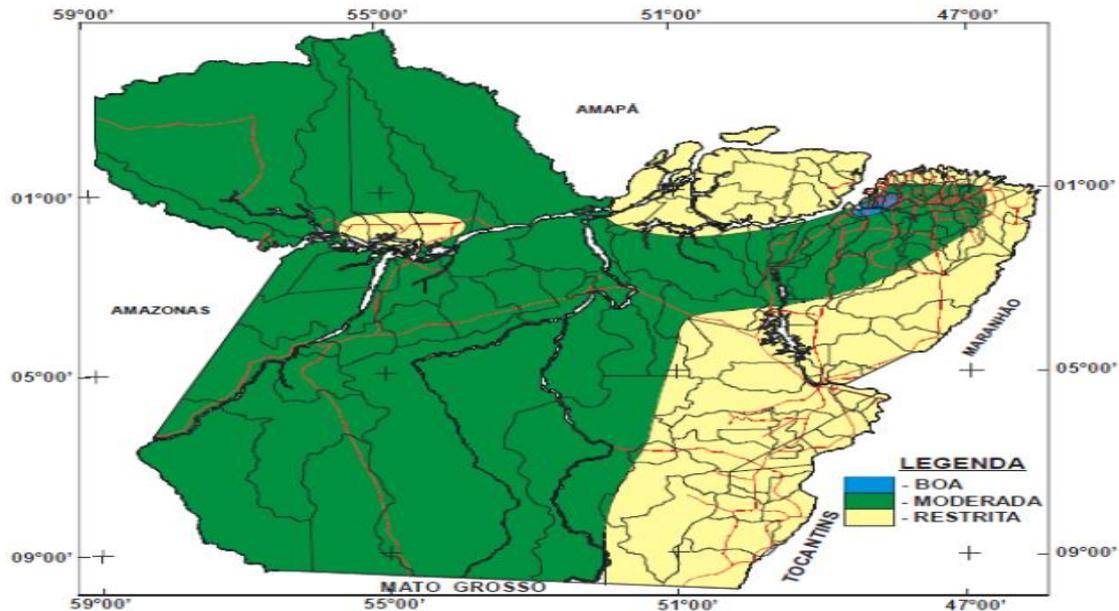
Além disso o MZEE-AL, destacam-se: Planejamento ordenado da expansão da agropecuária e conversão em bases sustentáveis dos sistemas de produção agrícola; Promoção da reforma agrária e da regularização fundiária; Organização de polos industriais; Produção mineral e energética com sustentabilidade e desenvolvimento regional (VENTURIERI *et al.*, 2010; MMA, 2010).

Segundo Becker (2010) o reconhecimento de uma floresta em Pé na Amazônia é uma das maiores contribuições do MZEE-AL. A mesma autora assegura que nem todas as áreas desmatadas devem ser autorizadas para plantar a palma, mas tão somente aquelas situadas nas áreas consolidadas e algumas áreas de fronteira (Figura 10).

Segundo o Zoneamento Agrícola de Risco Climático da Palma de Óleo (ZARC-Dendê), como instrumento da política agrícola, permite a cada município do Pará, identificar a melhor época de plantio das culturas, nos diferentes tipos de solos e ciclos de cultivares (MAPA, 2014).

Em particular o ZARC da palma, no estado do Pará apresenta três classes de aptidão ou potencialidade agroclimática; boa, moderada e restrita (Figura 10). A primeira classe (boa), se evidencia ausência da estação seca, em termos climáticos, é a mais apropriada para o desempenho vegetativo e produtivo do dendê. Essa área abrange uma pequena parte do Estado do Pará (0,13%) e engloba os municípios que estão situados próximos à cidade de Belém. A segunda classe, evidencia presença de estação seca de curta duração e ocorrência de deficiência hídrica anual moderada, abrange a maior porção do estado (72,1%). A terceira classe, evidencia presença de estação seca com duração de três a seis meses e ocorrência de deficiência hídrica anual acentuada, em tais condições, sem irrigação, não se recomenda o cultivo do dendê, abrange cerca de (27,82%) da área do Estado (BASTOS *et al.*, 2001).

Figura 10 - Zoneamento de riscos climáticos do Dendê no Estado do Pará.



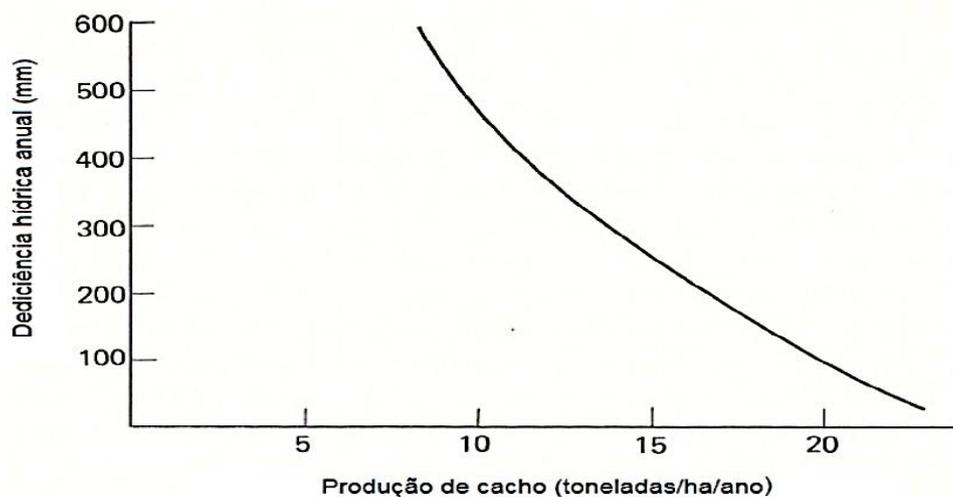
Fonte: Bastos (*et al.* 2001 apud SANTOS, 2015)

O Zoneamento Agroecológico do Dendê para as Áreas Desmatadas da Amazônia Legal (ZAE –Dendê), segundo Ramalho Filho *et al.*, (2010) constitui a base técnico-científica para buscar a sustentabilidade em base social, econômica e ambiental, pela indicação das terras mais adequadas à produção agrícola da cultura da palma de óleo.

Para a avaliação de aptidão climática, foi considerado que, para uma planta expressar todo seu potencial de produção, ela necessita certas condições de clima. Estas condições limitam o estabelecimento da cultura a certas regiões. Os fatores climáticos de maior importância para o cultivo da palma de óleo são: precipitações mensais sempre superiores a 100 mm, horas de brilho solar em torno de 1600 horas.ano⁻¹ e temperatura do ar, entre 24 e 28 °C (RAMALHO FILHO *et al.*, 2010).

Segundo a metodologia Thornthwaite e Mather (1955), a partir de dados de temperatura e precipitação, elaborou um parâmetro de balanço hídrico climatológico, entre a deficiência hídrica anual e a produção em toneladas de cachos por ha.ano⁻¹, conforme à Figura 11.

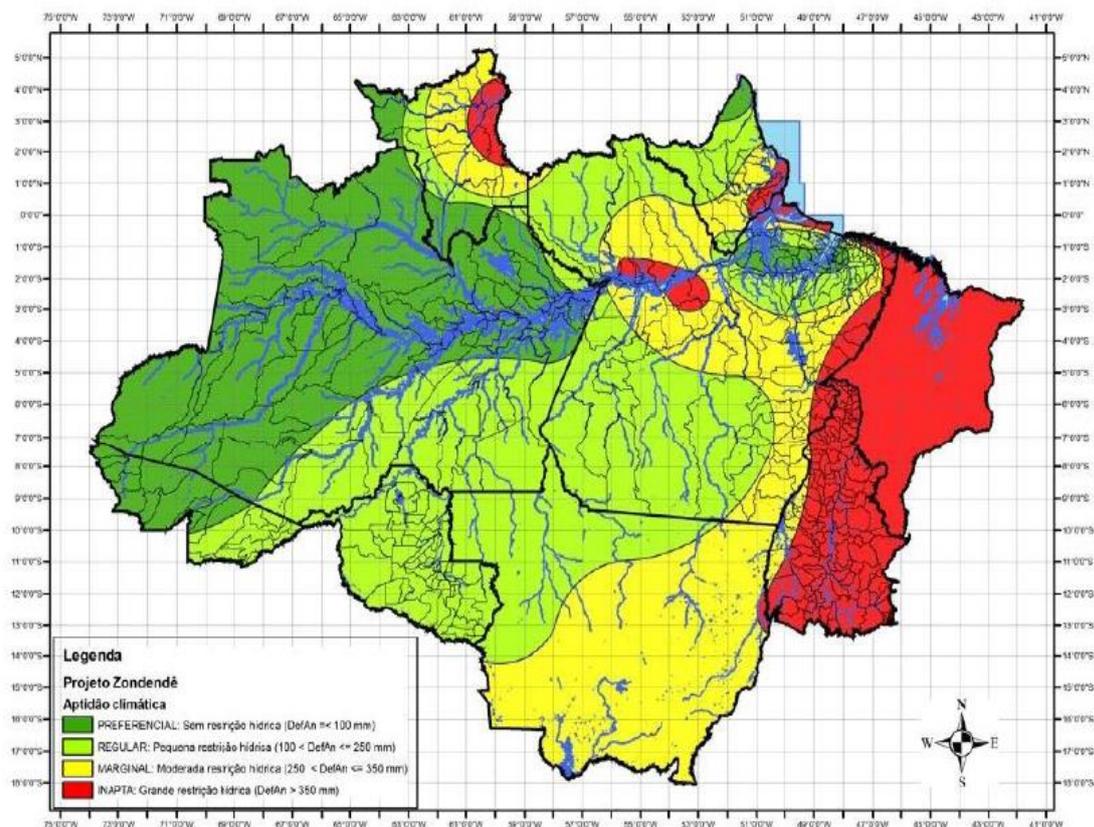
Figura 11 - Deficiência hídrica anual vs. Produção anual média de cachos de palma.



Fonte: Irho (1969 apud HARTLEY, 1988, apud RAMALHO FILHO *et al.*, 2010)

Com base nas correlações de deficiência hídrica e produtividade, o ZAE avaliou o risco climático para a Amazônia Legal (RAMALHO FILHO *et al.*, 2010). Conforme apresenta-se na Figura 12.

Figura 12 - Mapa de aptidão climática para a cultura da Palma na Amazônia.

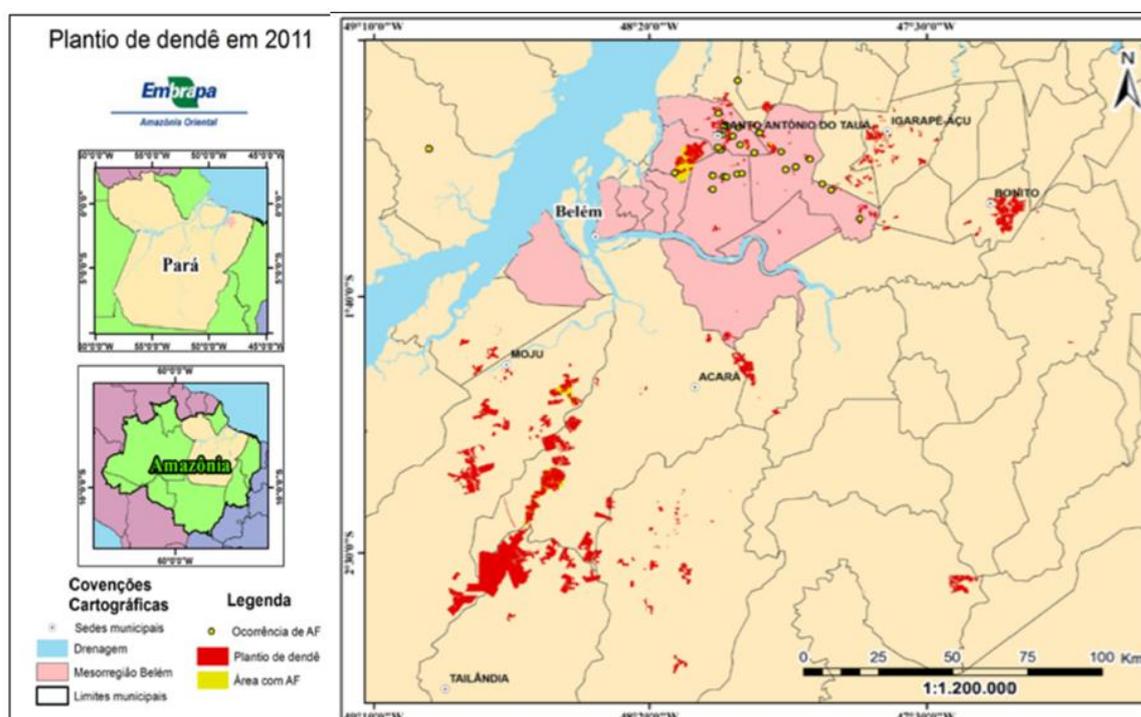


Fonte: Ramalho Filho *et al.*, (2010).

Deste modo o risco climático para o cultivo do dendê foi classificado em quatro categorias: Área Preferencial (P), com deficiência hídrica total anual (DH) inferior a 200 mm e com três meses secos³ consecutivos, sendo o potencial de produção $>4,8$ toneladas óleo.ha.ano⁻¹; Área Regular (R), com DH, entre 200 mm e 350 mm e com até três meses secos consecutivos, com potencial de produção entre: 3,5 e 4,8 t óleo/ha/ano; Área Marginal (M), com DH, entre 350 mm e 450 mm e com até três meses secos consecutivos; Área Inapta (I), com DH >450 mm e/ou com mais de três meses secos consecutivos (RAMALHO FILHO *et al.*, 2010)

Para Villela (2014) a importância do ZAE-Dendê, como ferramenta fundamental, serve, para nortear o processo de expansão do cultivo da palma para as áreas mais apropriadas. Segundo Venturieri *et al.*, (2013), mais de 2/3 de todos os dendezeiros do Pará estão localizados em áreas consideradas “regulares”, por conta de menor possibilidade de afecção pelo Amarelecimento Fatal (AF). A Figura 13 mostra os focos de ocorrência de AF (em amarelo) e as áreas de plantios de dendê (em vermelho).

Figura 13 - Áreas afetadas pelo Amarelecimento Fatal (AF) em municípios produtores de palma de óleo, no Estado do Pará.



Fonte: Santos (2015).

³ Meses secos, são aqueles que apresentam pluviosidade <50 mm

3.2.4. Híbridação da Palma de óleo

A híbridação entre *Elaeis guineensis* x *Elaeis oleifera* (HIE), tem sido explorada com o objetivo de desenvolver cultivares tão produtivas quanto ao dendê africano e resistência a pragas, principalmente ao amarelecimento fatal (AF), a alta taxa de óleos insaturados e ao reduzido crescimento do tronco característico do Caiaué (BARCELOS *et al.*, 2000).

Características como tolerância a pragas estão presentes em diferentes níveis nos híbridos entre as duas espécies, considerando que atualmente *Elaeis oleifera* é a única fonte disponível de tolerância ao AF, anomalia, cujo agente etiológico é desconhecido, sendo uma grave ameaça a dendeicultura latino-americana, dado o alto grau de mortalidade das plantas por ela causado (BERGAMIN FILHO *et al.*, 1998). Segundo Yokoyama (2011) os primeiros cruzamentos entre *Elaeis guineensis* x *Elaeis oleifera*, ocorreram no final de 1981 no Município de Manicoré, AM. Em decorrência dos casos de AF surgidos nos cultivos da DENPASA, os híbridos interespecíficos foram plantados com o objetivo de testar sua resistência ao AF (RAMOS *et al.*, 2006).

O cultivar foi testada durante 20 anos em áreas onde normalmente ocorre o AF, após esse período, o híbrido Manicoré não apresentou nenhum sintoma de amarelecimento, tornando-o ideal para o cultivo em áreas preferências indicadas pelo ZAE do dendê na região Norte (YOKOYAMA, 2011). Em seguida, foram iniciados plantios em escala comercial para validação dos materiais selecionados (CUNHA; LOPES, 2010). Segundo Yokoyama (2011) e EMBRAPA (2010) as vantagens deste novo cultivar interespecífico são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Características produtivas do cultivar do Híbrido Interespecífico HIE BRS Manicoré

Características	Híbrido Interespecífico HIE
Produção de cachos (t.ha.ano ⁻¹)	25 a 30
Taxa de extração de óleo (%)	18 a 20
Produção de óleo (t.ha.ano ⁻¹)	4,5 a 6,0
Taxa de extração de óleo de palmiste (%)	3 a 4
Produção de óleo de palmiste (t.ha.ano ⁻¹)	0,75 a 1,20
Crescimento vertical do tronco médio (cm.ano ⁻¹)	17 a 24
Comprimento da folha (m)	>4,5
Início da colheita (meses)	30
Ciclo de colheita (dias)	15 a 21
Ácidos graxos insaturados na composição do óleo (%)	<60

Fonte: EMBRAPA (2010).

3.3. Reservas Legais e Áreas de Preservação Permanente

A legislação florestal brasileira, a partir de 1934, divide a área total de uma propriedade rural em três parcelas: área de reserva legal, área de preservação permanente e área livre para exploração agropecuária. Assim estabelecida pelo novo código florestal (Lei N° 12.651 de 25 de maio de 2012), a reserva legal é o instrumento que impõe restrição ao uso do solo em propriedades rurais privados em todo o país visando à utilização sustentável dos recursos naturais, à conservação e reabilitação dos processos ecológicos e conservação da biodiversidade (RANIERI, 2004).

De acordo com a Lei N° 12.651 as reservas legais compreendem percentuais das áreas de propriedades ou posses no meio rural onde a vegetação nativa não pode ser suprimida por completo, podendo apenas ser utilizada sob regime de manejo florestal sustentável, na Amazônia 80% da área deve ser destinada à reserva legal.

Na mesma Lei N° 12.651/2012, o código florestal brasileiro, define como Área de Preservação Permanente (APP) aos locais onde devem ser mantidas todas as florestas e demais formas de vegetação natural. Estes locais foram definidos como de proteção especial, pois representam áreas frágeis ou estratégias em termos de conservação ambiental, não devendo ser modificadas para outros tipos de ocupação. A permanência da vegetação natural nestes locais contribui para o controle de processos erosivos e de assoreamento dos rios, para garantir qualidade dos recursos d'água e mananciais e para a proteção da fauna. Também ajuda a manter a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de flora e fauna, o solo e assegura o bem-estar da população local (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Além do código florestal brasileiro, a resolução CONAMA N° 303/2002 também define as áreas de preservação permanente, o “local onde aflora naturalmente, mesmo que de forma intermitente, a água subterrânea”, deve ser protegida. A legislação brasileira não permite o uso e a exploração das áreas de preservação permanente.

Do ponto de vista político, a reserva legal e as áreas de preservação permanente enquadram-se nos instrumentos de política de rendas. “A política de rendas constitui-se em uma série de regulamentações que restringe o uso de fatores de produção e/ou determina valores mínimos ou máximos para pagamento pelo uso desses fatores ou por produtos elaborados em uma economia” (BACHA, 2003) a política de rendas é implementada, geralmente, por meio de legislação; esse é o caso da reserva legal e das

áreas de preservação permanente, que são impostas por legislação específica a respeito do uso de recursos florestas e vegetais nativos. De acordo com Ferreira *et al.*, (2015) os resultados parecem indicar que as políticas de fiscalização mais focadas são, embargos de comercialização e restrição de crédito.

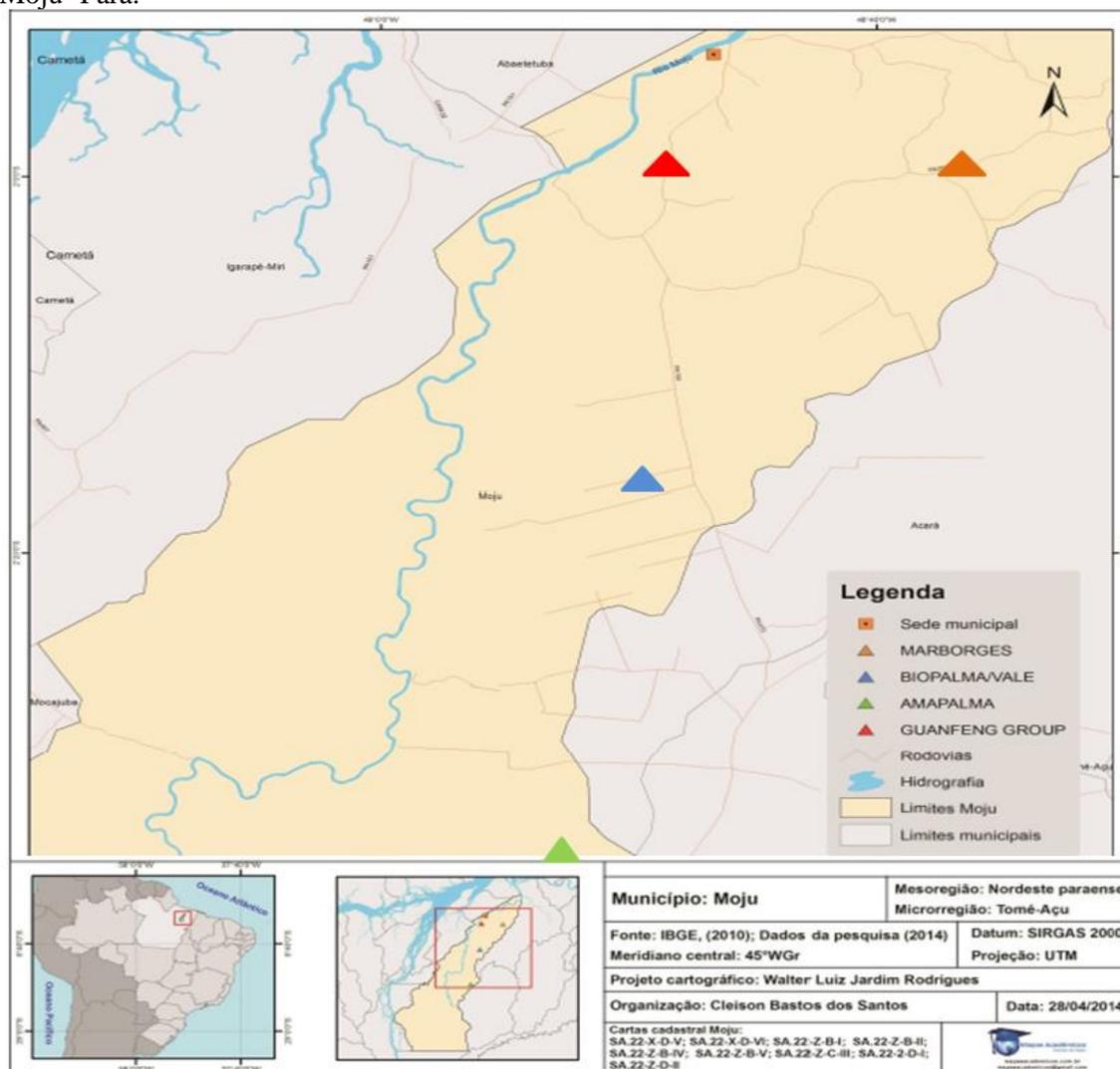
3.4. Moju e a cultura de palma de óleo

O município de Moju está localizado na microrregião de Tomé-Açu, inserida no polo de produção de biodiesel do estado do Pará. Trata-se de um município com área territorial de 9097,29 km², que abriga uma população de 70.018 habitantes, dos quais 44.856 habitam na zona rural e 25.162 na zona urbana. Seus níveis de IDH (0,53) e PIB (R\$ 3419) estão entre os mais baixos do Pará (IBGE, 2010).

Moju ocupa posição estratégica para o desenvolvimento do estado por sua localização geográfica. Liga-se a capital Belém e a outras regiões de fronteira agrícola, com o sul do Pará, tanto pelo eixo rodoviário da PA-150, quanto pela BR-010 e suas interligações com a região da transamazônica (SILVA, 1999).

O município, conta com várias empresas agroindustriais referentes à produção de óleo da palma. Segundo Santos (2015), há quatro empresas com sede e área de plantio próprias da cultura do dendê, em Moju. A empresa Amapalma S/A, do grupo Agropalma, localizada no quilometro 96 da PA-150; a Biopalma Vale, localizada no quilometro 37 da PA-150; a chinesa Guanfeng, localizada nos quilômetros 9 e 10 da PA-150; e a Empresa Agroindústria Marborges S.A, localizada na PA-252, no quilometro 56. É preciso mencionar que a empresa Belém Bioenergia Brasil, subsidiária da Petrobras biocombustível, não possui sede no lugar, apenas área arrendada. As empresas produtoras de óleo de palma, no município de Moju, estão indicadas na Figura 14.

Figura 14 - Localização geográfica das empresas produtoras de óleo de palma no Município de Moju- Pará.



Fonte: Santos (2015).

3.5. Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

Dentro das organizações, a questão ambiental originalmente era desconsiderada, a primeira etapa de conscientização era voltada basicamente para atender aos padrões da legislação; por exemplo, pelo tratamento de efluentes industriais e emissões atmosféricas antes dos seus lançamentos no meio ambiente (KIPERSTOK *et al.*, 2012).

Segundo Silva e Kulay (2010), a produção de bens e serviços leva ao consumo de recursos materiais e energéticos, e que os impactos ambientais, deve ser segundo um *foco sobre o produto*, que considere os impactos ambientais decorrentes desde a extração de recursos naturais até a produção dos bens de consumo, porém ainda há de se incluir os prejuízos para o meio ambiente decorrentes das etapas de uso, reuso, reciclagem e disposição final destes produtos.

Os produtos são feitos para atender a um desejo ou a uma necessidade e, por esta razão, a avaliação deve ser baseada no *foco sobre a função do produto* (SILVA; KULAY (2010).

Essa visão pode ser entendida como o conceito de ciclo de vida, onde todas as etapas associadas a um produto são levadas em consideração, desde a extração dos recursos naturais, passando pela sua produção e uso, até a sua disposição final. Esse pensamento do ciclo de vida, em inglês *Life Cycle Thinking* (LCT) pode ser utilizada para avaliar tanto aspectos ambientais quanto econômicos e sociais (BAUMANN; TILLMAN, 2004; BENOIT; MAZIJN, 2009).

Entender a importância do LCT é o primeiro passo que as organizações podem tomar para incorporar o conceito de ciclo de vida na gestão de seus negócios. A adoção de práticas gerenciais que buscam aplicar o LCT é conhecida como Life Cycle Management (LCM) (BAUMANN; TILLMAN, 2004; BENOIT; MAZIJN, 2009), assim para a efetividade do LCM, é necessário o uso de ferramentas de medição conhecida como Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).

A ABNT ISO 14040:2009 define a ACV como a técnica da gestão ambiental, que quantifica as entradas e saídas, de matéria e energia, e os respectivos impactos ambientais associados, ao longo do seu ciclo de vida (ABNT, 2009a).

3.5.1. Aplicações da ACV

(ABNT, 2009a; BAUMANN; TILLMAN, 2004; CURRAN, 2006; GUINEE *et al.*, 2001; SCHENCK, 2000; SILVA; KULAY, 2010) apresentam variadas aplicações para a ACV, por exemplo em; Desenvolvimento e aperfeiçoamento de produtos e processos; identificação de oportunidades de melhoria; planejamento estratégico; ações de marketing; instrumento para a elaboração de políticas públicas; suporte para programas de rotulagem e declaração ambiental; comparação entre produtos que exerçam a mesma função.

Assim, considerando a ampla gama de possibilidades de uso dos resultados de um estudo de ACV, é importante a ferramenta na tomada de ações que, em sua essência, objetivam a melhoria da relação entre as atividades humanas e o meio ambiente. A ACV é, de fato, um importante instrumento para o diagnóstico da situação ambiental associada ao ciclo de vida de um produto. A partir dos resultados por ela gerados, podem ser tomadas medidas para a contínua busca da melhoria de desempenho ambiental.

3.5.2. Limitações da ACV

A pesar da ampla gama de aplicações, a ferramenta apresenta ainda limitações, tanto de caráter metodológico quanto da necessidade de grande número de dados (SILVA; KULAY, 2007).

A ACV ainda não possui metodologia universal de execução dos estudos. Tal fato implica que alguns procedimentos são tomados com base em critérios subjetivos do executante do estudo. Como consequência desta subjetividade, inconsistências podem ser originadas, levando a alterações nos resultados finais. Segundo Kulay (2008) a subjetividade requer que haja total e absoluta transparência na elaboração do relatório do estudo, por meio da declaração explícita de todas as premissas e hipóteses assumidas durante o desenvolvimento da ACV. Adicionalmente, este autor defende a necessidade da promoção de esforços intelectuais como o objetivo de desenvolver e consolidar um método de execução dos estudos que permita a obtenção de resultados consistentes e reprodutíveis.

Outra limitação da ACV é grande quantidade de dados necessários para representar o ciclo de vida de um produto. Elevado número de informações implica em um alto custo de execução do estudo. Para contornar esta limitação, esforços vêm sendo desenvolvidos

na construção de bancos de dados para auxílio á execução de estudos de ACV (KULAY, 2008).

3.5.3. Metodologia de ACV

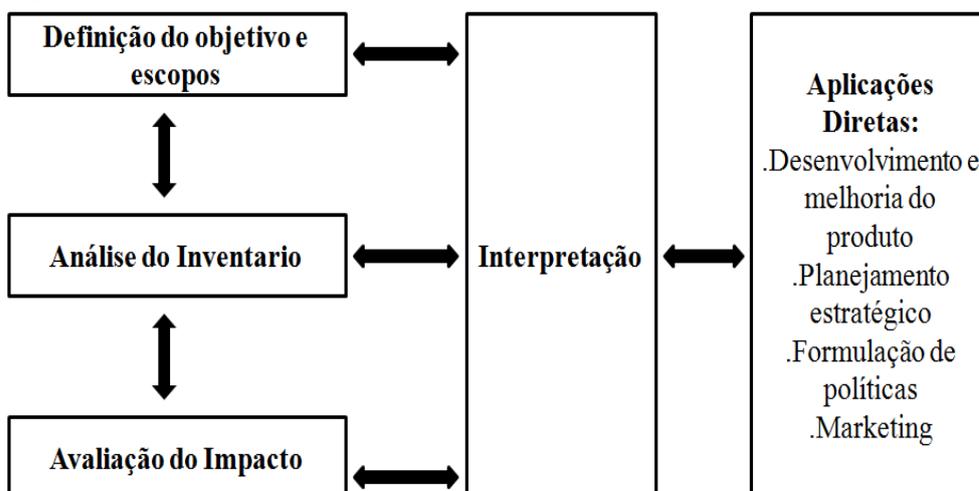
Segundo Silva e Kulay (2010), a metodologia segue uma estrutura básica comum dada pelas normas ISO da série 14040.

De acordo com ABNT (2009a) os estudos do ACV compreendem quatro fases:

- a) Definição de objetivo e escopo;
- b) Análise de inventario;
- c) Avaliação de impacto; e
- d) Interpretação.

A forma como cada uma destas fases interage entre si é ilustrada na Figura 15.

Figura 15 - Estrutura da Avaliação do Ciclo de Vida.



Fonte: ABNT (2009a).

De acordo com a EUROPEAN COMMISSION (2010), inicialmente estabelece-se objetivo do estudo, e na sequencia são definidos os requisitos de escopo que balizam a execução das fases de Análise de inventario e Avaliação de impactos.

3.5.3.1. Definição de Objetivo e Escopo

A definição de objetivo e escopo é a primeira etapa de um estudo de ACV. As definições estabelecidas nesta fase orientam a execução de todo o trabalho das etapas seguintes.

3.5.3.2. *Objetivo do estudo de ACV*

O objetivo de uma ACV é determinado pelo estabelecimento das *razões, aplicação pretendida e público-alvo* do estudo. Informações a respeito do solicitante, do executante e outras partes envolvidas no estudo de ACV também são recomendáveis na definição do objetivo (EUROPEAN COMMISSION, 2010a; GUINEE *et al.*, 2001). A definição do objetivo do estudo é fundamental para o sucesso da ACV, visto que a partir dele são definidos os aspectos iniciais do escopo; estes, por sua vez, estabelecem o quadro para a realização do inventário e da avaliação de impactos ambientais.

3.5.3.3. *Escopo do estudo de ACV*

Definido o objetivo da ACV, parte-se para a definição do escopo, que segundo ABNT (2009b) é constituído de diferentes itens a serem estabelecidos:

a) O sistema de produto

O sistema de produto é o conjunto de processos elementares, com fluxos elementares e de produto, desempenhando uma ou mais funções definidas e que modela o ciclo de vida de um produto (ABNT, 2009a). A norma define *processo elementar* como sendo o menor elemento considerado na análise de inventário de ciclo de vida para o qual dados de entrada e saída são quantificados, e *fluxo elementar* como material ou energia retirado do meio ambiente e que entra no sistema de estudo sem transformação previa por interferência humana ou material e energia que é liberado no meio ambiente pelo sistema em estudo sem sofrer transformação subsequente por interferência humana.

Da definição, entende-se que o sistema de produto é a representação da realidade física do ciclo de vida de um produto, com a identificação de todas as unidades (processos elementares) e os fluxos que cada uma destas unidades troca entre si (fluxos de produto) e com o meio ambiente (fluxos elementares).

b) As funções do sistema de produto ou, no caso de estudos comparativos, dos sistemas.

A função do produto indica o uso a que o mesmo se destina para efeito da elaboração do estudo. Em algumas situações um produto pode ter mais de uma função (serve a mais de um propósito). A função deve ser claramente informada e, caso um sistema seja multifuncional, as demais funções não consideradas no estudo deve ser justificada e reportada.

c) Unidade funcional

A unidade funcional (UF) é a quantificação do exercício da função (SILVA; KULAY, 2007). Isto quer dizer que a UF especifica melhor, de forma qual e quantitativa, a função do produto. Usando-se a UF, como base de cálculo, é que os dados de entrada e saída do sistema de produto são quantificados. Associado à unidade funcional está o fluxo de referência, que especifica a quantidade de produto necessária para atender a unidade funcional estabelecida. A precisão na transformação da unidade funcional para o fluxo de referência exige que se conheça o desempenho técnico do produto (SILVA; KULAY, 2007). Em estudos de ACV de um único produto, não é muito relevante o conhecimento do fluxo de referência, uma vez que o que define os dados serem coletados é a unidade funcional.

d) A fronteira do sistema

A fronteira do sistema define quais etapas do ciclo de vida, processos elementares ou até mesmo, entradas e saídas, são incluídas no estudo de ACV. Segundo Guinee *et al.*, (2001) a definição das fronteiras do sistema é imprescindível para separar o sistema em estudo do restante do mundo e inclui três tipos de fronteiras distintas.

- Fronteira entre o sistema de produto e o meio ambiente (interação por meio de fluxos elementares);
- Fronteira entre os processos relevantes e os irrelevantes; e
- Fronteira entre o sistema de produto em estudo e outros sistemas (interação por meio de produtos intermediários finais ou rejeitos).

Para Silva e Kulay (2010), a efetiva definição das fronteiras do sistema de produto ocorre por meio da elaboração de modelos representativos da realidade. A elaboração de tais modelos deve obedecer a um compromisso entre a precisão dos resultados e a viabilidade prática de execução do estudo. É útil descrever o sistema e suas fronteiras usando um fluxograma de processo que mostre os processos elementares e suas inter-relações, cada um com suas respectivas entradas e saídas. No entanto, no início do estudo em geral é improvável que sejam conhecidos todos os detalhes do ciclo de vida e, sendo assim, um fluxograma genérico nesta etapa é recomendável. A partir do refinamento das informações no decorrer dos trabalhos, um fluxograma mais detalhado é desenhado (BAUMANN, TILLMAN, 2004).

e) Procedimentos de alocação

Quando ocorre a geração de coprodutos em um processo elementar surge a questão de como atribuir a carga ambiental (entradas e saídas) entre o produto de interesse e os coprodutos, que não são relevantes para o sistema de produto em estudo. Esse tópico dentro da metodologia de ACV é conhecido como alocação.

A realização da alocação envolve o uso de critérios que refletem o peso de cada uma das saídas, segundo alguma relação entre elas. Os critérios comumente utilizados em estudos de ACV são: massa, energia e valor econômico. A alocação por critério de massa (primeiro critério) leva em consideração a contribuição em massa, de cada uma das saídas (ou entradas) do processo multifuncional. O segundo critério, a alocação por energia segue a mesma linha de raciocínio do critério mássico, porém se adéqua melhor no caso de produtor de caráter energético. Dessa forma, os produtos são medidos pelo seu conteúdo de energia. O terceiro critério para se realizar a alocação fundamenta-se no valor econômico dos produtos, e requer que sejam levantados preços de mercado dos produtos para que se possa estabelecer a razão de alocação.

f) Requisitos de dados

Muitos são os dados a serem coletados em um estudo de ACV e os requisitos de dados tratam a respeito do tipo (medido, calculado ou estimado) e fonte (primário ou secundário) de dados a serem coletados, de acordo com o objetivo e escopo estabelecidos.

g) Pressupostos

Conforme destacado anteriormente, não existe uma metodologia de execução de estudos de ACV universalmente consolidada. Alguns pontos ainda estão em discussão na comunidade internacional, o que implica na necessidade do executante tomar certas decisões de fundo metodológico. Uma vez que diferentes decisões podem alterar significativamente os resultados de uma ACV, cada escolha ou premissa, deve ser devidamente justificada e reportada. É importante informar todos os pressupostos adotados no estudo para este possa ser reproduzido por um terceiro, de forma que os mesmos resultados sejam alcançados (BAUMANN; TILLMAN, 2004).

h) Limitações.

Um estudo de ACV pode estar sujeito a limitações de diversas naturezas, sejam de ordem financeira, temporal, ou na obtenção de dados de qualidade. Qualquer limitação identificada pelo executante do estudo deve ser reportada no relatório final.

i) Requisitos de qualidade dos dados

A disponibilidade de dados, bem como sua qualidade, é fundamental para o sucesso de um estudo de ACV. Para tanto, é preciso que sejam definidos alguns requisitos de qualidade dos dados, os quais devem guardar sempre consonância com o objetivo e escopo da ACV. ABNT (2009a) definem diferentes requisitos de qualidade de dados:

- Cobertura temporal: definição da idade dos dados, ou seja, qual o intervalo de tempo para o qual os dados refletem a realidade estudada. O período estabelecido não deve ser muito anterior à época de execução do estudo.
- Cobertura geográfica: indica a área geográfica para a qual os dados coletados são válidos. Por exemplo: os dados são válidos para a produção médio nacional; ou se aplicam apenas para o caso de certa planta industrial; e
- Cobertura tecnológica: descreve qual a tecnologia que os dados estão associados.

j) Tipo e formato do relatório requerido para o estudo

A norma cita a validade de informar o tipo e formato do relatório, de modo que os resultados, dados, métodos, pressupostos e limitações possam ser apresentados de forma completa, precisa e imparcial. Se o estudo objetivo a afirmação comparativa para comunicação pública, requisitos adicionais devem ser considerados (ABNT, 2009a).

3.5.4. Análise do inventário do ciclo de vida (AICV)

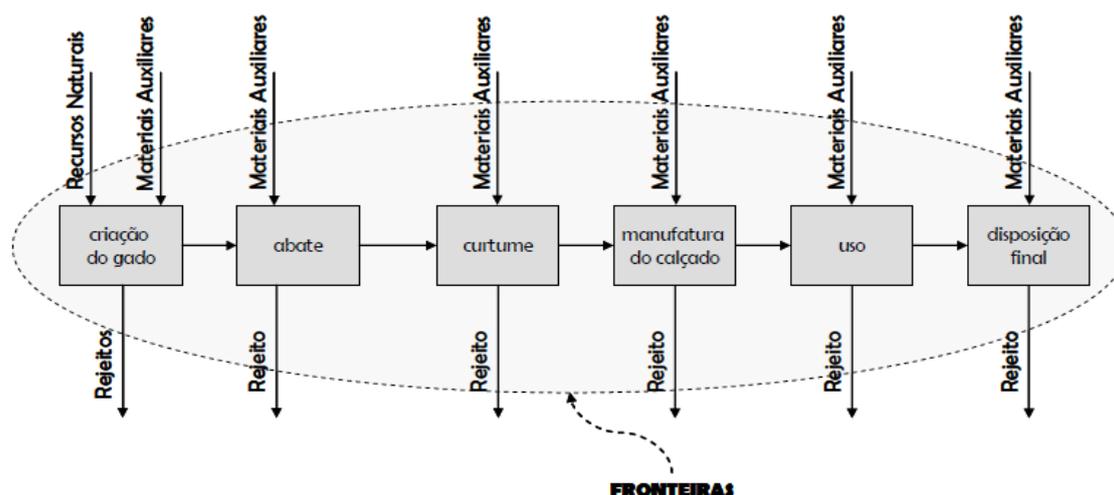
A construção do análise do inventário do ciclo de vida (AICV) é a fase que mais consome tempo e recursos em um estudo de ACV, dado o enorme volume de informações que precisam ser obtidas. Diante desta situação, Baumann e Tillman (2004), afirmam que na coleta de dados é fundamental a procura pelos dados certos, não apenas coletados. A análise de inventário consiste basicamente em duas etapas: coleta de dados e tratamento dos dados (SILVA; KULAY, 2010).

A. Coleta de dados

A coleta de dados corresponde ao levantamento das informações do ciclo de vida do produto, dados estes que devem obedecer aos requisitos de qualidade definidos na fase de escopo. Os dados a serem levantados devem trazer informações quantitativas, bem como de natureza qualitativa, que descrevem os requisitos de qualidade a que estão associados.

Previamente à coleta é fundamental a construção de um fluxograma (ou mesmo o refino do fluxograma inicial), respeitando a definição das fronteiras estabelecidas na fase de escopo. Um fluxograma consiste nos processos elementares e seus respectivos dados de entrada e saídas, como exemplifica a Figura 16.

Figura 16 - Fluxograma representativa do sistema de produto de um calçado de couro



Fonte: Kulay (2008).

Com base no fluxograma parte-se para a coleta (e documentação) dos dados, que segundo Curran (2006) e Silva e Kulay (2010) podem ser obtidos: diretamente nos locais de produção (dados primários); por meio de fontes indiretas (dados secundários); simulações; ou mesmo em contato com especialistas. A utilização dos dados primários, desde que corretamente medidos, são preferíveis frente aos secundários por retratar de forma mais fiel à realidade do modelo estudado. Na maioria dos casos os dados primários estão indisponíveis, portanto, comumente recorre-se ao uso de bancos de dados internacionais embutidos nos softwares de apoio a estudos de ACV (SILVA; KULAY; 2007).

B. Tratamento dos dados

O processo de coleta de dados geralmente gera um conjunto enorme de informações que estão na forma bruta. Estes dados brutos ainda não estão prontos para compor o ICV, cabendo então ao executor do ACV verificar se os requisitos de qualidade foram atendidos, aplicar balanços de massa, etc., e depois, correlacionar os dados validados à unidade funcional (ou fluxo de referência). Esta etapa do estudo de ACV é conhecida como tratamento dos dados.

C. Avaliação do Impacto

Analisa as magnitudes e significâncias dos efeitos potenciais causados pelo ciclo de vida do produto sobre o meio ambiente e sobre o ser humano. Schenck (2000) completa o raciocínio reportando que a quantificação dos impactos ambientais por meio de indicadores de categoria não é uma medida real dos efeitos ambientais; mas sim, trata-se da medida de algo que a maioria dos cientistas acredita ser correlata com os efeitos reais; ou seja, é uma simplificação do mundo real.

De acordo com a ABNT NBR ISO 14044 (2009b) a avaliação do impacto é composta tanto por elementos obrigatórios, como pelos ditos opcionais. Como elementos obrigatórios têm-se: Seleção de categorias de impactos e de seus respectivos indicadores; Classificação; Caracterização; e Definição do Perfil de Impacto Ambiental.

A seleção das categorias de impacto ambiental baseia-se nos resultados do ICV, particularmente nos aspectos ambientais de maior relevância para o estudo. São categorias de impactos de uso frequentes em estudo desta natureza: mudança climática; eutrofização; acidificação; depleção da camada de ozônio; toxicidade humana; uso do solo; entre outras (SILVA; KULAY, 2007; EUROPEAN COMMISSION, 2010).

Nesta etapa da Avaliação de Impacto é preciso haver uma definição sobre até que profundidade os impactos ambientais devem ser avaliados: *midpoint* ou *endpoint*. A modelagem do tipo *midpoint* leva em consideração os efeitos primários. Por outro lado, a modelagem do tipo *endpoint* vai mais a fundo, prestando-se a avaliar os efeitos finais da cadeia de causa e efeito sobre o meio ambiente e a saúde humana (KULAY, 2008). Na Tabela 7, apresenta-se exemplos de categorias de impacto segundo as modelagens *midpoint* e *endpoint*.

Tabela 7 - Exemplos de categorias de impacto segundo as modelagens midpoint e endpoint

Categoria de impacto	Definição	Causa	Midpoint	Endpoint
Potencial de Aquecimento Global (PAG)	Retenção de parte da radiação infravermelha refletida pela terra devido a presença de determinados gases na atmosfera. Destruição da camada de gás ozônio (O ₃) existente na estratosfera que responde por filtrar grande parte da radiação ultravioleta (UV)	Emissão para a atmosfera de gases de efeito estufa (GEE) tais como: CO₂, CH₄, N₂O e halo carbonos.	Aumento da temperatura média global de maneira desproporcionada.	Derretimento das calotas polares, perda da umidade do solo, alteração nos padrões de ventos e oceanos.
Potencial de Depleção da Camada de Ozônio (PDCO)		Emissão de halo carbonos das famílias dos CFCs, HCFCs, e de alguns HFCs.	Redução da camada de ozônio que leva ao aumento da radiação ultravioleta na superfície terrestre.	Efeitos sobre a saúde humana tais como câncer de pele e catarata.
Potencial de Acidificação (PAC)	Redução no índice de acidez das precipitações abaixo de PH:5	Emissão de compostos gasosos de caráter ácido no ambiente via: queima de combustíveis fósseis com enxofre, produção de metais, produção de papel entre outros.	Ocorrência de precipitações com baixo índice de PH	Corrosão de edifícios e patrimônios históricos, alteração das condições aquáticas, vegetais e do solo.
Potencial de Eutrofização (PEU)	Enriquecimento em corpos d'água e no solo e nitrogênio (N) e fósforo (P)	Presença em excesso, devido ao lançamento em corpos hídricos de substâncias contendo N e P.	Em lagos e águas costeiras, leva ao aumento excessivo da quantidade de algas que por sua vez, acarreta a diminuição da luz solar na parte submersa do ecossistema.	Morte de peixes e outros animais aquáticos, reduzindo assim a diversidade biológica.
Potencial de toxicidade humana (PTH)	Quantidade de determinada substância capaz de contaminar 1 kg de massa corpórea até limites impróprios	Exposição da população a substâncias tóxicas por tempo e em quantidades suficientes para provocar contaminação.	Intoxicação em diferentes graus de abrangência	Aumento de morbidade e mortalidade.

Fonte: Modificado de Kulay (2008) e Curran (2006).

3.5.5. Classificação.

A etapa de classificação, trata-se de um procedimento puramente qualitativo, cujo objetivo é associar cada qual do aspecto ambiental ao seu respectivo impacto ambiental potencial. Um determinado aspecto ambiental pode contribuir para uma ou mais categorias de impacto. Nestes casos, deve-se adotar uma das seguintes possibilidades (ABNT, 2009b).

- Distribuir uma porção do aspecto para cada categoria de impacto que ele contribui. Por exemplo, o total de SO₂ é distribuído entre as categorias: saúde humana e acidificação.
- Atribuir toda a porção do aspecto para cada uma das categorias de impacto que ele contribui. Por exemplo, o NO_x é integralmente relacionado tanto para a formação de ozônio troposférico quanto para a acidificação.

3.5.6. Caracterização.

Trata-se de um procedimento quantitativo que converte os aspectos ambientais de cada categoria de impacto em uma base, que representa a referida categoria (SILVA; KULAY, 2007). Esta unidade comum é chamada de substância de referência; todos os demais dados devem ser expressos em função da sua contribuição (magnitude) em relação à substância de referência, para a categoria analisada. Exemplos de substâncias de referência são o CO₂ e o CFC-11, que representam as categorias Mudança climática e Depleção da Camada de Ozônio, respectivamente. Na Tabela 8, se apresentam as categorias de impacto e os respectivos indicadores de categoria.

Tabela 8 - Exemplos de categorias de impacto e respectivos resultados do indicador de categoria

Categoria de Impacto	Resultado do Indicador de categoria
Depleção da camada de ozônio	Kg de CFC-11 eq/UF
Mudança climática	Kg de CO₂eq/UF
Acidificação	Kg de SO ₂ eq/UF
Eutrofização	Kg de PO ₄ ⁻³ eq/UF
Formação Fotoquímica de Ozônio	Kg de C ₂ H ₄ eq/UF
Toxicidade humana	Kg de 1,4-DB eq/UF
Ecotoxicidade aquática	Kg de 1,4-DB eq/UF
Ecotoxicidade terrestre	Kg de,4-DB eq/UF

Fonte: Silva e Kulay (2007).

3.5.7. Interpretação

Os resultados do inventário quanto aos impactos ambientais potenciais ao longo do estudo devem ser interpretados, levando em consideração a definição de objetivo e escopo. Segundo ABNT (2009a), as constatações da interpretação devem incluir conclusões, explicar limitações e prover recomendações que podem ser muito úteis aos tomadores de decisões. Vale destacar que a interpretação não deve ser feita somente após a conclusão das fases de Análise de inventário e Avaliação de impacto, dado o caráter iterativo da ACV, alguma limitação identificada nestas fases pode requerer a revisão do objetivo e escopo inicialmente estabelecidos.

Para a avaliação dos elementos constituintes de um estudo de ACV, algumas técnicas são utilizadas, das quais ABNT (2009b), explica três:

1. Verificação de completeza; verifica-se todas as informações e dados relevantes foram coletados.
2. Verificação de sensibilidade: Avalia a confiabilidade dos resultados finais determinando de que forma eles são afetados por incertezas nos dados. A verificação da sensibilidade pode ser utilizada para a exclusão de estágios do ciclo de vida, processos elementares, ou entradas e saídas que se mostrarem não significativas para os resultados do estudo; e
3. Verificação de consistência: Determina se as premissas, métodos e dados são consistentes com o objetivo e escopo. A consistência do estudo será constatada caso sejam respeitadas as definições do escopo, como por exemplo: fronteiras do sistema, coberturas temporal, tecnológica, método de alocação, modelo de avaliação de impacto cientificamente válido, entre outros aspectos.

3.5.8. Comunicação e revisão crítica

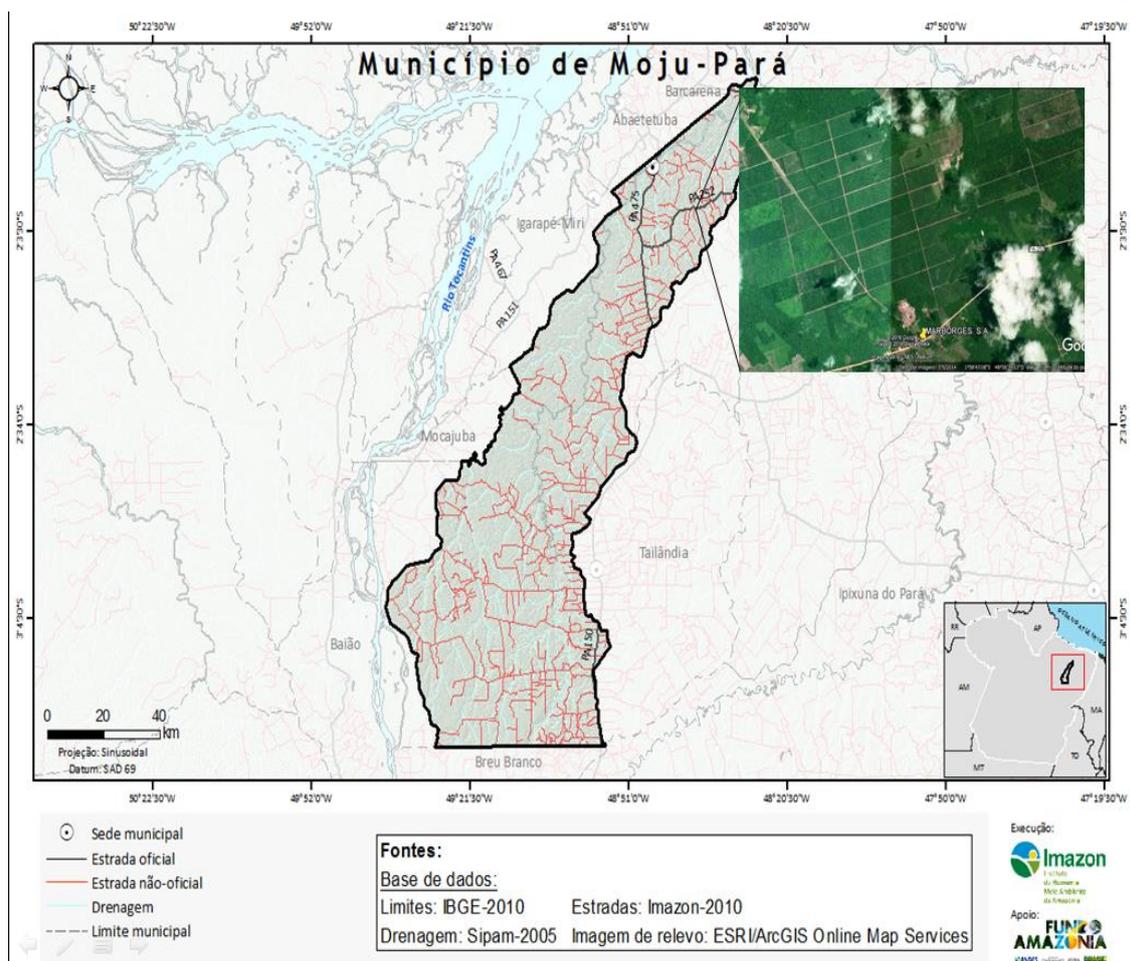
A comunicação é a etapa final de um estudo, onde o relatório deve ser elaborado de forma que os dados, métodos, premissas e suposições, limitações e resultados são documentados. Dado que ainda não existe uma metodologia universal, é fundamental que o relatório seja transparente em relação as premissas adotadas, e que todas as informações pertinentes estejam presentes de forma completa, precisa e imparcial. A revisão crítica é o procedimento no qual um especialista não envolvido com o estudo, avalie a qualidade de execução do estudo (BAUMANN; TILLMAN, 2004).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Descrição da área de estudo

O estudo foi realizado nas instalações da empresa Marborges Agroindústria S.A (1°59'26.04 S, 49°36'31.46 O) localizada próximo ao município de Moju, no Estado do Pará (Figura 17). A avaliação da biomassa foi desenvolvida em plantações de híbridos interespecíficos (*Elaeis guineensis* x *Elaeis oleifera*) (HIE) estabelecidos nos anos 2007, 2010, 2012 e 2014. A área de plantações com HIE é de 2644,72 ha inseridos em uma área total de 6840,6 ha de cultivos de palma. Para o inventário da quantificação dos gases de GEE emitidos durante os processos da palma de óleo (etapa agrícola e industrial) foi necessário realizar visitas às instalações agrícolas, industriais e administrativas da própria empresa.

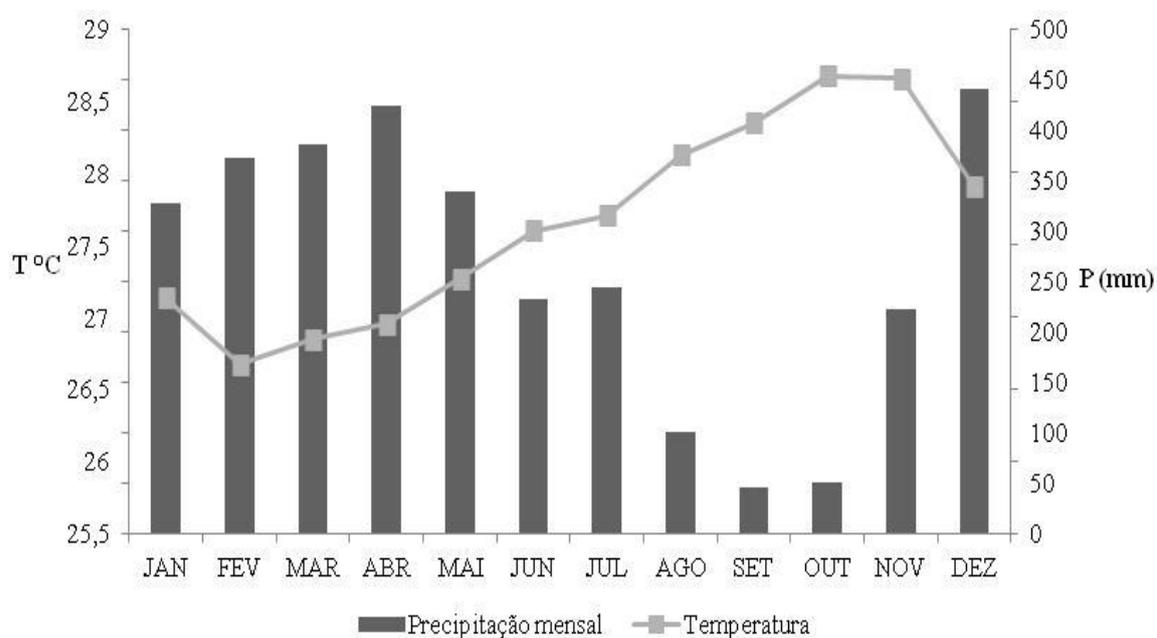
Figura 17 - Localização da área de estudo da Empresa Marborges Agroindústria S.A, no Município de Moju- PA.



Fonte: Imazon (2013).

O clima da região é do tipo Afw, segundo a classificação de Köppen (1918), com temperatura média anual que varia entre 25°C e 28°C (MORAES e BASTOS, 1972; MULLER e ALVES, 1997). A precipitação pluviométrica anual varia entre 2000 e 3000 mm com distribuição irregular durante o período menos chuvoso correspondente aos meses de agosto e outubro (INMET, 2016) (Figura 18). A insolação mensal varia de 148h a 275,8h, com valores elevados no período de junho e dezembro (NEMER e JARDIM, 2004). O solo é classificado como “Latosolo Amarelo Distrófico Típico” (EMBRAPA, 2006), e Oxisol na classificação da United States Department of Agriculture (USDA, 1999).

Figura 18 - Precipitação e temperatura no intervalo de 2005 – 2015, no município de Moju, Pará.



Fonte: INMET (2016).

4.1.1. Coleta de dados

4.1.1.1. Determinação da biomassa da parte aérea na palma de óleo

Para a determinação da biomassa aérea selecionaram-se 10 plantas de cada plantio. A seleção das plantas foi sistematizada e seguiu alguns critérios como; fisionomia, fácil acesso, aspecto uniforme e com produção de cachos (exceto no plantio mais jovem). A eleição das unidades de amostragem foi definida de acordo ao ano de plantio. No caso do plantio de 2007 (com oito anos de idade), o plantio 2010 (com cinco anos), 2012 (com três anos) e 2014 (com um ano).

Nas plantas selecionadas de cada ano de plantio, foram realizadas mensurações referentes às variáveis dendométricas como: o diâmetro do coleto (dc), diâmetro a 50 cm de altura (d50), diâmetro a altura do peito (dap), altura do estipe (he) e altura da planta (ht) (Figura 19). Esta última foi medida do solo até a base da folha 33 seguindo o procedimento descrito por Corley *et al.*, (1971). Também foram contabilizados o número de folhas por planta, de folíolos por folha, de frutos verdes e maduros por cacho e de cachos verdes e maduros.

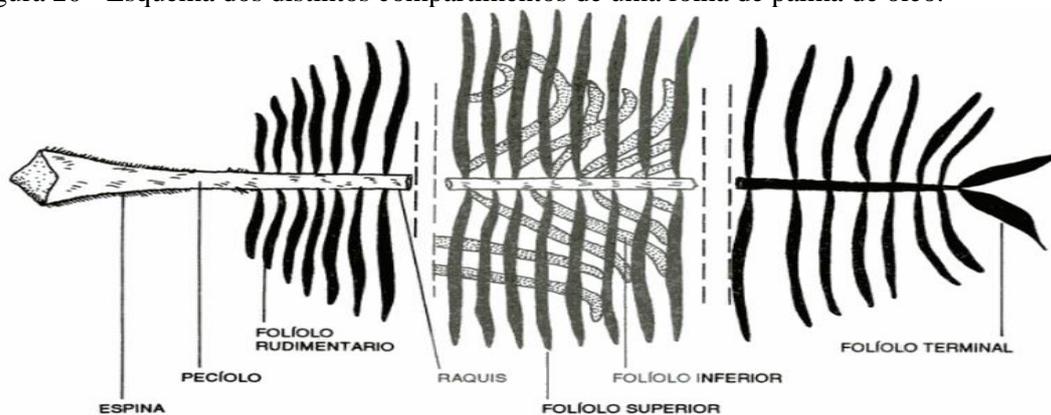
Figura 19 - Diâmetro a 50 cm (d50), diâmetro a altura do peito (dap), diâmetro do coleto (dc) altura total (ht), altura do estipe (he).



Fonte: Adaptado de Sanquetta *et al.*, (2015).

O tipo de composição em cada folha de palma, apresenta-se na Figura 20, a qual é de tipo pinadas e é composta por três partes: pecíolo, ráquis e folíolos. O pecíolo fica aderido ao estipe, a ráquis, com 3,5 a 6,5 m de comprimento, suporta os folíolos em número de 200 a 350, dispostos de ambos os lados. Os folíolos da parte média da ráquis são maiores e medem até 1,20 m de comprimento por 5 a 6 cm de largura (SURRE; ZILLER, 1969; HARTLEY, 1983; HARTLEY, 1986).

Figura 20 - Esquema dos distintos compartimentos de uma folha de palma de óleo.



Fonte: Rojas (1983).

A partir de cada planta já mensurada procedeu-se a coleta de toda a parte aérea, com auxílio de ferramentas adequadas, como o terçado, separando cada planta em diferentes compartimentos: folhas (A), estipe (B), pecíolo (C), ráquis (D), folíolos (E), flechas (F), meristema (G) e inflorescências (H), frutos (I) (Figura 21). Cada compartimento foi colocado sobre a lona plástica e foram anotados os diferentes pesos da massa fresca utilizando-se balanças com capacidade para 20 e 100 kg.

Figura 21 - Diferentes compartimentos da palma de óleo que foram mensurados nesse estudo.



Fonte: Autor

Para a determinação de massa seca, foram coletadas e pesadas amostras de aproximadamente 0,5 kg dos diferentes compartimentos, ráquis, pecíolo, folhas, folíolos, flecha, bases peciolares, estipe (estipe 1/3 superior, 1/3 médio, 1/3 inferior), meristema, cachos (cacho verde VI, cacho verde VII, cacho verde VIII, cacho inchado, cacho maduro

e cacho abortado), inflorescência feminina, masculina e andrógena, utilizando-se uma balança de $0,8\text{kg} \pm 0,01\text{g}$ de precisão. As amostras foram colocadas em sacos de papel kraft devidamente identificadas (Figura 22A1), e levadas ao laboratório de análises de sistemas sustentáveis na Embrapa, em Belém, para ser secado na estufa a temperatura de 65°C , até atingir peso de massa seca constante (Figura 22A2).

Figura 22 - Identificação das amostras (22A1) e secado das amostras, na estufa de circulação forçada (22A2).



Fonte: Autor

4.1.1.2. *Estimação da biomassa aérea*

A partir dos valores obtidos da massa seca de cada compartimento, foram construídas as regressões lineares e não lineares (MAGNUSSON e MOURÃO, 2005). Os critérios estatísticos para a seleção da melhor equação foram: o elevado r^2 ajustado (ANDRE e ELIAN, 2000); a distribuição padronizada dos resíduos, e o menor erro padrão de estimativa (NETER e WASSERMAN, 1974). Para estimar a biomassa acumulativa aos 25 anos de idade, foi utilizado o modelo de Chapman-Richards utilizando a técnica da iteração numérica, o qual consistiu em usar números que possam ajustar o modelo de crescimento nas plantas. Para ajustar os valores do modelo, foi utilizado o software de análise estatístico R (KIVISTE, 1988).

4.1.1.3. *Conteúdo de carbono na biomassa*

Para converter a biomassa aérea em carbono expressa em $\text{Mg C}\cdot\text{ha}^{-1}$, neste estudo o valor padrão utilizado para o conteúdo de carbono da biomassa acima do solo é de 0,47 (IPCC, 2006; SANQUETTA et al., 2015). E o coeficiente de conversão de carbono em CO_2 foi baseado no IV Relatório do IPCC (2007, p 3) em que 1Mg C equivale a $3,67\text{ Mg CO}_2$, pela razão entre os pesos moleculares do CO_2 e do carbono, ou seja, $44/12$.

4.2. Avaliação do ciclo de vida

4.2.1. Definição de objetivo da ACV

O objetivo do trabalho é analisar o desempenho ambiental do “óleo de palma”, a partir do aspecto ambiental - impacto mudança climática expressados em kg de CO₂eq. A finalidade do trabalho é identificar as fontes emissoras de gases de efeito estufa, assim mesmo as oportunidades de melhoria do processo e orientar ao desenvolvimento de estratégias de redução de GEE para o setor da palma de óleo no Pará. Sob o viés metodológico, esta apresentação segue as diretrizes sugeridas pelas normas ABNT NBR ISO 14040:2009 e 14044:2009, tendo como público alvo o setor indústria de palma de óleo.

4.2.2. Função

A definição da função de um produto é necessária para que se possa determinar para qual exercício o objeto em estudo será avaliado. A análise sugerida pelo objetivo geral anteriormente proposto se restringe, em termos de aplicação da ACV, a uma abordagem do tipo do berço ao portão, o que significa que serão quantificados os aspectos ambientais nas emissões atmosféricas da produção de óleo de palma. O trabalho exclui os restantes aspectos ambientais e às fases de distribuição e de consumo de pós-produção e seus respectivos impactos.

4.2.3. Definição da Unidade Funcional e Fluxo de Referência

De acordo com a NBR ISO 14040 (2009), a unidade funcional (UF) é definida como o desempenho quantificado de um sistema de produto para o estabelecimento de uma unidade de referência em estudos de ACV. No caso do “óleo de palma”, estabeleceu-se o fluxo de referência é igual a unidade funcional em 1000 kg de óleo de palma cru.

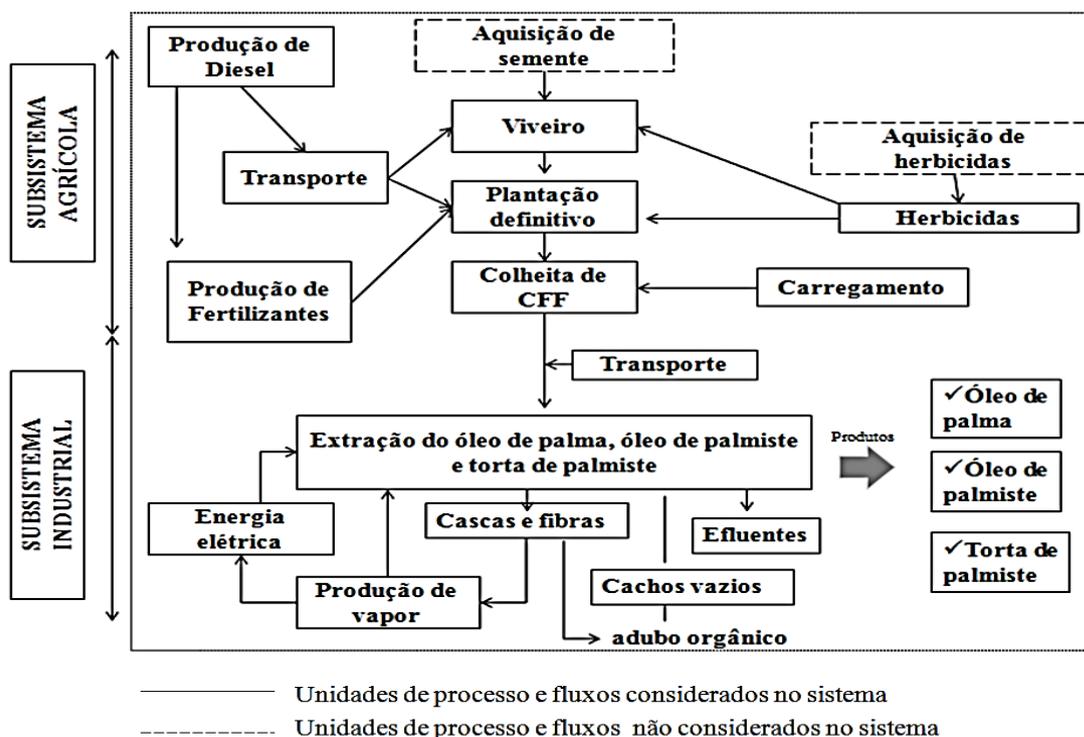
4.2.4. Sistema de Produto

O sistema de produto do óleo de palma aparece indicado na Figura 23. Percebe-se que este sistema de produto é composto pelos subsistemas agrícola e industrial.

A despeito do subsistema agrícola, este engloba as atividades de: viveiro, operações mecânicas, plantio definitivo, manutenção e uso de (fertilizantes, pesticidas, fungicidas) colheita e transporte rodoviário até a indústria de extração.

É necessário ressaltar que no subsistema industrial (da extração de óleo), a operação é realizada por ação mecânica. Além disso no mesmo processo é usado, energia elétrica e vapor d'água. O sistema do produto para a avaliação do ciclo de vida do óleo de palma é apresentado na Figura 23.

Figura 23 – Fluxograma do sistema de produto do óleo de palma na Marborges Agroindústria S.A no Estado do Pará.



Fonte: Adaptado de Marzullo (2007).

Fronteiras do sistema de produto

A definição do sistema de produto para este estudo baseou-se no enfoque metodológico do tipo “berço ao portão”. Este engloba desde o início do ciclo de vida (extração da matéria prima), até a produção do óleo de palma. A definição das fronteiras do sistema está fundamentada, em igual importância, nas seguintes premissas.

- Desconsideração de determinados aspectos ambientais - fundamentada pôr o pequeno tempo do estudo e em alguns casos por meio da aplicação de critérios de exclusão que avaliam a contribuição relativa do aspecto ambiental em relação a relevância ambiental, as quais serão apresentadas em detalhe mais adiante no texto.
- Desconsideração de aspectos ambientais associados a produção de bens de capital e de utilização de mão de obra.

- Nos subsistemas da etapa agrícola e a industrial, contabilizaram-se as emissões atmosféricas do CO₂, CH₄ e N₂O do aspecto ambiental, categoria mudança climática.

Cobertura temporal

Foram utilizados dados que refletem a situação compreendida entre 2012 e 2015 para qual os dados deveriam ser válidos. Tal intervalo foi definido pelo subsistema industrial, e estendido para o subsistema agrícola no intuito de manter uma uniformidade no estudo. Qualquer desvio deste período é devidamente reportado no texto.

Cobertura geográfica

Em termos de cobertura geográfica, definiu-se o modelo da produção do óleo de palma no Estado do Pará. Tal decisão foi tomado em razão de haver a maior quantidade de empresas produtoras de palma de óleo nesta região (Item 3.2.2). Outras variações de ordem geográfica foram introduzidas por conta dos bancos de dados empregados.

Cobertura tecnológica

No caso da produção de petróleo nacional, a tecnologia considerada é a de extração offshore em plataforma. Para os países importadores de petróleo, foram respeitadas as características e particularidades locais segundo os mesmos bancos de dados. Para o caso do óleo diesel, definiu-se como cobertura tecnológica o esquema do refino típico de uma refinaria.

A maioria dos processos tecnológicos foram introduzidos de acordo aos bancos de dados empregados da revisão bibliográfica.

Requisitos de qualidade dos dados

A respeito da fonte dos dados para a construção do ICV, este estudo fez uso preponderantemente de dados primários, mas também de dados secundários. Os dados primários, foram obtidas através de questionários e entrevistas aos técnicos e chefes da Marborges Agroindústria S.A. Para preencher lacunas nas series de dados, foi necessário o uso de valores proporcionados por informação bibliográfica de artigos científicos, trabalhos de doutorado e livros técnicos reconhecidos. Para a coleta de dados primários na Tabela 9, considera-se as diferentes abordagens utilizadas na elaboração dos questionários determinadas pelos subsistemas do presente estudo.

Tabela 9- Lista das abordagens para a elaboração dos questionários, considerando as unidades de processo

Subsistemas	Processos
Agrícola	Transporte de fertilizantes
	Viveiro
	Operações mecânicas
	Manutenção
	Produção de Cachos de Frutos Frescos
Industrial	Transporte colheita
	Transporte até a indústria
	Geração de vapor
	Geração de energia elétrica
	Extração do óleo de bruto de palma

Fonte: Autor

4.3. Caracterização do Subsistema Agrícola

O subsistema agrícola do cultivo HIE, começa com a classificação das sementes, passo fundamental na seleção das melhores sementes. Os requerimentos especiais para a seleção das sementes são os seguintes: radículas bem definidas, sementes com 1-3 cm de comprimento e livre de fungos (Figura 24a).

Após a seleção das sementes é realizado o plantio em viveiro por um período de 15 meses, sendo a perda de sementes de no máximo 1%. O corpo de água está localizado a 200 m de distância. Os sacos plásticos utilizados para as mudas contêm principalmente, terra úmida (75%) e matéria orgânica (25%) o que confere um peso de 8 kg por saco plástico. Nas primeiras semanas os tratos culturais das mudas iniciam-se com uma cobertura de casquinha (casca da amêndoa) (Figura 24b). O próximo trato cultural é a retirada das ervas invasoras, através da técnica conhecida por “monda” (Figura 24c).

Figura 24 - Seleção de sementes (a), cobertura com casquinha (b) e técnica de monda (c).



Fonte: Souza, S (2016)⁴

⁴ SOUZA, S. Comunicação pessoal. 2016. (Técnico responsável - Agrícola Marborges).

A partir da sexta semana após o plantio das sementes, são realizadas três adubações foliares, (fórmula NPK 20-20-20 + Micros). E a partir da décima semana após a adubação foliar, são realizadas doze aplicações de adubo granulado (fórmula NPK 18-18-18+Micros), com um intervalo de aplicação de 30 dias. O controle de pragas e doenças nas mudas, é feito mediante a pulverização profilática. Nessa atividade o colaborador utiliza uma bomba costal com inseticida e fungicida. A pulverização somente é utilizada quando há incidência de pragas ou fungos dentro do viveiro. O preparo da terra, para o plantio definitivo do HIE nas áreas da empresa Marborges Agroindústria S.A, é incentivado a ocorrer somente em áreas degradadas ou improdutivas, sem desmatamento da floresta. Após definição da área para o plantio, procede-se a uma limpeza total da área, e a incorporação de material com cachos e fibras através de uma pá carregadeira (Figura 25a) e do trator com grade (Figura 25b).

Figura 25 - Equipamentos para a limpeza da área e para a incorporação de material orgânico no solo.



Fonte: Souza, S (2016).

A muda quando atinge, aproximadamente 1 m de altura, é levado ao campo para ser plantado em seu lugar definitivo, por onde permanecerá por aproximadamente 25 anos. Considera-se ano zero, o ano em que foi efetuado o plantio definitivo e somente a partir do “ano três” tem início da colheita. O espaçamento das plantas é de 9x9x9m (triângulo equilátero), que perfaz um total de 143pl.ha⁻¹ (Figura 26)

Figura 26 - Distribuição das plantas do dendê híbrido HIE no plantio definitivo.



Fonte: Autor

As ações de manutenção no plantio definitivo, são desenvolvidas com a finalidade de controlar o crescimento de ervas daninhas dentro do plantio do HIE. Elas ocorrem mediante; roçagem mecânica, coroamento de enxada e terçado, rebaixo manual, afastamento, capina química e finalmente a poda das palmeiras. A roçagem mecânica, é feita dentro e fora das parcelas. O equipamento utilizado é um trator com uma roçadeira tipo Avaré acoplada (Figura 27a). A roçagem começa nos plantios de N0 (plantio de 0 idade) até N3(3 anos de idade). O ciclo de roçagem mecanizada é de 60 dias, portanto seis vezes ao ano. O coroamento realizado utilizando-se a enxada e facão, e consiste na retirada de as ervas invasoras e resíduos da planta. Essa atividade é conduzida no plantio N0 e no máximo duas vezes depois do plantio (Figura 27b).

Figura 27 - Roçagem mecânica com trator- roçadeira avaré e o coroamento com facão.



Fonte: Souza, S (2016).

A capina química é o procedimento da aplicação como defensivo agrícola, para controlar o crescimento das ervas daninhas. O tratorista adiciona 15 litros de glifosato (75%) no tanque de 2000 litros de água. A aplicação do produto é a partir de N4 do plantio e alternando nas ruas (um sim, uma não) (Figura 28a). No caso da poda e arrumação da palha, a atividade consiste na retirada do excesso de folhas durante o ano. Em média, a palmeira emite aproximadamente 24 folhas, onde algumas são retiradas no ciclo de colheita e o restante no ciclo da poda. O objetivo da poda é o controle natural de pragas, é facilitar a identificação dos cachos maduros. Na arrumação de palha, a finalidade é a adubação orgânica, reduzir o crescimento das ervas invasoras e aumentar a concentração da umidade no solo (Figura 28b).

Figura 28 - Atividade de capina química e a poda das palmeiras.



A colheita dos CFF é feita de forma manual, com ajuda de ferramentas de corte (sacho e foice). Os cachos são cortados e deixados no chão. Em seguida, tem início a operação de “carreamento”, na qual os cachos são recolhidos, com auxílio de animais como: muares, bubalinos, que são atrelados às charretes. Na colheita de cachos em plantios N4 utilizam-se os muares (burro), em função dos cachos terem pesos mais baixos (Figura 29a). Os bubalinos, geralmente, são utilizados a partir do N5. A vantagens dos bubalinos é o esforço de tração superior aos muares, e além disso, o baixo custo de investimento comparado às máquinas (Figura 29b). Depois do carreamento, os cachos são repassados para os contêineres permanecem nas laterais das parcelas (Figura 29c).

Figura 29 – Animais (muares e bubalinos) utilizados para o carregamento dos CFF dentro das áreas do plantio HIE.



Fotografias: Souza, S (2016).

O transporte dos CFF desde os contêineres (na área do plantio) até a indústria de processamento, é realizado por caminhões que contém os contêineres com capacidade de 15 t (Figura 30a) a capacidade máxima de tração nos caminhões é acima de 63 t. A distância média aproximada das áreas de plantio até a indústria é de 15 km. Na indústria, os contêineres são colocados no pátio de estocagem (Figura 30b). O diesel consumido pelos caminhões é considerado como entrada no sistema.

Figura 30 - Tipo de caminhões utilizados no transporte de CFF das áreas do plantio até a indústria processadora.



Fonte: Autor

4.4. Caracterização do subsistema industrial

O processo inicia-se com o recebimento dos CFF através da rampa de alimentação chamado “moega” (Figura 31a). Logo após o recebimento, uma equipe de colaboradores transfere os cachos para as vagonetes, com capacidade de 5 t cada um (Figura 31b).

As vagonetes são movimentadas por mini carregadeiras e levados para o esterilizador. A esterilização, tem por finalidade desativar as enzimas que proporcionam um acréscimo de acidez no óleo, além de facilitar a ruptura da célula oleífera para a extração. A pressão do vapor da esterilização é de 3kgf.cm^{-2} com uma temperatura que varia entre 140 e 145°C.

Uma esterilização mal realizada dificulta toda a linha de produção. Atualmente na Marborges Agroindústria S.A, as operações de esterilização são monitoradas sob os protocolos de supervisão contínua (Figura 31c).

Figura 31 - Recebimento dos CFF (a), vagonetes com CFF (b) e o sistema de supervisão para a esterilização (c).



Fonte: Fotografias do Autor

Depois que o fruto é esterilizado, a mini carregadeira transporta as vagonetes para o tombador, que alimenta o transportador que leva os frutos até o debulhador (Figura 32a). Este separa os frutos dos cachos. Após separados, os frutos caem em uma calha que é empurrada para o elevador que alimenta os digestores da prensa. Os cachos vazios seguem por uma esteira que os conduzem até contêineres (para serem utilizados na adubação dos plantios).

Os digestores são responsáveis pela maceração do fruto e assim facilitar a prensagem. Cada digestor tem capacidade de aproximadamente 1500 a 3500 l, é revestido por uma camisa de vapor para manter a temperatura entre 90 e 95°C. A função principal desta etapa é romper o mesocarpo, quebrando as células oleosas e facilitar a extração de óleo pela prensa. O tempo de digestão é de 25 a 30 minutos. Os frutos que saem do digestor entram na prensa composta por uma rosca. Com a prensagem, o material sólido e a água são separados (Figura 32b), e são extraídos o óleo cru e uma torta contendo fibras e nozes.

As fibras misturadas com as nozes, passam por uma desfibradora para que ocorra a separação final. O óleo cru, vai para um tri- decantador, que separa os sólidos e a umidade do óleo cru que vem das prensas. A água desse processo, é direcionada para uma piscina de efluente, que logo após, passa por tratamento é utilizada como adubação orgânica. O óleo cru é armazenado nos tanques, que tem capacidade de 15000 l.h⁻¹ (Figura 32c).

Figura 32 - Tombador (a), fibras e nozes do prensagem(b), tanque de armazenamento do óleo bruto.



Fonte: Autor

As fibras e as nozes são direcionadas para uma rosca, que é revestida por uma camada de vapor que retira a umidade da fibra. No interior da rosca, várias palhetas realizam a separação da fibra e das nozes. As fibras mais leves são aspiradas e transportadas por uma tubulação para serem usadas como combustível nas caldeiras. O

excesso das fibras é acondicionado nos containers, sendo levado em seguida para o campo onde são utilizadas como adubo (Figura 33a).

As nozes, mais pesadas, caem por gravidade e passam por um tambor polidor, a partir do qual são levadas diretamente para o sistema de recuperação das amêndoas. As nozes que foram separadas sobem por um elevador e passam por um tambor classificador, que de acordo com o tamanho seguem para um quebrador (Figura 33b). Após a retirada da umidade das amêndoas, que ocorre no silo de secagem, elas, caem na mesa de gravidade para a separação das amêndoas e cascas.

As cascas são separadas e as amêndoas são levadas para um moinho, e quando trituradas seguem diretamente para um cozinhador (Figura 33c). O cozimento, serve para retirar a umidade das amêndoas moídas, que logo, são levadas até a prensa para a retirada de óleo. O bagaço produzido na prensagem (torta) é usado como ração animal. O óleo de palmiste é bombeado para o filtro prensa, onde são retiradas toda as impurezas, e finalmente é enviado para o tanque de armazenamento (Figura 33d).

Figura 33 - Retirada das fibras (a), quebrador de nozes (b), tanque de cozimento (c) e tanque de armazenamento de óleo de palmiste (d).



Fonte: Autor

O efluente líquido resultante do processo de extração dos óleos de palma e palmiste são conhecidos como POME, pela sigla em inglês (*Palm Oil Mill Effluent*). O efluente contém alta porcentagem de água, junto com sólidos totais, óleo e gordura, assim como

concentrações de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO). Além disso, apresenta uma quantidade importante de aminoácidos, nutriente inorgânicos (Na, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Zn, Cu), fibras, compostos nitrogenados e ácidos orgânicos (CHIN *et al.*, 2013; AHMED *et al.*, 2015). No Anexo B, estão expostas as características dos componentes químicos encontradas nos efluentes da Marborges Agroindústria S.A. A água que resulta desse processo é canalizada para a piscina de tratamento (Figura 34a) onde começa a estabilização. Dentre as vantagens das piscinas de tratamento, pode-se citar o excelente desempenho quanto a remoção de matéria orgânica e sólida, baixo custo de implantação e manutenção e capacidade de trabalhar com sobrecargas hidráulicas e orgânicas. Na estabilização do efluente há a formação de gás metano (CH_4), enxofre (S), dióxido de carbono (CO_2), óxido de nitrogênio (N_2O) (PHUNTSO *et al.*, 2009). Logo após, a estabilização dos efluentes, eles são coletados e levados para serem distribuídos nas áreas de plantio como fertilizante orgânico (Figura 34b), aumentando mais ainda a reciclagem de nutrientes no solo (BASIRON e WENG, 2004).

Figura 34 - Piscina de efluente (a), distribuição do efluente nas áreas de plantio (b).



Fonte: Autor

Exclusão de aspectos ambientais

A decisão acerca da exclusão de aspectos ambientais seguiu critérios de duas naturezas: contribuição cumulativa em termos mássicos em relação ao total de entradas e saídas do processo elementar e relevância ambiental. O primeiro critério considerou excluir certo aspecto ambiental- ou seja, certo fluxo de matéria - cuja contribuição cumulativa é inferior a 1% do total de entradas e saídas a que esta quantidade se associa em determinada processo elementar. De tal maneira que a produção e transporte de sementes e o diesel utilizado nos equipamentos da aplicação de fertilizantes, foram

desconsiderados no presente estudo. O segundo critério da exclusão é pelo menor potencial de impacto ambiental com respeito ao potencial de aquecimento global.

Método de Avaliação de Impacto e Categorias de Impacto

Nesta opção foi selecionada a categoria do impacto: Mudança Climática (CC). A exclusão das outras categorias foi fundamentada na característica deste trabalho e as contribuições em termos de potencial de aquecimento, justificando a sua supressão no estudo.

Categoria de Impacto: Mudança climática

O estudo restringe-se somente às emissões atmosféricas de CO₂, CH₄ e N₂O, por serem considerados os mais relevantes ao longo do processamento de óleo de palma. Os diferentes GEE, foram convertidos para uma mesma unidade, de maneira possam ser somadas, estabelecida a CO₂ equivalente (CO₂eq). A transformação foi realizada multiplicando-se a quantidade estimada de cada GEE pelo seu potencial de aquecimento global (GWP)⁵, cujos valores mostram o poder de retenção de calor de cada GEE em comparação a uma molécula de CO₂ em um mesmo horizonte de tempo.

O CO₂eq é uma métrica utilizada para equalizar as emissões dos GEE com base na importância relativa de cada gás de efeito estufa, em relação ao CO₂, na produção de uma quantidade de energia (por área unitária), vários anos após um impulso de emissão. Para o cálculo do CO₂eq, são utilizadas algumas conversões, sendo a mais utilizada o GWP proposto pelo IPCC.

Tabela 10 - Valores do Potencial de aquecimento global usados no estudo da mudança climática do impacto da produção de óleo de palma na Marborges S.A

Fórmula química	Potencial de Aquecimento Global para 100 anos
	SAR
CO ₂	1
CH ₄	21
N ₂ O	310

SAR: Segundo relatório de avaliação; Fonte: IPCC (2014).

⁵ Em Inglês, Global Warning Potential (GWP)

5. RESULTADOS

5.1. Biomassa aérea

5.1.1. Biomassa do híbrido interespecífico (HIE)

Para a determinação da biomassa do HIE foi necessário determinar os pesos frescos (kg) de cada uma das plantas em diferentes idades. Assim, observa-se na Figura 35 nas plantas de oito anos de idade registraram aproximadamente um peso fresco de 1636 kg, e em plantas de um ano de idade 26 kg respectivamente.

A característica principal das plantas do HIE, é a grande quantidade de água retida nos compartimentos (75% do total da planta) por exemplo, em plantas com 8 anos de idade, a massa úmida em foi de 1636,5 kg onde 1227,1 kg (75%) foi a massa d'água e 396,5 kg de massa seca (Figura 36).

Figura 35 - Peso fresco total por planta em kg da massa seca em plantas de HIE, em função das idades

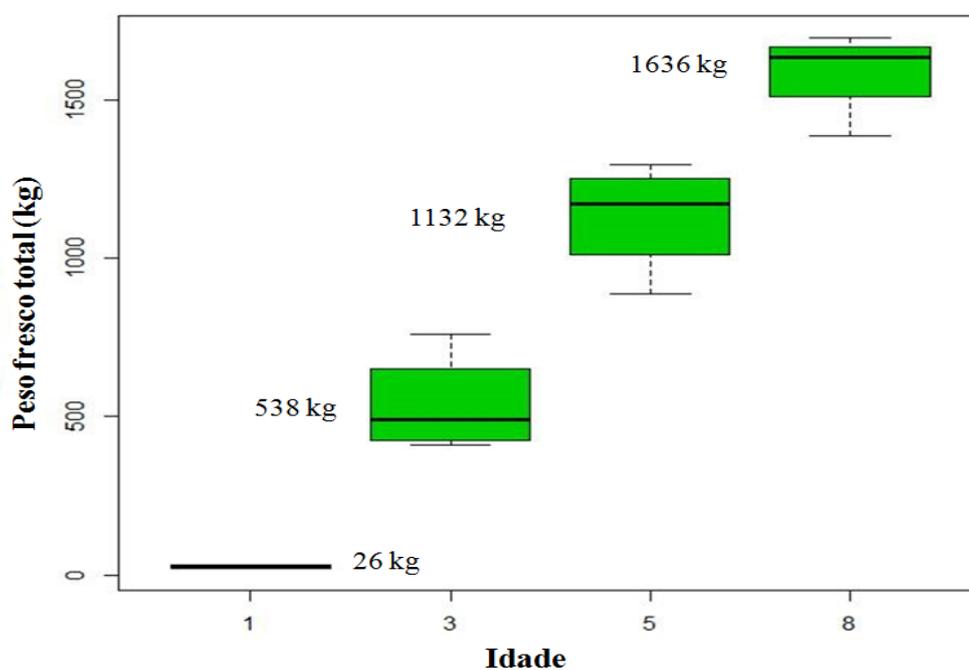
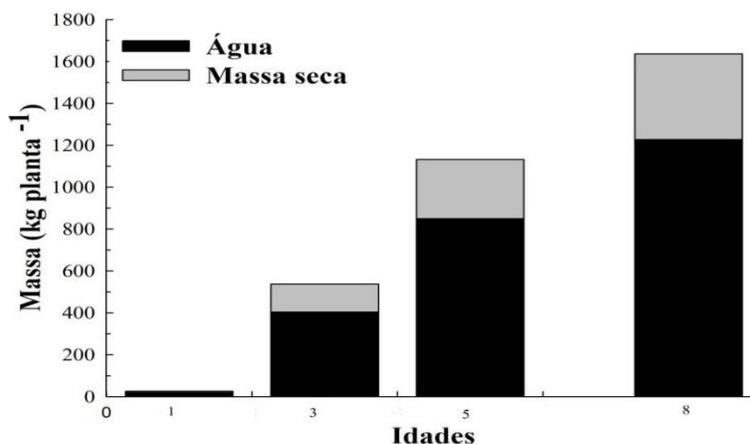


Figura 36 - Relação entre a massa seca (kg) e massa úmida (kg) nos plantios do HIE, em função das idades

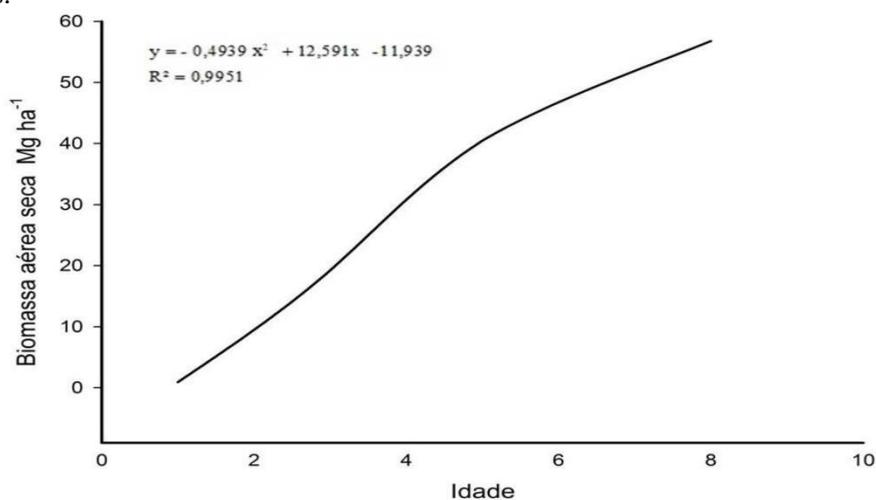


Tendo os resultados dos pesos frescos e secos das plantas avaliados, foi realizado o cálculo da biomassa total área do HIE, a qual variou fundamentalmente em função da idade entre 0,93 Mg ha⁻¹ (o primeiro ano) e 56,77 Mg ha⁻¹ (oito anos) (Tabela 11) (Figura 37) A correlação da biomassa área seca (Mg ha⁻¹) em função das idades, foi igual a 0,99.

Tabela 11 - Peso fresco, peso seco e biomassa da parte área do HIE em função da idade

Idade	Peso fresco total kg.pl ⁻¹ .	Peso seco total kg.pl ⁻¹	Biomassa Mg ⁶ ha ⁻¹
1	26	6,5	0,93
3	538	134,5	19,23
5	1132	283	40,47
8	1636	397	56,77

Figura 37 – Curva do crescimento da biomassa seca aérea do HIE (Mg ha⁻¹) em função das idades.



⁶ 1Mg=1t

A partir dos dados da biomassa aérea do HIE, foram realizadas estimativas no modelo de Chapman-Richards, para se determinar a biomassa acumulada em todo o ciclo de crescimento dos plantios HIE estimado em 25 anos. Neste intervalo de tempo o HIE mostra um acúmulo de 107,77 Mg ha⁻¹ de biomassa. Os valores estimados da biomassa anualmente para cada um dos 25 anos são apresentados na Tabela 12.

5.2. Sequestro de carbono na parte aérea

O HIE mostra um acúmulo de 107,77 Mg ha⁻¹ de biomassa em todo ao final do ciclo da cultura da palma de óleo. Na tabela 11 apresentam-se os resultados do acúmulo da biomassa, o carbono e sequestro de CO₂ para os 25 anos do ciclo do HIE. O sequestro de carbono varia em torno de 50,65 Mg C ha⁻¹, que convertidos para CO₂ seriam de 185,89 Mg CO₂ ha⁻¹. As estimativas para os 25 anos do sequestro de carbono nos plantios do HIE são apresentadas na Tabela 12.

Tabela 12 - Acúmulo de biomassa aérea e sequestro de carbono em plantios do dendê híbrido interespecífico, na Marborges Agroindústria S.A

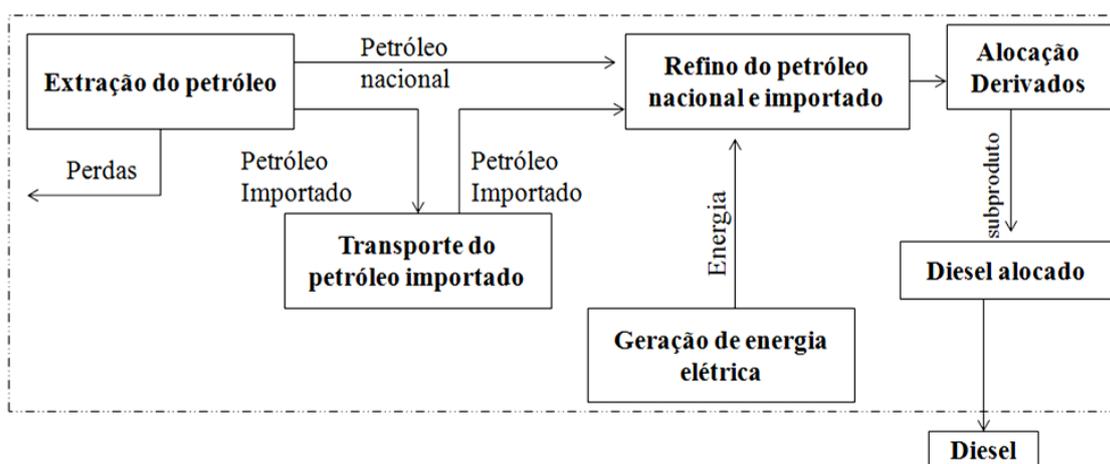
Idade	Biomassa aérea seca	Carbono	CO ₂
	Mg ha ⁻¹	Mg ha ⁻¹	Mg ha ⁻¹
1	0,93	0,44	1,60
3	19,23	9,04	33,17
5	40,47	19,02	69,81
8	56,77	26,68	97,92
9	59,77	28,09	103,10
10	62,77	29,50	108,27
11	65,77	30,91	113,45
12	68,77	32,32	118,62
13	71,77	33,73	123,80
14	74,77	35,14	128,97
15	77,77	36,55	134,15
16	80,77	37,96	139,32
17	83,77	39,37	144,49
18	86,77	40,78	149,67
19	89,77	42,19	154,84
20	92,77	43,60	160,02
21	95,77	45,01	165,19
22	98,77	46,42	170,37
23	101,77	47,83	175,54
24	104,77	49,24	180,72
25	107,77	50,65	185,89

5.2.1. Análise do Inventário do ACV

5.2.1.1. Inventário do Óleo Diesel

A determinação do inventário do óleo diesel, tem como referência os aspectos associados à extração do petróleo nacional e importado, ao transporte marítimo do petróleo importado, à produção de energia elétrica, ao refino de petróleo e à alocação. Onde as fontes de dados são secundárias, a cobertura temporal entre 2012 e 2015, a cobertura geográfica correspondem aos estados de São Paulo e Rio de Janeiro, qualquer variação de ordem geográfico foram introduzidas por conta do uso de banco de dados, e finalmente a cobertura geográfica, a partir da extração em plataformas offshore para o petróleo importado. O fluxograma com as unidades de processo para o diesel usado dentro do processo produtivo, é apresentada na Figura 38.

Figura 38 - Fluxograma geral para a obtenção do diesel usado no sistema de produto.



Segundo a ANP (2016) o Brasil produziu 141.445.548 m³ de petróleo em 2015⁷, sendo 93,4% extraídos do mar e 6,5% extraídos da terra. No mesmo ano, foram importados⁸ 18.805.964 m³ e exportados⁹ 42.753.341m³ de petróleo (ANP, 2016). No mesmo ano, o volume total de petróleo refinado (nas refinarias nacionais) foi de 115.130.385 m³. Assim temos que a partir de dados do ano 2015¹⁰, 100.623.956.490 kg de petróleo foram refinados (considerando que a densidade do petróleo seja 874¹¹ kg.m³). Desse total de petróleo refinado 13,91%¹² foi importado. Nesse mesmo ano a produção

⁷ Anexo E

⁸ Anexo F

⁹ Anexo G

¹⁰ A cobertura temporal do trabalho foi definida desde o ano 2012 até 2015. Os dados usados para calcular a obtenção do diesel foram do ano 2015, segundo o ANP (2016).

¹¹ Densidade do petróleo (874 kgm⁻³) segundo o Balanço Energético Nacional (2015)

¹² Segundo o ANP (2016), no ano 2015 houve um decréscimo nas importações devido a redução dos preços internacionais em 50,2% o que diminui na meia do petróleo importado.

de óleo diesel correspondeu a 43.198.219.246 kg (ANP, 2016). A partir dos valores mencionados, podemos concluir que foram necessários 2,32 kg de petróleo para a produção de 1 kg de óleo diesel.

O inventário para a produção de 1 kg de petróleo foi proporcionado por Queiroz (2011) e o inventário da produção de 2,32 kg de petróleo foi elaborado tendo como base os dados da ANP (2016). Desta forma, para a produção de 1 kg de óleo diesel, é necessária a extração de 2,53 kg de petróleo o que corresponde refinar 2,32 kg de petróleo. Os aspectos ambientais associados à produção do petróleo, são exibidos na Tabela 13.

Tabela 13 - Inventário para a produção de 1 kg de petróleo e a conversão para 2,32 kg de petróleo de petróleo nacional e importado. Sendo as entradas, petróleo, carvão, gás natural, energia, urânio natural e água as fontes de matéria prima. O dióxido de carbono, metano, vapor de água e o material particulado principalmente as saídas de emissões atmosféricas do processo.

	Produção de 1 kg de petróleo	Produção de 2,32kg de petróleo
Entradas		
Petróleo (kg)	1,09E+00	2,53E+00
Carvão (kg)	4,66E-05	1,08E-04
Gás natural (kg)	4,24E-02	9,84E-02
Energia (MJ)	3,24E-04	7,52E-04
Urânio natural (kg)	1,14E-08	2,64E-08
Água (kg)	2,25E-01	5,22E-01
Saídas		
Emissões atmosféricas		
CO ₂ (kg)	1,63E-01	3,78E-01
CO (kg)	3,23E-04	7,49E-04
Vapor de água (kg)	2,30E-04	5,34E-04
CH ₄ (kg)	2,58E-03	5,99E-03
Material particulado (kg)	1,21E-04	2,81E-04
Efluentes líquidos		
DBO (kg)	3,34E-05	7,75E-05
DQO (kg)	2,06E-04	4,78E-04
Sólidos suspensos (kg)	1,06E-04	2,46E-04

Fonte: Adaptado de Queiroz (2011)

O petróleo importado é transportado para o Brasil por petroleiros da PETROBRAS, mediante o transporte em navios com capacidade média de 88.750 t, considerando o retorno do mesmo vazio à origem. Para a obtenção do inventário do transporte marítimo do petróleo importado foi utilizada a base de dados do Ecoinvent v 3.2. Esta se refere ao transporte em navios de médio porte, e considera como entrada desta unidade de processo, o óleo combustível pesado e óleo diesel. O inventário associado ao transporte marítimo de 1 tonelada por quilometro (1tkm) de petróleo. A Tabela 14 apresenta o inventario geral do transporte marítimo.

Tabela 14 - Inventário associado ao transporte marítimo de 1tkm de petróleo, sendo o óleo combustível e o óleo diesel, as fontes de entrada. O dióxido de sulfuro, dióxido de carbono, monóxido de carbono e oxido de nitrogênio as saídas atmosféricas do processo.

Transp. de 1tkm petróleo	
Entradas	
Óleo combustível (kg)	7,35E-03
Óleo diesel (kg)	6,30E-04
Saídas	
Emissões atmosféricas	
Sulfuro dióxido (kg)	3,70E-04
Carbono dióxido (kg)	2,32E-02
Carbono monóxido (kg)	7,00E-05
Nitrogênio óxido (kg)	4,40E-04
CxHy (kg)	4,00E-05

Dos valores da entrada de óleo combustível e óleo diesel (Tabela 14), elaborou-se o inventario marítimo consolidado. Assim, é apresentado na Tabela 15, o inventário da produção de 1 kg de óleo diesel (coluna a) e a produção de 1 kg de óleo de combustível (coluna b) os quais foram proporcionados por Ecoinvent v 3.2. Portanto o inventario da produção de 6,30E-04 kg de óleo diesel e 7,35E-03 kg de óleo combustível, são apresentados na coluna (c) e coluna (d), respectivamente.

Finalmente o inventário marítimo consolidado para o transporte de 1tkm de petróleo importado, e apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 - Inventário do transporte marítimo associado a 1 tkm de petróleo importado

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
	Prod. 1 kg de diesel	Prod. de 1 kg de óleo comb.	Prod. de 6,3E-04 kg de diesel	Prod. de 7,35E-03 kg de óleo de comb.	Transp. (c)+(d) 1 tkm de petróleo importado
Entradas					
Petróleo (kg)	1,03E+00	1,01E+02	6,49E-04	7,42E-03	8,07E-03
Gás natural (kg)	6,19E-02		3,90E-05		3,90E-05
Carvão (kg)	5,10E-03		3,21E-06		3,21E-06
Água (kg)	2,10E-01		1,32E-04		1,32E-04
Energia (não esp.) (MJ)		3,78E-01		2,78E-03	2,78E-03
Saídas					
Emissões atmosféricas					
Sulfuro dióxido (kg)	1,80E-03		1,13E-06		1,13E-06
Carbono dióxido (kg)	2,84E-01		1,79E-04		1,79E-04
Carbono monóxido (kg)	8,00E-05		5,04E-08		5,04E-08
Nitrogênio óxido (kg)	2,90E-03		1,83E-06		1,83E-06
CxHy (kg)	2,90E-03		1,83E-06		1,83E-06
Efluentes líquidos					
Óleos não especificados (kg)		5,90E-06		4,34E-08	4,34E-08

Estima-se que, do petróleo importado pelo Brasil, a maior quantidade é oriunda da África e em menor proporção do Oriente Médio. Assume-se que a distância média percorrida pelo navio seja de 13000 km. Tendo como referência a importação de 13,91 % de petróleo no Brasil, e que para produzir 1 kg de óleo diesel são necessários 2,32 kg de petróleo, é possível afirmar que são necessários 0,322 kg de petróleo importado (13,91% de 2,32 kg de petróleo importado necessário para a produção nacional de 1 kg de óleo diesel).

Portanto, elaborou-se o inventário do transporte marítimo importado (Tabela 16) a partir do inventário consolidado para o transporte de petróleo importado para 1 tkm (Tabela 15, coluna e).

Tabela 16 - Inventário consolidado do transporte marítimo de petróleo importado

	Transp. marítimo 1tkm de petróleo importado	Transp. de 1 kg de petróleo por 13000 km	Transp. de 0,322 kg de petróleo impor.
Entradas			
Petróleo (kg)	8,07E-03	1,05E-01	3,38E-02
Gás natural (kg)	3,90E-05	5,07E-04	1,63E-04
Carvão (kg)	3,21E-06	4,17E-05	1,34E-05
Água (kg)	1,32E-04	1,72E-03	5,53E-04
Energia (não esp.) (MJ)	2,78E-03	3,61E-02	1,16E-02
Saídas			
Emissões atmosféricas			
Sulfuro dióxido (kg)	3,70E-04	4,81E-03	1,55E-03
Carbono dióxido (kg)	2,32E-02	3,02E-01	9,71E-02
Carbono monóxido (kg)	7,00E-05	9,10E-04	2,93E-04
Nitrogênio óxido (kg)	4,40E-04	5,72E-03	1,84E-03
CxHy (kg)	4,00E-05	5,20E-04	1,67E-04
Efluentes líquidos			
Óleos não esp. (kg)	4,34E-08	5,64E-07	1,82E-07

Fonte: Autor

O inventário dos aspectos ambientais associados ao refino de 1 kg de petróleo no Brasil, foram obtidos a partir dos valores apresentados por Hansen (2013) e são exibidos na Tabela 17. Além disso, na mesma Tabela, são mostrados os aspectos ambientais associados ao refino de 2,32 kg de petróleo, quantidade necessária de petróleo nacional e importado, para produzir 1 kg de óleo diesel.

Assim, para refinar 2,32 kg de petróleo nacional, é necessário usar 0,262 MJ de energia elétrica, as emissões atmosféricas são apresentadas na Tabela 17.

Tabela 17 - Inventário associado ao refino de 1 kg de petróleo nacional e importado e a conversão para 2,32 kg de petróleo nacional e importado

Entradas	Inventario do refino de 1 kg de petróleo	Inventario do refino de 2,32 kg de petróleo
Coprodutos de refino (nafta+), at refinery/Br (kg)	5,03E-02	1,17E-01
Diesel (l)	2,44E-01	5,66E-01
Gás liquefeito de petróleo (l)	4,82E-02	1,12E-01
Gasolina mix, at refinery/Br (l)	5,22E-01	1,21E+00
Óleo combustível resíduos (l)	5,00E-02	1,16E-01
Kerosene mix, at refinery/Br (kg)	1,09E-01	2,52E-01
Energia elétrica (MJ)	4,81E-01	1,12E+00
Saídas		
Emissões atmosféricas		
CO (kg)	1,29E-02	2,98E-02
CH4 (kg)	6,87E-05	1,59E-04
NOx (kg)	3,19E-04	7,40E-04
COVNM (kg)	1,96E-03	4,55E-03
Partículas (kg)	2,32E-04	5,38E-04
Oxido sulfúrico	2,23E-03	5,17E-03
Emissões líquidas		
Amônio (kg)	1,45E-05	3,36E-05
DQO (kg)	2,22E-04	5,15E-04
Fenóis (kg)	2,22E-07	5,15E-07
Sólidos suspensos (kg)	2,71E-05	6,29E-05

Fonte: Adaptado do Hansen (2013).

Conforme os valores da Tabela 17, foram necessários 1,12 MJ de energia elétrica para o refino de 2,32 kg de petróleo. Portanto, foi necessário a elaboração do inventário dos aspectos ambientais associados à produção de energia elétrica no Brasil. COLTRO et al., (2003) elaboraram o inventário dos aspectos associados à produção de 1 MJ de energia elétrica no Brasil, e a partir desse, foi realizado o inventário do refino de 2,32 kg de petróleo associados a geração de 0,262 MJ de energia elétrica (Tabela 18).

Tabela 18 - Inventário associado na produção de 1MJ de energia elétrica no Brasil e a conversão para 1,12 MJ

	Geração de 1 MJ de energia elétrica	Geração de 1,12 MJ de energia elétrica
Entradas		
Gás natural (kg)	7,60E-04	8,51E-04
Petróleo (kg)	1,21E-03	1,36E-03
Carvão (kg)	1,28E-02	1,43E-02
Energia (MJ)	4,78E-01	5,35E-01
Água (kg)	1,16E-01	1,30E-01
Urânio (kg)	1,80E-07	2,02E-07
Reservas bióticas (kg)	4,87E-03	5,45E-03
Saídas		
Emissões atmosféricas		
CH ₄ (kg)	5,48E-05	6,14E-05
CO (kg)	1,49E-04	1,67E-04
CO ₂ (kg)	1,78E-02	1,99E-02
Vapor de água (kg)	2,30E-04	2,58E-04
NH ₃ (kg)	6,00E-01	6,72E-01
NO _x (kg)	5,75E-04	6,44E-04

	Geração de 1 MJ de energia elétrica	Geração de 1,12 MJ de energia elétrica
N ₂ O (kg)	1,10E-05	1,23E-05
Material particulado (kg)	6,72E-05	7,53E-05
COVNM (kg)	7,28E-06	8,15E-06
SO _x (kg)	1,16E-04	1,30E-04
Efluentes líquidos		
DBO (kg)	7,00E-10	7,84E-10
DQO (kg)	1,30E-07	1,46E-07

Fonte: Coltro *et al.*, (2003)

Após a finalização dos inventários de extração do petróleo nacional e importado, transporte do petróleo importado, e a energia elétrica necessária para o refino, foi elaborado o inventário consolidado para o refino de 2,32 kg de petróleo necessários para produzir 1 kg de óleo diesel e que é apresentado na Tabela 19.

Tabela 19 - Inventário consolidado do refino de 2,32 kg de petróleo

	Produção de 2,32kg de petróleo	Transp. de 0,322 kg de petróleo imp.	Refino de 2,32 kg de petróleo nacional e importado	Geração de 1,12 MJ de energia elétrica	Inventário Consol. do refino
Entradas					
Petróleo (kg)	2,53E+00	3,38E-02		1,36E-03	2,57E+00
Carvão (kg)	1,08E-04	1,34E-05		1,43E-02	1,44E-02
Gás natural (kg)	9,84E-02	1,63E-04		8,51E-04	9,94E-02
Energia (MJ)	7,52E-04	1,16E-02		5,35E-01	5,47E-01
Urânio natural (kg)	2,64E-08			2,02E-07	2,28E-07
Água (kg)	5,22E-01	5,53E-04		1,30E-01	6,53E-01
Reservas bióticas (kg)				5,45E-03	5,45E-03
Saídas					
Emissões atmosféricas					
CO ₂ (kg)	3,78E-01	9,71E-02	1,93E-02	1,99E-02	5,14E-01
CO (kg)	7,49E-04	2,93E-04	6,11E-05	1,67E-04	1,27E-03
Vapor de água (kg)	5,34E-04			2,58E-04	7,92E-04
CH ₄ (kg)	5,99E-03		8,82E-05	6,14E-05	6,14E-03
Material particulado (kg)	2,81E-04		2,37E-05	7,53E-05	3,80E-04
COVNM (kg)			2,22E-03	8,15E-06	2,23E-03
NO _x (kg)		1,84E-03	1,35E-05	6,44E-04	2,50E-03
N ₂ O (kg)				1,23E-05	1,23E-05
SO _x (kg)		1,55E-03	1,13E-05	1,30E-04	1,69E-03
Efluentes líquidos					
DBO (kg)	7,75E-05			7,84E-10	7,75E-05
DQO (kg)	4,78E-04			1,46E-07	4,78E-04
Sólidos suspensos (kg)	2,46E-04				2,46E-04
Óleos não esp. (kg)		1,82E-07	1,65E-05		1,67E-05

É importante ressaltar que, ao refinar o petróleo, são produzidos diferentes produtos ou coprodutos, por exemplo, o asfalto, coque, gasolina, diesel, etc., e cada um contribui com uma porcentagem dos aspectos ambientais, razão pela qual, os aspectos do refino

devem ser devidamente alocados. A Tabela 20 apresenta-se a produção dos derivados¹³ de petróleo para o ano 2015 (ANP, 2016) e o fator de alocação de cada um dos produtos. O critério adotado para a determinação do fator de alocação, tomou como base a produção de derivados de petróleo e o poder calorífico de cada um dos produtos associados ao valor energético. Segundo os valores obtidos, foi considerado que 42,98% dos aspectos ambientais provenientes do refino do petróleo são atribuídos à produção de óleo diesel.

Tabela 20 - Produção de derivados de petróleo e fatores de alocação

Derivados do refino	Produção de derivados (m ³)	Massa específica (kg.m ⁻³) 2012	Produção de derivados (kg)	Poder calor Inferior (Kcal.kg ⁻¹)	Valor Energético	Fator de alocação (%)
Asfalto	1,81E+06	1025	1,86E+09	9790	1,82E+13	1,87%
Coque	4,96E+06	1040	5,16E+09	8390	4,33E+13	4,43%
Gasolina	2,53E+07	742	1,88E+10	10400	1,95E+14	20,04%
Gasolina de aviação	7,25E+04	726	5,26E+07	10600	5,58E+11	0,06%
GLP	7,42E+06	552	4,10E+09	11100	4,55E+13	4,66%
Lubrificante	5,68E+05	875	4,97E+08	10120	5,03E+12	0,52%
Nafta	4,61E+06	702	3,24E+09	10630	3,44E+13	3,52%
Óleo combustível	1,42E+07	1000	1,42E+10	9590	1,36E+14	13,94%
Óleo diesel	4,94E+07	840	4,15E+10	10100	4,19E+14	42,98%
Parafina	1,37E+05	864	1,18E+08	10800	1,28E+12	0,13%
Querosene de aviação	5,66E+06	799	4,52E+09	10400	4,70E+13	4,82%
Solvente	3,54E+05	741	2,62E+08	10550	2,77E+12	0,28%
Outros	3,05E+06	864	2,63E+09	10180	2,68E+13	2,75%

Fonte: Elaborado pelo autor a partir da produção de derivados (ANP, 2016); (BEN, 2015).

Finalmente, o inventário consolidado para a produção de 1 kg de óleo diesel, foi elaborado a partir da multiplicação do inventário consolidado do refino, pelo fator de alocação para o diesel (42,98%). Na Tabela 21 apresenta como matéria prima ao petróleo, carvão, gás natural, energia elétrica, urânio natural e água. E como saídas do processo da produção tem CO₂, CO, vapor de água, CH₄, material particulado, COVNM, NO_x, N₂O, SO_x, como emissões atmosféricas e ao DBO, DQO e sólidos suspensos como efluentes líquidas.

Tabela 21 - Inventário consolidado para a produção de 1 kg de óleo diesel

	Invent. Consol. do Refino	Produção de 1 kg de óleo diesel (42,98%)
Entradas		
Petróleo (kg)	2,57E+00	1,10E+00
Carvão (kg)	1,44E-02	6,20E-03
Gás natural (Kg)	9,94E-02	4,27E-02
Energia (MJ)	5,47E-01	2,35E-01
Urânio natural (kg)	2,28E-07	9,82E-08

¹³ Anexo H

	Invent. Consol. do Refino	Produção de 1 kg de óleo diesel (42,98%)
Água (kg)	6,53E-01	2,80E-01
Reservas bióticas (kg)	5,45E-03	2,34E-03
Saídas		
Emissões atmosféricas		
CO ₂ (kg)	5,14E-01	2,21E-01
CO (kg)	1,27E-03	5,46E-04
Vapor de água (kg)	7,92E-04	3,40E-04
CH ₄ (kg)	6,14E-03	2,64E-03
Material particulado (kg)	3,80E-04	1,63E-04
COVNM (kg)	2,23E-03	9,58E-04
NO _x (kg)	2,50E-03	1,07E-03
N ₂ O (kg)	1,23E-05	5,29E-06
SO _x (kg)	1,69E-03	7,27E-04
Efluentes líquidos		
DBO (kg)	7,75E-05	3,33E-05
DQO (kg)	4,78E-04	2,06E-04
Sólidos suspensos (kg)	2,46E-04	1,06E-04
Óleos não especificados (kg)	1,67E-05	7,17E-06

5.2.1.2. Inventário do Subsistema Agrícola

A empresa Marborges S.A, tem aproximadamente 2644,72 ha de áreas de plantio próprios do híbrido interespecífico (*Elaeis guineensis* x *Elaeis oleifera*). Para a elaboração dos inventários, foi necessário o emprego de informação agrícola da empresa, entre os anos 2012 e 2015. O inventário das entradas da etapa agrícola foi elaborado a partir de 1 t de óleo de palma, baseando-se nas 5 t de CFF que entram no sistema de produção (segundo o relatório da Marborges S. A). Os dados primários dos insumos usados na Marborges S.A, foram obtidos a partir de visitas e reuniões técnicas realizadas na empresa.

As primeiras entradas para a etapa agrícola, iniciam-se com quantidades de adubo e nutrientes. Uma porcentagem da adubação é feita mediante adubação orgânica (cachos vazios, as fibras e as cascas) resultantes da etapa industrial de produção de óleo de palma. As quantidades de adubação orgânica podem sofrer variações, pois são determinadas, primeiramente, a partir da análise da quantidade de fertilizantes presentes nos resíduos da extração (cachos¹⁴, cascas e fibras¹⁵) e mediante a análise das folhas e do solo. A partir disso sabe-se quanto deve ser adicionado de fertilizante inorgânico. Adicionalmente ingressam à etapa agrícola os defensivos químicos, conhecidos por pesticidas. É na fase

¹⁴ ANEXO C.-Apresentam-se os resultados das análises da matéria orgânica dos cachos vazios da Marborges S.A.

¹⁵ ANEXO D. -Apresentam-se os resultados das análises da matéria orgânica da fibra bruta da Marborges S.A.

de viveiro onde tem começa o uso dos defensivos, sendo o decis (inseticida), o cercobin e o dhitane (fungicida) os primeiros defensivos aplicados. Na fase seguinte de aplicação, que correspondente à manutenção das plantas é utilizado o glifosato, como herbicida. O inventario das emissões ao solo, pelos defensivos agrícolas são apresentadas na Tabela 22.

Tabela 22 – Emissões ao solo derivados da aplicação dos defensivos agrícolas na etapa agrícola

Entradas		Emissões ao solo	
Decis (kg)	7,15E-05	Deltametrina (kg)	6,55E-10
Cercobin (kg)	7,99E-04	Phenmedipham (kg)	5,21E-06
Dhitane (kg)	2,01E-03	Mancozeb (kg)	1,06E-04
Glifosato (kg)	3,37E-01	Glifosato (kg)	3,67E-02

As plantações do dendê não necessitam do sistema de irrigação, pois as chuvas da região suprem a necessidade de água do HIE. Entretanto, é necessário considerar a entrada de água durante a fase de viveiro, pois a irrigação é controlada (em volumem de 8 mm por planta).

As quantidades de fertilizantes estão na proporção de: 39,97 kg de Nitrogênio (N), 33,92 kg de Fósforo (P) e 61,14 kg de Potássio (K), a entrada de água para a produção de 1 t de óleo são apresentadas na Tabela 23.

Tabela 23 - Inventário da aplicação de fertilizantes e água na etapa agrícola, sendo o N, P, K, as entradas de matéria prima e o CO₂, CO, CH₄, N₂O, NMVOC, SO₂ as emissões atmosféricas.

Entradas	
N (kg)	4,00E+01
P (kg)	3,39E+01
K (kg)	6,11E+01
Água (m ³)	2,25E-02
Saídas	
Saídas atmosféricas	
CO ₂ (kg)	3,96E+01
CO (kg)	4,22E-02
CH ₄ (kg)	1,47E-01
N ₂ O (kg)	1,55E-01
NMVOC (kg)	9,18E-03
Partículas (kg)	4,00E-02
SO ₂ (kg)	1,41E-01

5.2.1.2.1. Inventário dos Fertilizantes

A indústria de fertilizantes destina-se basicamente à produção de complementos aos nutrientes minerais encontrados no solo, indispensáveis ao crescimento e desenvolvimento das plantas. Os fertilizantes são classificados quanto à natureza da sua composição, a quantidade de nutrientes que os compõem e quanto ao tipo de macro

nutrientes primários que os caracterizam (ANDA, 2015). Para o cultivo do HIE, são utilizados, principalmente os macros nutrientes primários (N, P, K) e foi necessário elaborar os inventários da produção dos mesmos. Na Tabela 24, é apresentado o inventário da produção de 1 t de N, 1 t de P, e 1 t de K, segundo Kulay (2004); Silva, Ribeiro e Kulay, (2006).

Tabela 24 - Inventário das entradas para a produção de 1 t de nutrientes N, P, K são a eletricidade, gás natural, óleo diesel, petróleo, água. As saídas atmosféricas da produção são o material particulado, o CO, CO₂, CH₄ entre outros, além disso as emissões líquidas (DBQ, DQO).

	1 t de N	1 t de P	1 t de K
Entradas			
Eletricidade (GJ)	3,64E+01	1,08E+00	
Gás natural (GJ)	9,63E+00	1,53E+00	3,76E+00
Vapor (GJ)	1,03E+01		
Óleo diesel (GJ)			5,43E+00
Recursos materiais			
Petróleo (kg)	4,12E+02	2,90E+01	
Gás natural (kg)	9,96E+02		
Ar (kg)	2,01E+01	8,83E+03	
Água (kg)	7,54E+01	3,65E+05	1,65E+03
Saídas			
Emissões atmosféricas			
Material particulado (kg)	2,62E+00	1,27E+02	2,06E+00
CO (kg)	1,64E-01	2,78E-01	1,95E+00
CO ₂ (kg)	2,25E+03	1,18E+03	9,14E+02
SO _x (kg)	6,01E-01	6,46E+00	3,49E+00
NO _x (kg)	1,56E+00	2,42E-01	4,57E+00
CH ₄ (kg)	9,24E-01	4,51E-01	1,45E+00
N ₂ O (kg)		2,28E-03	
Efluentes líquidos			
Alumínio (kg)		3,48E-03	
Fosfato (kg)		4,22E+00	
DBO (kg)		5,93E-03	2,00E-02
DQO (kg)		5,90E-01	1,00E-02

Fonte: Silva, Ribeiro e Kulay (2006); Kulay (2004).

Segundo os dados tabulados de adubação (entre os anos 2012 até 2015) fornecidos pela Marborges Agroindústria S.A, sabendo que o ciclo produtivo da cultura do HIE (25 anos), sejam produzidos aproximadamente 450.000 kg de CFF em 1 ha. Essa produtividade seria obtida com a utilização de 26987,02 kg de fertilizantes. Dessa forma, são necessários 304,41 kg de NPK para a produzir de 1 t de óleo de palma, os quais seriam distribuídos, em média, nas seguintes quantidades: 39,97 kg de N, 33,92 kg de P e 61,14 kg de K. O inventário parcial dos fertilizantes tendo como referência os valores mencionados anteriormente são apresentados na Tabela 25.

Tabela 25 - Inventário parcial da produção de fertilizantes para a produção de 1 t de óleo de palma com a formulação 39,97 N; 33,92 P e 61,14 K.

	39,97 kg de N	33,92 kg de P	61,14 kg de K	Inventário parcial da produção de fertilizantes
Entradas				
Eletricidade (GJ)	1,45E+00	3,66E-02		1,48E+00
Gás natural (GJ)	3,82E-01	5,19E-02	2,30E-01	6,64E-01
Vapor (GJ)	4,09E-01			4,09E-01
Óleo diesel (GJ)			3,32E-01	3,32E-01
Recursos materiais				
Petróleo (kg)	1,64E+01	9,84E-01		1,73E+01
Gás natural (kg)	3,95E+01	0,00E+00		3,95E+01
Ar (kg)	7,98E-01	3,00E+02		3,00E+02
Água (kg)	2,99E+00	1,24E+04	1,01E+02	1,25E+04
Saídas				
Emissões atmosféricas				
Material particulado (kg)	1,04E-01	4,31E+00	1,26E-01	4,54E+00
CO (kg)	6,51E-03	9,43E-03	1,19E-01	1,35E-01
CO ₂ (kg)	8,93E+01	4,00E+01	5,59E+01	1,85E+02
SO _x (kg)	2,39E-02	2,19E-01	2,13E-01	4,56E-01
NO _x (kg)	6,19E-02	8,21E-03	2,79E-01	3,50E-01
CH ₄ (kg)	3,67E-02	1,53E-02	8,87E-02	1,41E-01
N ₂ O (kg)		7,73E-05		7,73E-05
Efluentes líquidos				
Alumínio (kg)		1,18E-04		1,18E-04
Fosfato (kg)		1,43E-01		1,43E-01
DBO (kg)		2,01E-04	1,22E-03	1,42E-03
DQO (kg)		2,00E-02	6,11E-04	2,06E-02

Conforme a Tabela 25, foram utilizados 0,332 GJ, ou 7,85 kg de diesel (poder calorífico do diesel, 10.100Kcal.kg⁻¹) e 1480 MJ energia de elétrica. Portanto, para continuar com a elaboração do inventário consolidado de fertilizantes foi necessário obter os aspectos ambientais associados à queima dos 7,85 kg de diesel. Os valores ambientais associados à combustão (queima) de 1 kg de óleo diesel são apresentados por Sheehan *et al.*, (1998) na Tabela 26.

Tabela 26 –Valores das emissões atmosféricas da queima de 1 kg de óleo diesel

Emissões Atmosféricas	1kg de óleo diesel queimado
CO ₂ (kg)	3,19E+00
CO (kg)	1,35E-02
C _x H _y (kg)	3,59E-03
NO _x (kg)	3,76E-02
Material particulado (kg)	1,73E-03
SO ₂ (kg)	5,07E-03
CH ₄ (kg)	1,78E-04
N ₂ O (kg)	8,03E-05

Fonte: Sheehan *et al.*, (1998)

Portanto, o inventário consolidado da produção de fertilizantes para produzir 1 t de óleo de palma, foi elaborado mediante a produção de 7,85 kg de óleo diesel (a partir do inventário da produção de 1 kg de óleo diesel), queima de 7,85 kg de óleo diesel (a partir do inventário da queima de 1 kg de óleo diesel), produção de 1,48 GJ de energia elétrica (a partir da produção de 1MJ de energia elétrica), e o inventário parcial dos fertilizantes (Tabela 27).

Tabela 27 - Inventário consolidado da produção dos fertilizantes usados para a produção de 1 t de óleo de palma

	Produção de 7,85 kg de óleo diesel	Queima de 7,85 kg de óleo diesel	Geração de 1,48GJ de energia elétrica	Inventário parcial dos fertilizantes	Inventário produção dos fertilizantes
Entradas					
Petróleo (kg)	8,65E+00		1,79E+00	1,73E+01	2,77E+01
Carvão (kg)	4,87E-02		1,89E+01		1,89E+01
Gás natural (kg)	3,35E-01		1,12E+00	6,64E-01	2,12E+00
Energia (MJ)	1,85E+00		7,07E+02	1,48E+03	2,19E+03
Urânio natural (kg)	7,71E-07		2,66E-04		2,67E-04
Água (kg)	2,20E+00		1,72E+02	1,25E+04	1,27E+04
Reservas bióticas (kg)	1,84E-02		7,21E+00		7,23E+00
Materiais secundários (kg)			1,33E+00		1,33E+00
Combustível fóssil (GJ)				3,68E-01	3,68E-01
Ar (kg)				3,00E+02	3,00E+02
Vapor (GJ)				4,09E-01	4,09E-01
Saídas					
Emissões atmosféricas					
CO ₂ (kg)	1,74E+00	2,50E+01	2,63E+01	1,85E+02	2,38E+02
CO (kg)	4,29E-03	1,06E-01	2,21E-01	1,35E-01	4,66E-01
Vapor de água (kg)	2,67E-03		3,40E-01		3,43E-01
CH ₄ (kg)	2,07E-02	1,40E-03	8,11E-02	1,41E-01	2,44E-01
Material particulado (kg)	1,28E-03	1,36E-02	9,95E-02	4,54E+00	4,65E+00
COVNM (kg)	7,52E-03		1,08E-02		1,83E-02
NO _x (kg)	8,43E-03	2,95E-01	8,51E-01	3,49E-01	1,50E+00
N ₂ O (kg)	4,15E-05	6,30E-04	2,88E-06		6,74E-04
SO _x (kg)	5,71E-03	3,98E-02	1,72E-01	4,56E-01	6,74E-01
C _x H _y (kg)		2,82E-02			2,82E-02
NH ₃ (kg)			8,88E+02		8,88E+02
Efluentes líquidos					
DBO (kg)	2,61E-04		1,04E-06	1,42E-03	1,68E-03
DQO (kg)	1,61E-03		1,92E-04	2,06E-02	2,24E-02
Sólidos suspensos (kg)	8,30E-04				8,30E-04
Óleo não específico (kg)	5,63E-05				5,63E-05
Alumínio (kg)				1,18E-04	1,18E-04
Fosfato (kg)				1,43E-01	1,43E-01

5.2.1.2.2. Inventário do Transporte

5.2.1.2.2.1. Inventário do Transporte Rodoviário dos Fertilizantes

Para o cálculo da distância percorrida entre os produtores e o misturador de NPK (município de Barcarena) foi necessário conhecer os lugares de produção dos fertilizantes

para o cálculo da distância. Admitiu-se que o N seja produzido em Camaçari - BA; que o P, seja produzido em Uberaba - MG e que o K seja produzido em Rosário do Catete - SE (MARZULLO, 2007), e também que estes nutrientes são destinados ao misturador NPK localizado em Barcarena -PA (PINA, 2016)¹⁶. Para o cálculo das distâncias percorridas foi usado o banco de dados das distâncias entre cidades do Brasil¹⁷, sendo as seguintes distâncias entre os fornecedores e o misturador (PA): Camaçari - BA (1999 km), Uberaba - MG (2413 km) e Rosário do Catete - SE (1740 km).

Para a elaboração do inventário de aspectos ambientais associados ao transporte dos nutrientes e da formulação, considerou-se os aspectos contidos na base de dados do Ecoinvent. A base de dados disponibilizou os aspectos associado às emissões provenientes da queima do diesel em função do peso transportado e da distância percorrida, ou seja, para o transporte de 1 tkm. Sendo o EURO5 o tipo de veículo considerado com capacidade de 16-32 t. O inventário do transporte terrestre de nutrientes desde os fornecedores até o misturador localizado no município do Barcarena (PA) é apresentado na Tabela 28.

Tabela 28 - Inventário do transporte de nutrientes desde os fornecedores até o misturador no Estado do Para (município de Barcarena)

	Transporte de 1tkm de fertilizantes	Transporte de 39,97 kg de N por 1999 km	Transporte de 33,92 kg de P por 2413km	Transporte de 61,14 kg de K por 1740 km	Transporte terrestre de nutrientes
Entradas					
Diesel (kg)	4,13E-02	3,30E+00	3,38E+00	4,39E+00	1,11E+01
Saídas					
Emissões atmosféricas					
SO (kg)	1,14E-04	9,11E-03	9,33E-03	1,21E-02	3,06E-02
NO _x (kg)	1,10E-04	8,79E-03	9,00E-03	1,17E-02	2,95E-02
CO ₂ (kg)	2,08E-02	1,66E+00	1,70E+00	2,21E+00	5,58E+00
CO (kg)	3,58E-05	2,86E-03	2,93E-03	3,81E-03	9,60E-03
N ₂ O (kg)	1,89E-05	1,47E-03	1,55E-03	2,01E-03	5,03E-03
CH ₄ (kg)	5,59E-06	4,36E-04	4,58E-04	5,95E-04	1,49E-03
NMVOOC (kg)	3,44E-04	2,68E-02	2,82E-02	3,66E-02	9,16E-02
Particulado <10 um (kg)	2,01E-06	1,57E-04	1,65E-04	2,14E-04	5,35E-04

A partir dos valores apresentados na Tabela 28, pode-se concluir que, para o transporte terrestre de nutrientes, foram consumidos 11,1 kg de diesel. A partir deste valor, elaborou-se o inventário do transporte consolidado de nutrientes para a produção de 1 t de óleo de palma (Tabela 29).

¹⁶ PINA, J. A. Comunicação pessoal. Chefe da Área Agrícola, Marborges Agroindústria S.A. 2016.

¹⁷ Disponível em <http://br.distanciacidades.com/>

Tabela 29 - Inventário para o transporte consolidado de nutrientes para a produção de 1 t de óleo de palma

	Produção de 11,1 kg de óleo diesel	Transporte terrestre de nutrientes	Transporte consolidado de nutrientes
Entradas			
Petróleo (kg)	1,22E+01		1,22E+01
Carvão (kg)	6,88E-02		6,88E-02
Gás natural (Kg)	4,74E-01		4,74E-01
Energia (MJ)	2,61E+00		2,61E+00
Urânio natural (kg)	1,09E-06		1,09E-06
Água (kg)	3,11E+00		3,11E+00
Reservas bióticas (kg)	2,60E-02		2,60E-02
Matérias secundários (kg)	1,84E-02		1,84E-02
Saídas			
Emissões atmosféricas			
CO ₂ (kg)	2,45E+00	5,58E+00	8,03E+00
CO (kg)	6,06E-03	9,60E-03	1,57E-02
Vapor de água (kg)	3,78E-03		3,78E-03
CH ₄ (kg)	2,93E-02	1,49E-03	3,08E-02
Material particulado (kg)	1,81E-03	5,35E-04	2,35E-03
COVNM (kg)	1,06E-02	9,16E-02	1,02E-01
NO _x (kg)	1,19E-02	2,95E-02	4,14E-02
N ₂ O (kg)	5,87E-05	5,03E-03	5,09E-03
SO _x (kg)	8,07E-03	3,06E-02	3,87E-02
Efluentes líquidos			
DBO (kg)	3,70E-04		3,70E-04
DQO (kg)	2,28E-03		2,28E-03
Sólidos suspensos (kg)	1,17E-03		1,17E-03
Óleos não especificados (kg)	7,96E-05		7,96E-05

A Tabela 30 apresenta, o inventario do transporte de fertilizantes para a produção de 1t de óleo de palma, para o trajeto de Barcarena até a empresa Marborges Agroindústria S.A. localizado no Município de Moju. Para o cálculo da distância percorrida entre Barcarena e a Marborges S.A, foi usado o banco de dados das distâncias entre cidades do Brasil¹⁸. Os valores de entrada e saídas referentes ao transporte de 1 tkm de fertilizantes, foram fornecidos pelo Ecoinvent v 3.2. Os valores do transporte de fertilizantes, foram baseados a partir das quantidades de fertilizantes utilizados para a produção de 1 t de óleo de palma.

Tabela 30 - Inventário do transporte terrestre de fertilizantes para a produção de 1t de óleo de palma, na distância de 122 km entre Barcarena e Moju

	Transporte de 1tkm de fertilizantes	Transporte de 39,97 kg de N por 122 km	Transporte de 33,92kg de P por 122 km	Transporte de 61,14 kg de K por 122 km	Transporte terrestre de Fertilizantes
Entradas					
Diesel (kg)	4,13E-02	2,00E-01	1,71E-01	3,08E-01	6,79E-01
Saídas					

¹⁸ Distância entre Barcarena e Moju, disponível em <http://br.distanciacidades.com/>

	Transporte de 1tkm de fertilizantes	Transporte de 39,97 kg de N por 122 km	Transporte de 33,92kg de P por 122 km	Transporte de 61,14 kg de K por 122 km	Transporte terrestre de Fertilizantes
Emissões atmosféricas					
SO (kg)	1,14E-04	5,52E-04	4,72E-04	8,50E-04	1,87E-03
NO _x (kg)	1,10E-04	5,33E-04	4,55E-04	8,20E-04	1,81E-03
CO ₂ (kg)	2,08E-02	1,01E-01	8,61E-02	1,55E-01	3,42E-01
CO (kg)	3,58E-05	1,73E-04	1,48E-04	2,67E-04	5,89E-04
N ₂ O (kg)	1,89E-05	9,15E-05	7,82E-05	1,41E-04	3,11E-04
CH ₄ (kg)	5,59E-06	2,71E-05	2,31E-05	4,17E-05	9,19E-05
NMVOG (kg)	3,44E-04	1,67E-03	1,42E-03	2,57E-03	5,66E-03
Particulado <10 um (kg)	2,01E-06	9,74E-06	8,32E-06	1,50E-05	3,30E-05

Conforme os valores da Tabela 30, foram consumidos 0,679 kg de diesel para o transporte terrestre de fertilizantes. Para a elaboração do inventário consolidado do transporte, utilizando a formulação média NKP (no trecho, Barcarena - Moju) foi necessário considerar os aspectos associados à produção de 0,679 kg de óleo diesel. Os valores consolidados para o transporte de fertilizantes, no trajeto Barcarena –Moju, são apresentados na Tabela 31.

Tabela 31 - Inventário consolidado do transporte de fertilizantes utilizando a formulação media NPK, no trajeto (Barcarena –Moju)

	Produção de 0,679 kg de óleo diesel	Transporte terrestre de Fertilizantes	Transp. Consol de Fertilizantes
Entrada			
Petróleo (kg)	7,49E-01		7,49E-01
Carvão (kg)	4,21E-03		4,21E-03
Gás natural (Kg)	2,90E-02		2,90E-02
Energia (MJ)	1,60E-01		1,60E-01
Urânio natural (kg)	6,67E-08		6,67E-08
Água (kg)	1,90E-01		1,90E-01
Reservas bióticas (kg)	1,59E-03		1,59E-03
Matérias secundários (kg)	6,86E-05		6,86E-05
Saídas			
Emissões atmosféricas			
CO ₂ (kg)	1,50E-01	3,42E-01	4,92E-01
CO (kg)	3,71E-04	5,89E-04	9,60E-04
Vapor de água (kg)	2,31E-04		2,31E-04
CH ₄ (kg)	1,79E-03	9,19E-05	1,88E-03
Material particulado (kg)	1,11E-04	3,30E-05	1,44E-04
COVNM (kg)	6,50E-04	5,66E-03	6,31E-03
NO _x (kg)	7,29E-04	1,81E-03	2,54E-03
N ₂ O (Kg)	3,59E-06	3,11E-04	3,15E-04
SO _x (kg)	4,94E-04	1,87E-03	2,36E-03
Efluentes líquidos			
DBO (kg)	2,26E-05		2,26E-05
DQO (kg)	1,40E-04		1,40E-04
Sólidos suspensos (kg)	7,18E-05		7,18E-05
Óleos não especificados (kg)	4,87E-06		4,87E-06

A soma dos inventários dos transportes consolidados de nutrientes e de fertilizantes (Tabela 29 e Tabela 31), fornece o inventário consolidado de transporte de fertilizantes para a produção de 1 t de óleo de palma para a empresa Marborges S.A (Tabela 32).

Tabela 32- Inventário total consolidado do transporte de fertilizantes para a produção 1 t de óleo de palma

	Transporte consolidado de nutrientes	Transp. Consol de Fertilizantes	Transp Total Consol de Fertilizantes
Entrada			
Petróleo (kg)	1,22E+01	7,49E-01	1,29E+01
Carvão (kg)	6,88E-02	4,21E-03	7,30E-02
Gas natural (Kg)	4,74E-01	2,90E-02	5,03E-01
Energia (MJ)	2,61E+00	1,60E-01	2,77E+00
Urânio natural (kg)	1,09E-06	6,67E-08	1,16E-06
Água (kg)	3,11E+00	1,90E-01	3,30E+00
Reservas bióticas (kg)	2,60E-02	1,59E-03	2,76E-02
Matérias secundários (kg)	1,84E-02	6,86E-05	1,85E-02
Saídas			
Emissões atmosféricas			
CO ₂ (kg)	8,03E+00	4,92E-01	8,52E+00
CO (kg)	1,57E-02	9,60E-04	1,67E-02
Vapor de água (kg)	3,78E-03	2,31E-04	4,01E-03
CH ₄ (kg)	3,08E-02	1,88E-03	3,27E-02
Material particulado (kg)	2,35E-03	1,44E-04	2,49E-03
COVNM (kg)	1,02E-01	6,31E-03	1,08E-01
NO _x (kg)	4,14E-02	2,54E-03	4,39E-02
N ₂ O (kg)	5,09E-03	3,15E-04	5,41E-03
SO _x (kg)	3,87E-02	2,36E-03	4,11E-02
Efluentes líquidos			
DBO (kg)	3,70E-04	2,26E-05	3,93E-04
DQO (kg)	2,28E-03	1,40E-04	2,42E-03
Sólidos suspensos (kg)	1,17E-03	7,18E-05	1,24E-03
Óleos não especificados (kg)	7,96E-05	4,87E-06	8,45E-05

5.2.1.2.2.2. Inventário das Operações Mecânicas

As operações agrícolas mecânicas ocorrem desde as fases de início, até a fase de manutenção da cultura do HIE. A primeira operação a ser realizada na fase de início é a irrigação das mudas no viveiro através de uma bomba d'água. Paralelamente, a limpeza da área de plantio precisa de equipamentos, tais como tratores, entre outros. Posteriormente, ocorre o preparo do terreno junto com a distribuição de adubo orgânico no solo. Já na fase de manutenção do plantio são realizadas operações, como a aplicação de defensivos químicos (capina química), assim como roçagem mecânica. Na Tabela 33, contempla as operações mecânicas, e o consumo do diesel pelos equipamentos usados.

Tabela 33 - Consumo do diesel em litros, dos equipamentos usados nas operações mecânicas

Operação	Equipamento	Consumo (l)
Irrigação no viveiro	Motor de água	2,82E+00
Limpeza da área	Trator esteira	4,74E+00
Adubação do terreno	Pá carregadeira	4,23E+00

Operação	Equipamento	Consumo (l)
Adubação do terreno	Trator + grade	3,95E+00
Roçagem mecânica	Roçadeira Avaré	6,20E-01
Capina química	Trator MF 4275	1,32E+00

No total, foram consumidos 14,62 kg de óleo diesel (densidade do diesel 0,83 kg.l⁻¹ (DEFRA, 2009). O inventário consolidado dos aspectos ambientais das operações mecânicas para produzir 1 t de óleo de palma, é apresentado na Tabela 34.

Tabela 34 - Inventário consolidado associado as operações mecânicas para a produção de 1 t de óleo de palma

	Produção de 14,62 kg de óleo diesel	Queima de 14,62 kg de diesel	Inventário consolidado das operações mecânicas
Entradas			
Petróleo (kg)	1,61E+01		1,61E+01
Carvão (kg)	9,06E-02		9,06E-02
Gas natural (kg)	6,25E-01		6,25E-01
Energia (MJ)	3,44E+00		3,44E+00
Urânio natural (kg)	1,44E-06		1,44E-06
Água (kg)	4,10E+00		4,10E+00
Reservas bióticas (kg)	3,42E-02		3,42E-02
Matéria secundários (kg)	1,48E-03		1,48E-03
Saídas			
Emissões atmosféricas			
CO ₂ (kg)	3,23E+00	4,66E+01	4,98E+01
CO (kg)	7,98E-03	1,97E-01	2,05E-01
Vapor de água (kg)	4,98E-03		4,98E-03
CH ₄ (kg)	3,86E-02	2,60E-03	4,12E-02
Material particulado (kg)	2,39E-03	2,53E-02	2,77E-02
COVNM (kg)	1,40E-02		1,40E-02
NO _x (kg)	1,57E-02	5,49E-01	5,65E-01
N ₂ O (kg)	7,73E-05	1,17E-03	1,25E-03
SO _x (kg)	1,06E-02	7,40E-02	8,46E-02
C _x H _y (kg)		5,24E-02	5,24E-02
Efluentes líquidos			
DBO (kg)	4,87E-04		4,87E-04
DQO (kg)	3,00E-03		3,00E-03
Sólidos suspensos (kg)	1,55E-03		1,55E-03
Óleos não esp. (kg)	1,05E-04		1,05E-04

5.2.1.2.2.3. Inventário da Colheita dos CFF

A colheita dos CFF é feita de forma manual com auxílio de animais como muare e bubalinos, acoplados a uma carroça. A colheita de CFF tem uma produtividade aproximada de 12.470 kg.ha⁻¹, em média de oito horas, de acordo com o POP (Procedimento Operacional Padrão) do setor agrícola da Marborges S.A. As análises das emissões atmosféricas estão associadas ao CH₄, que foi determinado pela fermentação entérica dos animais.

O cálculo das emissões atmosféricas pela fermentação entérica do gado¹⁹ foi elaborado segundo o MCT (2010). Na Marborges S.A, considera-se que um animal realiza o carregamento dos CFF, em uma área de cerca de 10 ha por volta. O inventário consolidado para a colheita de CFF pela fermentação entérica, para produzir 1 t de óleo de palma é apresentado na Tabela 35. Os fatores de emissão de CH₄ por fermentação entérica se apresentam no Anexo C.

Tabela 35 - Inventário consolidado de emissões pela fermentação entérica dos muares e bubalinos, para a produção de 1 t de óleo de palma

Saídas		
Emissões atmosféricas	Bubalinos	Muares
CH ₄ (kg)	1,54E+00	2,81E-01

5.2.1.2.2.4. Inventário do Transporte Rodoviário dos CFF até a usina extratora

O transporte dos CFF colhidos da área de plantio para a indústria é do tipo rodoviário, e utiliza caminhões com capacidade de 15 t. A distância média entre a área do plantio e a indústria de extração de óleo é de aproximadamente 15 km.

Os dados que foram utilizados referem-se ao transporte rodoviário de 12,47 t de CFF (com base no relatório de transporte da Marborges S.A.). Utilizou-se como entrada do transporte 0,041 kg de diesel, por cada tkm transportada (ou 3,09 kg de diesel em 5t.15km⁻¹), sendo que não foi estimado o consumo de diesel da viagem de volta, e sob a hipótese que o caminhão não volte vazio e sim trazendo os restos dos cachos sem frutos que são aplicados ao solo como adubo orgânico. Mesmo assim sabendo-se que o caminhão voltaria mais leve, foi considerado o mesmo consumo de diesel para a viagem de volta.

Para a elaboração do inventário foram utilizados os mesmos valores de emissão para a queima de 1 kg de diesel apresentados na Tabela 26, e os aspectos associados à produção de 1 kg de diesel. O inventário associado ao transporte dos CFF para a produção de 1 t de óleo de palma, são exibidas na Tabela 36.

Tabela 36 - Inventário associado ao transporte de 5 t de CFF para a produção de 1 t de óleo de palma

	Produção de 3,09 kg de óleo diesel	Queima de 3,09 kg de diesel	Transporte de CFF
Entradas			
Petróleo (kg)	3,41E+00		3,41E+00
Carvão (kg)	1,92E-02		1,92E-02
Gás natural (kg)	1,32E-01		1,32E-01
Energia (MJ)	7,27E-01		7,27E-01
Urânio natural (kg)	3,03E-07		3,03E-07

¹⁹ O consumo de alimento meio de 8,0kg de matéria seca (ms) de alimento/cabeça. Na literatura nacional cita-se consumo de 5,0 a 6,9 kg diários de capim elefante picado, uma forrageira muito empregada em pastagens cultivadas no país (AROEIRA, 1997).

	Produção de 3,09 kg de óleo diesel	Queima de 3,09 kg de diesel	Transporte de CFF
Água (kg)	8,67E-01		8,67E-01
Reservas bióticas (kg)	7,24E-03		7,24E-03
Matérias secundários (kg)	3,13E-04		3,13E-04
Saídas			
Emissões atmosféricas			
CO ₂ (kg)	6,83E-01	9,86E+00	1,05E+01
CO (kg)	1,69E-03	4,17E-02	4,34E-02
Vapor de água (kg)	1,05E-03		1,05E-03
CH ₄ (kg)	8,15E-03	5,50E-04	8,70E-03
Material particulado (kg)	5,05E-04	5,35E-03	5,85E-03
COVNM (kg)	2,96E-03		2,96E-03
NO _x (kg)	3,32E-03	1,16E-01	1,19E-01
N ₂ O (kg)	1,63E-05	2,48E-04	2,64E-04
SO _x (kg)	2,25E-03	1,57E-02	1,79E-02
C _x H _y (kg)		1,11E-02	1,11E-02
Efluentes líquidos			
DBO (kg)	1,03E-04		1,03E-04
DQO (kg)	6,35E-04		6,35E-04
Sólidos suspensos (kg)	3,27E-04		3,27E-04
Óleos não especificados (kg)	2,22E-05		2,22E-05

5.2.1.3. Inventário consolidado da etapa agrícola para produzir 1t de óleo de palma

O inventário consolidado da etapa agrícola para a produção de 1 t de óleo de palma (Tabela 37) foi construído a partir do inventário parcial da aplicação dos fertilizantes, do inventário consolidado da produção de fertilizantes, do inventário de transporte de fertilizantes, do inventário das operações mecânicas, do inventário da colheita pelos animais, e do inventário do transporte dos CFF.

Tabela 37 - Inventário total consolidado da etapa agrícola para a produção de 1 t de óleo de palma

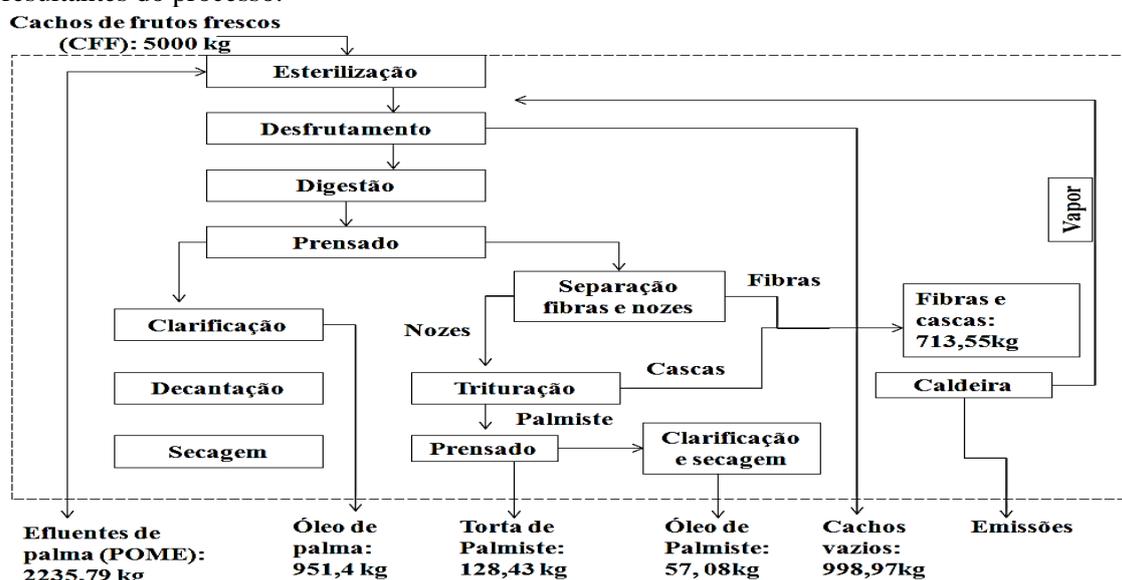
	Inv. cons. Prod. fertilizantes	Inv. Transp cons. fertilizantes	Inv. consol. Operações mecânicas	Transp. colheita	Transp. de CFF	Inventário da aplicação de fértil.	Inventário total da etapa agrícola
Entradas							
Petróleo (kg)	2,77E+01	1,29E+01	1,61E+01		3,41E+00		6,01E+01
Carvão (kg)	1,89E+01	7,30E-02	9,06E-02		1,92E-02		1,91E+01
Gás natural (kg)	2,12E+00	5,03E-01	6,25E-01		1,32E-01		3,38E+00
Energia (MJ)	2,19E+03	2,77E+00	3,44E+00		7,27E-01		2,20E+03
Urânio natural (kg)	2,67E-04	1,16E-06	1,44E-06		3,03E-07		2,70E-04
Água (kg)	1,27E+04	3,30E+00	4,10E+00		8,67E-01	2,25E+01	1,27E+04
Reservas bióticas (kg)	7,23E+00	2,76E-02	3,42E-02		7,24E-03		7,30E+00
Matérias secundários (kg)	1,33E+00	1,85E-02	1,48E-03		3,13E-04		1,35E+00
Combustível fóssil (GJ)	3,68E-01						3,68E-01
Ar (kg)	3,00E+02						3,00E+02
Vapor (GJ)	4,09E-01						4,09E-01
N (kg)						4,00E+01	4,00E+01
P (kg)						3,39E+01	3,39E+01
K (kg)						6,11E+01	6,11E+01
Pesticidas mix (kg)						3,40E-01	3,40E-01
Saídas							
Emissões atmosféricas							
CO ₂ (kg)	2,38E+02	8,52E+00	4,98E+01		1,05E+01	3,96E+01	3,46E+02
CO (kg)	4,66E-01	1,67E-02	2,05E-01		4,34E-02	4,22E-02	7,73E-01
Vapor de água (kg)	3,43E-01	4,01E-03	4,98E-03		1,05E-03		3,53E-01
CH ₄ (kg)	2,44E-01	3,27E-02	4,12E-02	1,82E+00	8,70E-03	1,47E-01	2,29E+00

Entradas	Inv. cons. Prod. fertilizantes	Inv. Transp cons. fertilizantes	Inv. consol. Operações mecânicas	Transp. colheita	Transp. de CFF	Inventário da aplicação de fértil.	Inventário total da etapa agrícola
Material particulado (kg)	4,65E+00	2,49E-03	2,77E-02		5,85E-03	4,00E-02	4,73E+00
COVNM (kg)	1,83E-02	1,08E-01	1,40E-02		2,96E-03	9,18E-03	1,52E-01
NO _x (kg)	1,50E+00	4,39E-02	5,65E-01		1,19E-01		2,23E+00
N ₂ O (kg)	6,74E-04	5,41E-03	1,25E-03		2,64E-04	1,55E-01	1,63E-01
SO _x (kg)	6,74E-01	4,11E-02	8,46E-02		1,79E-02	1,41E-01	9,59E-01
C _x H _y (kg)	2,82E-02		5,24E-02		1,11E-02		9,17E-02
NH ₃ (kg)	8,88E+02						8,88E+02
Efluentes líquidos							
DBO (kg)	1,68E-03	3,93E-04	4,87E-04		1,03E-04		2,66E-03
DQO (kg)	2,24E-02	2,42E-03	3,00E-03		6,35E-04		2,85E-02
Sólidos suspensos (kg)	8,30E-04	1,24E-03	1,55E-03		3,27E-04		3,95E-03
Óleos não específico (kg)	5,63E-05	8,45E-05	1,05E-04		2,22E-05		2,68E-04
Alumínio (kg)	1,18E-04						1,18E-04
Fosfato (kg)	1,43E-01						1,43E-01

5.2.1.4. Inventário na Etapa Industrial da produção de óleo de Palma

Os dados da etapa industrial foram baseados em dados primários fornecidos pelo setor encarregado da Marborges S.A, mas também foram usados dados de fontes secundárias para complementar a informação. O diagrama de fluxos para a etapa industrial é apresentado na Figura 39.

Figura 39 - Entrada dos CFF à etapa industrial, os fluxos internos que ocorrem e os produtos resultantes do processo.



O processo de produção de óleo de palma, palmiste e torta de palmiste estão incluídos no mesmo sistema, ou seja, apresentam as mesmas fronteiras, de maneira que as emissões ambientais do processo são comuns aos 3 processos (Figura 39)

Segundo os relatórios da Marborges Agroindústria S.A, a partir de 5 t de CFF, o 20% é produzido 1 t de óleo de palma. Adicionalmente é produzido 57,08 kg do óleo de palmiste (1,2%), torta de palmiste 128,4 kg (2,7%), cachos vazios 998,97 kg (21%), fibras 664,98 kg (14%), cascas 47,57kg (1%) efluentes líquidos 1902,8 kg (40%) e sólidos 332,99 kg (7%).

O processo de extração do óleo de palma, necessita da eletricidade da rede nacional, assim como também faz uso de geradores de energia elétrica movidos a diesel. O uso de gerador tem como finalidade diminuir os custos com o consumo de eletricidade a partir da rede nacional, durante o espaço da hora-sazonal (espaço compreendido entre as 17 e 22 horas, estabelecido a fim de compensar a demanda da eletricidade com o uso de usinas termelétricas). Segundo os relatórios da Marborges Agroindústria, para a produção de 1 t de óleo de palma, são consumidos 173,48 Kwh. O inventário associado à energia elétrica, utilizada no processo de produção é apresentado na Tabela 38.

Tabela 38 - Inventário consolidado do consumo de energia elétrica para a produção de 1 t de óleo de palma

Inventário consolidado do consumo da energia elétrica	
Entradas	
Gás natural (kg)	4,75E-01
Petróleo (kg)	7,56E-01
Carvão (kg)	7,99E+00
Energia (MJ)	2,99E+02
Água (kg)	7,24E+01
Urânio (kg)	1,12E-04
Reservas bióticas (kg)	3,04E+00
Materiais secundários (kg)	5,62E-01
Saídas	
Emissões atmosféricas	
CH ₄ (kg)	3,42E-02
CO (kg)	9,31E-02
CO ₂ (kg)	1,11E+01
Vapor de água (kg)	1,44E-01
NH ₃ (kg)	3,75E+02
NO _x (kg)	3,59E-01
N ₂ O (kg)	6,87E-03
Material particulado (kg)	4,20E-02
COVNM (kg)	4,55E-03
SO _x (kg)	7,24E-02

O processo para produção de vapor é realizado a partir das fibras e cascas (664,98 kg e 47,57 kg respectivamente) resultantes dos CFF totais que entram à etapa industrial. Do total de fibras e cascas, cerca de 600 kg (75-85%) são utilizados como combustível nas caldeiras para produzir vapor, e aproximadamente 14-19% é utilizada como adubação orgânica no interior das parcelas do plantio.

Yusoff e Hanssen (2005) apresentam as estimativas das emissões atmosféricas da queima de 1 kg de fibras e cascas, exceto as emissões de CO₂. O cálculo de emissões de CO₂ foi estimado pela quantidade de carbono contido nas fibras (45%) e cascas (53%) (TORRES, 1990). Na Tabela 38, apresenta-se a estimativa da queima de 600 kg de fibras e cascas, onde 150 kg são de cascas (80 kg de carbono) e 450 kg de fibras (202 kg de carbono), totalizando 282 kg de carbono. Considerando um rendimento de 60 % na queima (RITTNER, 1996), obteve-se 169,2 kg de carbono queimado, o que corresponde a 621 kg de CO₂ emitido.

Tabela 39 - Inventário das emissões atmosféricas pela queima de fibras e cascas para produção de 1 t de óleo de palma

	Queima de 1 kg de cascas e fibras	Queima de 600 kg de cascas e fibras
Saídas		
Energia (MJ)	8,77E+00	5,26E+03
Emissões atmosféricas		
COVNM (kg)	8,38E-05	5,03E-02
CO (kg)	9,44E-03	5,66E+00
Material Particulado (kg)	2,31E-03	1,39E+00
NOx (kg)	1,07E-03	6,42E-01
SOx (kg)	3,35E-05	2,01E-02
CO ₂ (kg)	1,04E+00	6,21E+02

Fonte: Yusof e Hanssen (2005); Rittner (1996); Autor

Os efluentes gerados na planta extratora de óleo de palma são conhecidos como POME (*Palm Oil Mill Effluent*, em inglês). Como parte do processo os efluentes, são levados a uma piscina de tratamento anaeróbio onde, o sólido ou lodo orgânico é aproveitado como fertilizante orgânico nas plantações de palma. O tratamento anaeróbio dos efluentes implica em emissões para o ambiente (por exemplo, CH₄, CO₂, NH₃, N₂, N₂O e H₂S). São produzidos 2235,79 kg de efluentes, por cada tonelada de óleo de palma produzido (Figura 39).

Para a elaboração do inventário do N₂, N₂O e NH₃, foi necessário considerar as remoções do N depois do tratamento. Por isso, foi considerado o valor usado por Schmidt (2007) de 0,05kg de N por tonelada de efluente. Segundo IPCC (2000), a remoção de 0,1% provoca a emissão de N₂O e aplica-se o mesmo valor para N₂, ou seja, 0,00005 kg de N₂O por tonelada de efluente. O IPCC (2000) também estima que o valor emitido de NH₃ é igual ao valor de N removido durante o tratamento menos o valor das emissões de N₂O e N₂, dando origem à emissão de 0,049 kg de NH₃ por tonelada de efluente.

A partir dos dados de Pardo *et al.*, (2006) foram determinados os valores das emissões de CH₄, CO₂ e H₂S. Segundo o autor, o biogás presente no POME é de 28m³.t⁻¹, e apresenta uma mistura de 60% de CH₄ e o restante de CO₂. Sabendo que densidade do CH₄ é de 0,717 kg.m⁻³, tem-se uma emissão de 12,04 kg de CH₄ por tonelada de efluente. E para o CO₂, corresponde a aproximadamente 40% do biogás, e sendo a densidade do CO₂ de 1,9769 kg.m⁻³, resulta em 22,14 kg de CO₂.por tonelada de efluente. No caso do H₂S, a percentagem de H₂S no biogás é de aproximadamente 2% (SCHMIDT, 2007), sendo a densidade de 1,363 kg.m⁻³, resulta em uma quantidade de 0,763 kg de H₂S por tonelada de efluente.

O inventario consolidado das emissões atmosféricas a partir dos 2235.79 kg de POME gerados, para produzir 1 t de óleo de palma, são apresentadas na Tabela 40.

Tabela 40 - Inventário consolidado das emissões do POME para produzir 1 t de óleo de palma

Saídas líquidas	1 t POME	Inventário para 2,24 t POME
Efluente (kg)	1,00E+03	2,24E+00
Saídas		
Emissões atmosféricas		
N ₂ (kg)	5,00E-02	1,12E-01
N ₂ O (kg)	5,00E-05	1,12E-04
H ₂ S (kg)	7,63E-01	1,71E+00
NH ₃ (kg)	4,90E-02	1,10E-01
CH ₄ (kg)	1,20E+01	2,68E+01
CO ₂ (kg)	2,21E+01	4,95E+01

Fonte: Schmidt (2007); IPCC (2000); Wijbrans e Van Zutphen (2005); Autor

A partir das emissões pela queima de fibras e cascas, com a energia elétrica e os efluentes do processo, é possível estruturar o inventário consolidado associado à etapa industrial para a produção de 1 t de óleo de palma, tendo como entrada a quantidade de CFF (Tabela 41).

Tabela 41 - Inventário consolidado associado à etapa industrial para a produção de 1 t de óleo de palma

	Inventário parcial de óleo de palma	Inventário consolidado da Energia elétrica	Queima de cascas e fibras	Inventário para 2,24 t POME	Inventário Consol. óleo de palma
Entrada					
CFF (kg)	5,00E+03				5,00E+03
Água (kg)	2,00E+02				2,00E+02
Energia elétrica (MJ)		6,25E+02			6,25E+02
Mao de obra (h.h)	6,00E+00				6,00E+00
Energia (MJ)			5,26E+03		5,26E+03
Saídas					
Óleo de dendê (k)	1,00E+03				1,00E+03
Óleo de palmiste (kg)	5,71E+01				5,71E+01
Torta de palmiste (kg)	1,28E+02				1,28E+02

	Inventário parcial de óleo de palma	Inventário consolidado da Energia elétrica	Queima de cascas e fibras	Inventário para 2,24 t POME	Inventário Consol. óleo de palma
Efluentes (kg)				2,24E+00	2,24E+00
Emissões atmosféricas					
CH ₄ (kg)		3,42E-02		2,68E+01	2,68E+01
CO (kg)		9,31E-02	5,66E+00		5,75E+00
CO ₂ (kg)		1,11E+01	6,21E+02	4,95E+01	6,82E+02
Vapor de água (kg)		1,44E-01			1,44E-01
NH ₃ (kg)		3,75E+02		1,10E-01	3,75E+02
NO _x (kg)		3,59E-01	6,42E-01		1,00E+00
N ₂ O (kg)		6,87E-03		1,12E-04	6,98E-03
Material particulado (kg)		4,20E-02	1,39E+00		1,43E+00
COVNM (kg)		4,55E-03	5,03E-02		5,49E-02
SO _x (kg)		7,24E-02	2,01E-02		9,25E-02
H ₂ S (kg)				1,71E+00	1,71E+00
N ₂ (kg)				1,12E-01	1,12E-01
Efluentes líquidos					
DBO (kg)			4,37E-07		4,37E-07
DQO (kg)			8,12E-05		8,12E-05

Consol.= consolidado. Fonte: Autor

5.2.1.5. Inventário Total consolidado do processo de produção de Óleo de Palma na Marborges S.A

O inventário consolidado do processo de produção de óleo de palma é apresentado na Tabela 42, e foi determinado pela soma dos inventários consolidados da etapa agrícola, e da etapa industrial de óleo de palma.

Na mesma tabela pode-se observar as quantidades (kg) de emissões atmosféricas e líquidas resultantes do processo de produção 1 t de óleo de palma. Os valores das emissões atmosféricas, serão usadas para a análise da categoria de impacto (mudança climática) no seguinte item.

Tabela 42 - Inventário Total consolidado da produção de 1 t óleo de palma na Marborges Agroindústria S.A.

	Inventário total da etapa agrícola	Inventário total da etapa industrial	Inventário consolidado na produção de óleo de palma
Entradas			
CFF (kg)		5,00E+03	5,00E+03
Mao de obra (h.h)		6,00E+00	6,00E+00
Petróleo (kg)	6,01E+01		6,01E+01
Carvão (kg)	1,91E+01		1,91E+01
Gas natural (kg)	3,38E+00		3,38E+00
Energia (MJ)	2,20E+03	6,25E+02	2,82E+03
Urânio natural (kg)	2,70E-04		2,70E-04
Água (kg)	1,27E+04	2,00E+02	1,29E+04
Reservas bióticas (kg)	7,30E+00		7,30E+00

	Inventário total da etapa agrícola	Inventário total da etapa industrial	Inventário consolidado na produção de óleo de palma
Matérias secundários (kg)	1,35E+00		1,35E+00
Combustível fóssil (GJ)	3,68E-01		3,68E-01
Ar (kg)	3,00E+02		3,00E+02
Vapor (GJ)	4,09E-01		4,09E-01
Pesticidas mix (kg)	3,40E-01		3,40E-01
Saídas			
Energia (MJ)		5,26E+03	5,26E+03
Óleo de dendê (kg)		1,00E+03	1,00E+03
Óleo de palmiste (kg)		5,71E+01	5,71E+01
Torta de palmiste (kg)		1,28E+02	1,28E+02
Efluentes (kg)		2,24E+00	2,24E+00
Emissões atmosféricas			
CO ₂ (kg)	3,46E+02	6,82E+02	1,03E+03
CO (kg)	7,73E-01	5,75E+00	6,52E+00
Vapor de água (kg)	3,53E-01	1,44E-01	4,97E-01
CH ₄ (kg)	2,29E+00	2,68E+01	2,91E+01
Material particulado (kg)	4,73E+00	1,43E+00	6,16E+00
COVNM (kg)	1,52E-01	5,49E-02	2,07E-01
NO _x (kg)	2,23E+00	1,00E+00	3,23E+00
N ₂ O (kg)	1,63E-01	6,98E-03	1,70E-01
SO _x (kg)	9,59E-01	9,25E-02	1,05E+00
C _x H _y (kg)	9,17E-02		9,17E-02
NH ₃ (kg)	8,88E+02	3,75E+02	1,26E+03
H ₂ S (kg)		1,71E+00	1,71E+00
N ₂ (kg)		1,12E-01	1,12E-01
Efluentes líquidos			
DBO (kg)	2,66E-03	4,37E-07	2,66E-03
DQO (kg)	2,85E-02	8,12E-05	2,85E-02
Sólidos suspensos (kg)	3,95E-03		3,95E-03
Óleos não específico (kg)	2,68E-04		2,68E-04
Alumínio (kg)	1,18E-04		1,18E-04
Fosfato (kg)	1,43E-01		1,43E-01

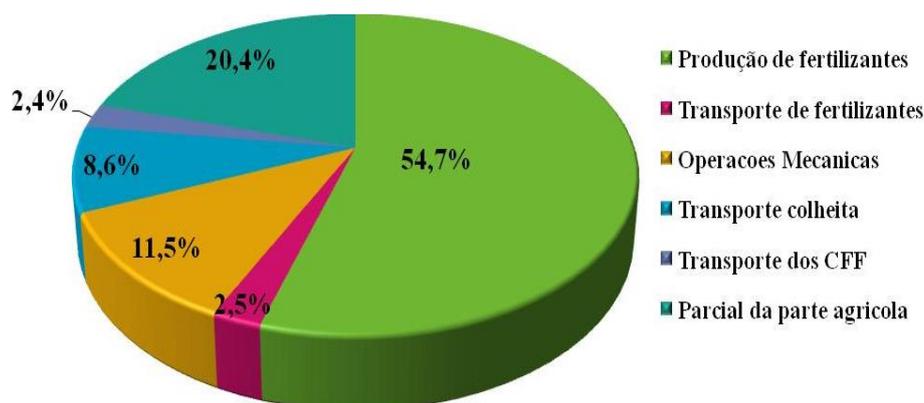
5.2.2. Categoria de Impacto: Mudança climática

5.2.2.1. GEE da Etapa Agrícola

A análise do impacto é do tipo *midpoint* e leva em consideração os efeitos primários provocados sobre o ambiente. Assim, de acordo aos valores do potencial de aquecimento global do IPCC (2014) (Tabela 1) na etapa agrícola foram emitidos 444,90 kg de CO₂eq, por cada tonelada de óleo de palma produzido.

A produção de fertilizantes é a atividade responsável por mais de 54,7% das emissões de GEE para a atmosfera (Figura 40), seguida da aplicação de fertilizantes (20,4%), as operações mecânicas (11,5%) e finalmente os sistemas de transportes relacionados a: colheita (8,6%), fertilizantes (2,5%), e CFF (2,4%), respectivamente.

Figura 40 - Distribuição da porcentagem pela categoria mudança climática da etapa agrícola.



Os valores dos GEE da etapa agrícola, foram contabilizadas a partir dos seguintes processos; produção de fertilizantes (243,33 kg de CO₂eq); aplicação de fertilizantes, (90,73 kg de CO₂eq); operações mecânicas (51,05 kg de CO₂eq); transporte da colheita (38,22kg de CO₂eq); transporte de fertilizantes (10,85 kg de CO₂eq); e finalmente o transporte de CFF (10,76 kg de CO₂eq). As emissões de GEE, de cada processo da etapa agrícola são apresentados na Tabela 43.

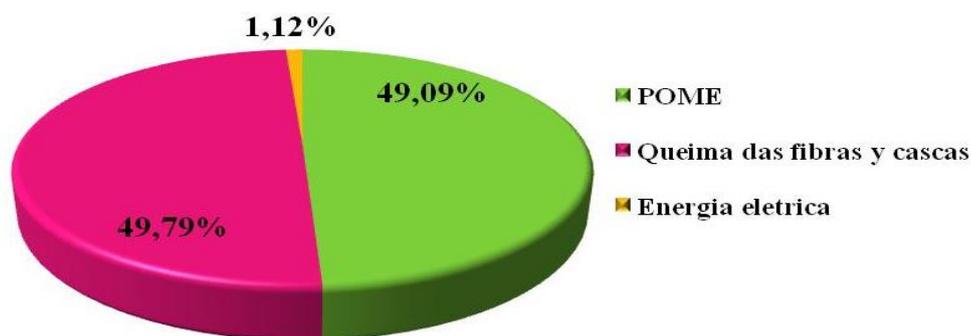
Tabela 43 - Estimativa das emissões de GEE em cada processo da etapa agrícola convertidas a CO₂eq

Processos	GEE			CO ₂ eq(kg)
	CO ₂ (kg)	CH ₄ (kg)	N ₂ O (kg)	
Produção de fertilizantes	2,38E+02	5,12E+00	2,09E-01	243,33
Transporte de fertilizantes	8,52E+00	6,87E-01	1,68E+00	10,88
Operações mecânicas	4,98E+01	8,65E-01	3,88E-01	51,05
Transporte colheita	0,00E+00	3,82E+01	0,00E+00	38,22
Transporte dos CFF	1,05E+01	1,83E-01	8,18E-02	10,75
Aplicação de fertilizantes	3,96E+01	3,09E+00	4,81E+01	90,73

5.2.2.2. GEE da Etapa Industrial

Na etapa industrial, o impacto da mudança climática ao ambiente é de 1247,28 kg de CO₂eq. As maiores emissões de GEE correspondem à queima da cascas e fibras (49,79%), seguido do impacto das emissões do POME em 49,09% em menor quantidade o consumo de energia elétrica (1, 12%) (Figura 41).

Figura 41 - Distribuição da porcentagem dos GEE emitidos no processo da etapa industrial.



As emissões atmosféricas de GEE da etapa industrial para a produzir 1 t de óleo de palma foram contabilizadas a partir dos seguintes processos: energia utilizada no processo de produção (13,94 kg de CO₂eq); o POME (612,33 kg de CO₂eq); e finalmente a queima das fibras e cascas (621 kg de CO₂eq). A Tabela 44 lista as emissões de GEE, a partir de cada processo da etapa industrial.

Tabela 44 – Estimativas das emissões de GEE em cada processo da etapa industrial convertidas para CO₂eq

Processos	GEE			CO ₂ eq (kg)
	CO ₂ (kg)	CH ₄ (kg)	N ₂ O (kg)	
Energia elétrica	1,11E+01	7,18E-01	2,13E+00	13,94
Queima das fibras y cascas	6,21E+02	0,00E+00	0,00E+00	621,00
POME	4,95E+01	5,63E+02	3,47E-02	612,33

5.2.2.3. Consolidação total dos GEE na produção de 1 t de óleo de palma

As estimativas das emissões totais de GEE para a produção de 1 t de óleo de palma, resultaram em 1692,10 kg de CO₂eq, os valores são exibidos na Tabela 45.

Tabela 45 - Distribuição das emissões totais de GEE na produção de 1 t de óleo de palma

Etapas	CO ₂ (kg)	CH ₄ (kg)	N ₂ O (kg)	CO ₂ eq (kg)
Inventário total da etapa agrícola	3,46E+02	4,82E+01	5,04E+01	444,82
Inventário total da etapa industrial	6,82E+02	6,70E+02	2,08E+00	1247,28
TOTAL				1692,10

5.2.3. Alocação entre os coprodutos

O sistema de produção do óleo de palma consiste na obtenção de coprodutos de valor comercial para o mercado. Segundo o relatório da Marborges S.A tem valor comercial: óleo de palma²⁰, óleo de palmiste e a torta de palmiste.

O procedimento do fator de alocação de valor econômica foi proposto por Gomes (2011) e PUCP (2009). Outros coprodutos não foram incluídos na alocação por serem consumidos ou usados no processo de produção do óleo de palma, como os cachos de frutos vazios, as fibras, as cascas, e os efluentes.

O cálculo do fator de alocação para os produtos da produção de óleo, foi feito através de porcentagens da somatória das multiplicações dos preços de mercado dos produtos do ano 2016²¹, pelas quantidades obtidas (t) no processo produtivo. Na Tabela 46 apresentam-se a porcentagem dos fatores de alocação para os coprodutos.

Tabela 46. -Preços de mercado dos produtos da cadeia de produção do óleo de palma, em R\$.t⁻¹

Coprodutos	(% massa)	Preço (R\$/T)	Produção (t)	Fator de alocação
Óleo de palma	20	2077,42	0,951	86%
Óleo de palmiste	1,2	4414,6	0,057	11%
Torta de palmiste*	2,7	460	0,128	3%

*O preço da torta de palmiste segundo o chefe do setor agrícola da Marborges S.A (Setembro, 2016)

Os aspectos ambientais associados ao fator de alocação para cada um dos produtos gerados no processo de produção de óleo de palma, tendo como referência, a produção de 1 t de óleo de palma e são apresentados na Tabela 47.

Tabela 46 - Inventário consolidado da produção de 1 t de óleo de palma e fatores de alocação específicos para os coprodutos

Entradas	Inventario consolidado na produção de óleo de palma	Fatores de alocação		
		86% óleo de palma	11% óleo de palmiste	3% torta de palmiste
CFE	5,00E+03	4,30E+03	5,50E+02	1,50E+02
Mão de obra (h.h)	6,00E+00	5,16E+00	6,60E-01	1,80E-01
Petróleo (kg)	6,01E+01	5,17E+01	6,61E+00	1,80E+00
Carvão (kg)	1,91E+01	1,64E+01	2,10E+00	5,73E-01
Gás natural (kg)	3,38E+00	2,91E+00	3,72E-01	1,01E-01
Energia (MJ)	2,82E+03	2,43E+03	3,10E+02	8,46E+01
Urânio natural (kg)	2,70E-04	2,32E-04	2,97E-05	8,10E-06
Água (kg)	1,29E+04	1,11E+04	1,42E+03	3,87E+02
Reservas bióticas (kg)	7,30E+00	6,28E+00	8,03E-01	2,19E-01
Matérias secundários (kg)	1,35E+00	1,16E+00	1,49E-01	4,05E-02
Combustível fóssil (GJ)	3,68E-01	3,16E-01	4,05E-02	1,10E-02

²⁰ Para o análise da alocação o óleo de palma foi considerado como uns dos coprodutos.

²¹ Index Mundi 2016. Disponível em: <http://www.indexmundi.com/pt/pre%EF7os-de-mercado/?mercadoria=%C3%B3leo-de-palma&meses=60&moeda=brl>

	Inventario consolidado na produção de óleo de palma	Fatores de alocação		
		86% óleo de palma	11% óleo de palmiste	3% torta de palmiste
Entradas				
Ar (kg)	3,00E+02	2,58E+02	3,30E+01	9,00E+00
Vapor (GJ)	4,09E-01	3,52E-01	4,50E-02	1,23E-02
Pesticidas mix (kg)	3,40E-01	2,92E-01	3,74E-02	1,02E-02
Saídas				
Energia (MJ)	5,26E+03	4,52E+03	5,79E+02	1,58E+02
Óleo de dendê (k)	1,00E+03	8,60E+02	1,10E+02	3,00E+01
Óleo de palmiste (kg)	5,71E+01	4,91E+01	6,28E+00	1,71E+00
Torta de palmiste (kg)	1,28E+02	1,10E+02	1,41E+01	3,84E+00
Efluentes	2,24E+00	1,93E+00	2,46E-01	6,72E-02
Emissões atmosféricas				
CO ₂ (kg)	1,03E+03	8,86E+02	1,13E+02	3,09E+01
CO (kg)	6,52E+00	5,61E+00	7,17E-01	1,96E-01
Vapor de água (kg)	4,97E-01	4,27E-01	5,47E-02	1,49E-02
CH ₄ (kg)	2,91E+01	2,50E+01	3,20E+00	8,73E-01
Material particulado (kg)	6,16E+00	5,30E+00	6,78E-01	1,85E-01
COVNM (kg)	2,07E-01	1,78E-01	2,28E-02	6,21E-03
NO _x (kg)	3,23E+00	2,78E+00	3,55E-01	9,69E-02
N ₂ O	1,70E-01	1,46E-01	1,87E-02	5,10E-03
SO _x (kg)	1,05E+00	9,03E-01	1,16E-01	3,15E-02
C _x H _y (kg)	9,17E-02	7,89E-02	1,01E-02	2,75E-03
NH ₃ (kg)	1,26E+03	1,08E+03	1,39E+02	3,78E+01
H ₂ S (kg)	1,71E+00	1,47E+00	1,88E-01	5,13E-02
N ₂ (kg)	1,12E-01	9,63E-02	1,23E-02	3,36E-03
Efluentes líquidos				
DBO (kg)	2,66E-03	2,29E-03	2,93E-04	7,98E-05
DQO (kg)	2,85E-02	2,45E-02	3,14E-03	8,55E-04
Sólidos suspensos (kg)	3,95E-03	3,40E-03	4,35E-04	1,19E-04
Óleos não especifico (kg)	2,68E-04	2,30E-04	2,95E-05	8,04E-06
Alumínio (kg)	1,18E-04	1,01E-04	1,30E-05	3,54E-06
Fosfato (kg)	1,43E-01	1,23E-01	1,57E-02	4,29E-03

5.2.3.1. Distribuição das emissões de GEE com alocação

As emissões de GEE dos coprodutos, foram estimadas a partir da porcentagem de alocação, resultando em 1456,66 kg de CO₂eq associadas ao óleo de palma 186,32 kg de CO₂eq para o óleo de palmiste e 50,81 kg de CO₂eq para a torta de palmiste (Tabela 48).

Tabela 47 - Distribuição das emissões de GEE associadas ao fator de alocação para aos três coprodutos gerados

Gases de efeito estufa	Fatores de alocação		
	86% óleo de palma	11% óleo de palmiste	3% torta de palmiste
CO ₂ (kg)	8,86E+02	1,13E+02	3,09E+01
CH ₄ (kg)	5,26E+02	6,72E+01	1,83E+01
N ₂ O (kg)	4,53E+01	5,80E+00	1,58E+00
GEE (kg) totais	1456,10	186,10	50,20

5.3. Consolidação das emissões de GEE no ciclo produtivo (25 anos)

As emissões totais de GEE para a produção de 1 t de óleo de palma foram contabilizadas em 1692,10 kg de CO₂eq, quando nenhum tipo de alocação foi considerado. Ao considerar a porcentagem de alocação para os coprodutos, as emissões

para a palma de óleo, contabilizaram 1456,6 kg de CO₂eq, 186,30 kg de CO₂eq para o óleo de palmiste e 50,80 kg de CO₂eq para a torta de palmiste. Segundo as estimações do setor agrícola, durante o ciclo produtivo da cultura do HIE (25 anos), em 1 hectare são produzidos aproximadamente 450.000 kg de CFF, com uma produtividade média de 17,785 t CFF ha⁻¹.

Portanto, durante tudo o ciclo produtivo do HIE, são emitidos 150,62 t de CO₂ eq. ha⁻¹ para atmosfera. As emissões associadas aos coprodutos gerados no processo de produção de óleo de palma, e as emissões totais durante o ciclo produtivo da cultura são apresentados na Tabela 49.

Tabela 48 - Emissões de GEE alocados para os coprodutos de óleo de palma, por tonelada de óleo produzido nos 25 anos

Coprodutos	% alocação	Emissões kg CO ₂ eq	Emissões (25 anos) t ²² CO ₂ eq.ha ⁻¹
Óleo de palma	86	1456	129,53
Óleo de palmiste	11	186	16,57
Torta de palmiste	3	50	4,52
TOTAL	100	1692	150,62

5.4. Emissões pela Mudança de Uso do Solo

5.4.1. Conversão do Pastagem – Plantação de Palma de Óleo

Na Marborges Agroindústria S.A, os dados referentes à mudança e uso da terra para a cultura de HIE, referem que, antes de serem utilizadas como plantações, as terras eram pastagens.

Germer e Sauerborn (2006), estimou que em uma pastagem na Indonésia, a biomassa presente acima do solo era em média de 11,2 ± 7,3 t ha⁻¹, e a biomassa presente no solo, estaria em torno de 15,5 ± 10,1 t ha⁻¹, o que resulta em um total de 26,7 ± 17,4 t ha⁻¹ de biomassa. Os mesmos autores, estimaram que o teor de C na biomassa da pastagem é de 43%, ou seja, 11,48 ± 7,48 t C ha⁻¹, e convertendo para emissões de CO₂ resulta em 42,13 t CO₂ ha⁻¹ durante os 25 anos do ciclo produtivo da palma de óleo, causadas pela queima e decomposição da biomassa acima e abaixo do solo.

²² 1t = 1Mg

5.5. Compensação geral dos GEE

A área total de Marborges Agroindústria S.A é de 16.317 ha, onde 2.644,72 ha são plantações do HIE, e 8.394 ha são mantidos como vegetação nativa (52,9%), classificada como floresta tropical e caracterizada como reserva legal. De acordo com estimativas do projeto (BRASIL, 1974) Radam Brasil (v.5), citado em Frazão (2012), cada hectare de floresta tropical da região amazônica, tem um estoque de 102,32 - 140,86 t C. Assim, estima-se que a nas áreas de reserva legal da empresa, mantém estocado entre 3,15 e 4,33 Mt de CO₂ (Tabela 50).

Tabela 49 - Carbono e CO₂ estocado em plantações de HIE e reserva legal em Marborges Agroindústria S.A. Estado do Pará, Brasil (2016)

Uso de solo	C estocado. ha ⁻¹	Área	Total de estocado	Total de CO ₂ estocado
	T	ha	Mt	Mt
HIE	50,65	2644,72	0,13	0,49
Reserva legal	102,32 - 140,86	8394	0,85-1,18	3,15- 4,33

Fonte: Brasil (1974 apud FRAZÃO, 2012) e Autor

Considerando uma área cultivada de 2644,72 ha, e considerando que o ciclo produtivo da palma do HIE é de 25 anos foram sequestrados 491627,00 t CO₂, e assumindo os valores propostos por Germer e Sauerborn (2006) na mudança do solo de pastagens para plantações de palma de óleo, são fixados 126946,56 t CO₂. Na mesma quantidade de anos, foram emitidos: 398350,81 t CO₂eq. do processo produção de óleo de palma, e 111422,05 t CO₂eq. na conversão das pastagens para o cultivo de palma (GERMER, 2006) (Tabela 50).

Tabela 50 – Estimativa do balanço geral entre o sequestro de CO₂ pelas plantações do HIE, a mudança no solo de pastagens para cultivo do HIE, e as emissões de GEE do processo de produção de óleo de palma e a conversão das áreas de pastagens

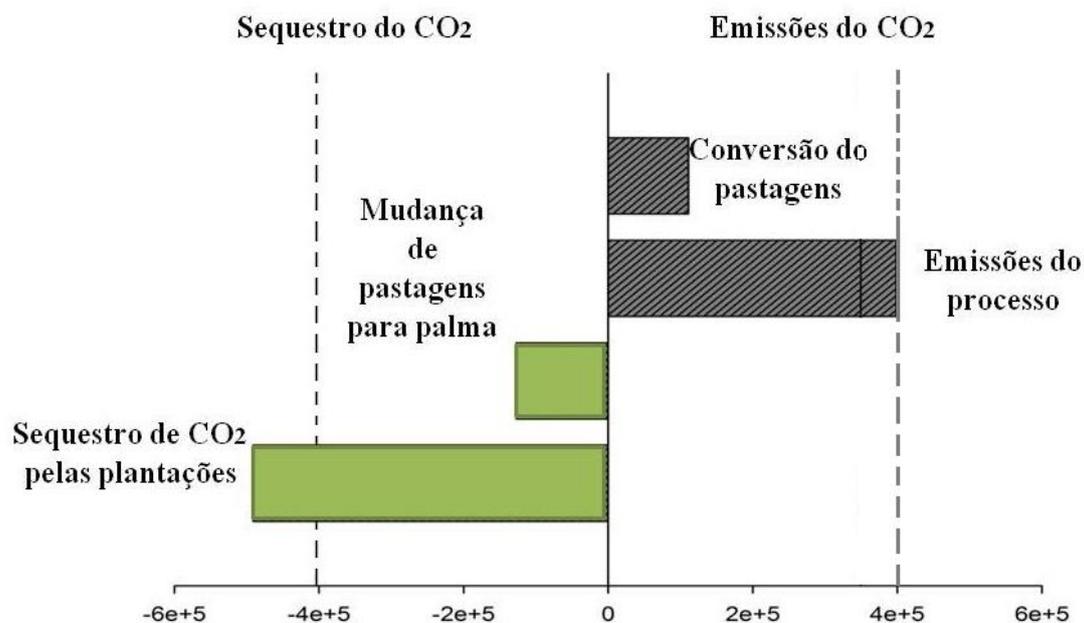
Balanço	Ciclo produtivo
Sequestro biológico das plantas HIE (t CO ₂)	-4,91E+05
Mudança no solo de pastagens a palma de óleo (t CO ₂) ^a	-1,27E+05
Emissões do processo produtivo de óleo de palma (t CO ₂ eq)	3,98E+05
Conversão do pastagens para o cultivo da palma (t CO ₂ eq) ^a	1,11E+05
TOTAL	-1,09E+05

Fonte: ^aGermer e Sauerborn (2006); Autor

O balanço geral entre o sequestro de CO₂ pelas plantações do HIE, a mudança no solo de pastagens para cultivo do HIE, as emissões de GEE do processo de produção de

óleo de palma e as emissões da conversão das áreas de pastagens resultou em, 100% a compensação de todas as emissões de GEE com um adicional de sequestro de CO₂ (-109000 t de CO₂eq). Na Figura 42, pode-se observar os níveis do sequestro e das emissões de CO₂eq. Os valores negativos representam o sequestro do CO₂ e em positivo as emissões de CO₂eq para a atmosfera, resultando o balanço geral em sequestro de CO₂eq (Figura 42, imagem esquerda).

Figura 42 – Compensação geral entre o sequestro de CO₂ e as emissões de CO₂eq.



6. DISCUSSÃO

No presente estudo as estimativas de biomassa aérea para os plantios do dendê híbrido interespecífico mostraram um acúmulo de 107,77 Mg ha⁻¹ para os 25 anos do ciclo produtivo, valores próximos foram reportados por Morel *et al.*, (2011) e Cassol *et al.*, (2015); Germer (2006). No mesmo período de tempo, Nordin (2002), Khalid *et al.*, (1999); Sitompul e Hairiah (2000) (Tabela 51). Segundo Rees e Tinker (1963), essa variabilidade do acúmulo da biomassa nas plantações de palma, é influenciada por características gênicas, condições pedo-agroclimáticas e os diferentes tipos de manejo.

Tabela 51 - Comparação da biomassa área do HIE em diferentes estudos

Biomassa aérea em HIE (25 anos)	Mg ha ⁻¹
Nosso estudo em HIE (2016)	107,77
Morel <i>et al.</i> , (2011) e Cassol <i>et al.</i> , (2015)	100
Germer (2006)	50-100
Nordin (2002)	68,9
Khalid <i>et al.</i> , (1999) ^a	86
Sitompul e Hairiah (2000) ^b	192-202

^a em plantios com 23 anos de idade

^b para plantios com 14 e 19 anos de idade

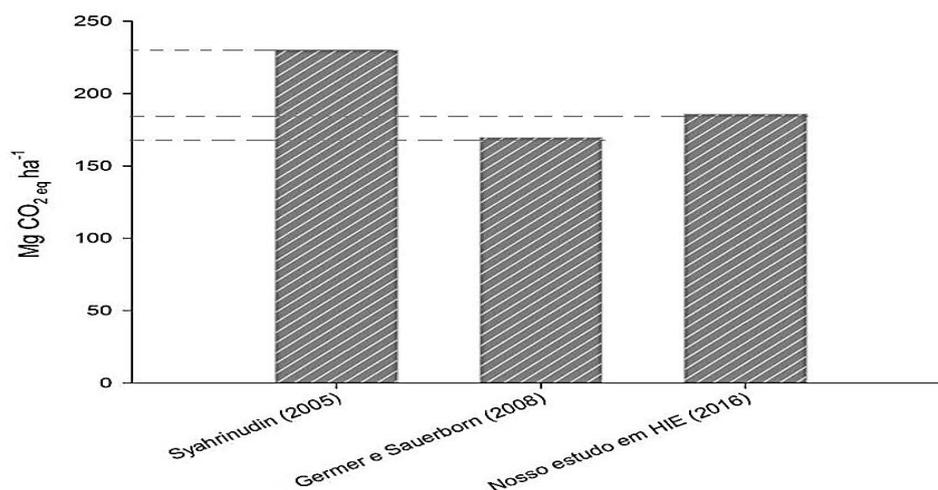
Os resultados revelaram que a biomassa aérea do HIE aumenta consideravelmente entre os três primeiros anos (0,93 Mg ha⁻¹) e os oito anos de idade do plantio (59,77 Mg ha⁻¹) logo após, os incrementos da biomassa diminuem. O mesmo valor foi reportado por Cruz (2012) para plantios de oito anos de idade, com dendê híbrido. Kee *et al.*, (1968) utilizando a variedade do tipo Tenera (Híbrido intraespecífico) na Malásia observaram incrementos de 27,83 e 64,21 Mg ha⁻¹ em cultivos de 4 e 9 anos, de idade respectivamente. Segundo Morel *et al.*, (2011); Cassol *et al.*, (2015) e Goodman *et al.*, (2013), a biomassa da palma de óleo apresenta rápido crescimento nos primeiros anos, mas também decresce rapidamente a partir dos 15 anos, como consequência da abscisão das folhagens mais velhas da base do estipe e por esta razão, os valores máximos situam-se em torno de 100 Mg ha⁻¹.

Alguns estudos foram conduzidos para estimar a quantidade de C sequestrado em plantios de palma de óleo no Brasil (SILVA *et al.*, 2003; VIEGAS, 1993; CRUZ, 2012), assim como em outros países (REIJNDERS, 2006; MURDIYARSO *et al.*, 2002; PALM *et al.*, 1999; GERMER, 2006; SYAHRINUDIN, 2005). Silva *et al.*, (2003) observaram que o carbono total sequestrado em plantios com 25 anos de idade é de 61,87 Mg C ha⁻¹. Esses autores consideraram a biomassa das raízes para o carbono total, e reportaram na

44,70 t C ha⁻¹ na parte aérea, valor próximo ao encontrado neste estudo (Tabela 12). Por outro lado, na Malásia, em plantios de palma de óleo, foram reportados valores menores do que 36 t C ha⁻¹ para a parte aérea (HENSON, 2003).

A partir de nossas estimativas do conteúdo de carbono no HIE, obteve-se que o sequestro de CO₂ durante os 25 anos do ciclo produtivo de palma, resultam em 185,89 Mg CO₂eq ha⁻¹, valor próximo ao encontrado por Viegas *et al.*, (1983). Segundo Germer e Sauerborn (2008) em plantios com idades de 25 anos com híbridos intraespecíficos, o sequestro de carbono, foi de 129,3 ± 40,3 Mg CO₂eq ha⁻¹, considerando somente a parte aérea. Por outro lado, Syahrudin (2005) reportou valores superiores a 230 Mg CO₂eq ha⁻¹, em plantios comerciais com mais de 20 anos de idade, sendo que deste total, 152 Mg CO₂eq ha⁻¹ estavam retidas apenas no estipe. Os valores das estimativas observam-se na Figura 43.

Figura 43 - Estimativas de sequestro de carbono Mg CO₂eq ha⁻¹ em cultivos de HIE



A avaliação do ciclo de vida, permitiu elaborar os inventários associados à cadeia de produção de palma de óleo e mostrou as emissões atmosféricas de cada etapa agrícola e industrial, tendo como unidade funcional 1000 kg de óleo de palma. De acordo à categoria do aquecimento global, os gases de efeito estufa, foram expressadas em CO₂eq.

O impacto das emissões de GEE pela categoria mudança climática revelaram que, na etapa agrícola, foram emitidos 445 kg de CO₂eq por t⁻¹ óleo produzido. Os processos da produção e aplicação de fertilizantes foram, os responsáveis pelas maiores emissões de GEE (maior do que 70%). Valores próximos desse estudo foram reportados por Carvalho (2012), Rodrigues *et al.*, (2014), Marzullo (2007) e Queiroz (2011) (Tabela 52).

Esses autores, concordam que a produção e aplicação de fertilizantes, representam mais de 60% das emissões na etapa agrícola. Para Carvalho (2012) 96% das emissões provêm da produção e aplicação de fertilizantes, tanto direta como indiretamente.

Tabela 52 - Comparação das emissões de GEE pela categoria mudança climática na etapa agrícola

Mudança climática: Etapa agrícola	kg de CO ₂ eq por t ⁻¹ de óleo produzido
Nosso estudo em HIE (2016)	444,8
Carvalho (2012)	501,76
Rodrigues <i>et al.</i> , (2014)	501,76
Marzullo (2007)	518,63
Queiroz (2011)	335,23-228,15

A cultura de palma de óleo, é uma grande exportadora de nutrientes, sendo necessária a reposição em grandes quantidades de alguns elementos como N, P, K que na produção deles são consideradas fontes de emissão de GEE (RODRIGUES *et al.*, 2014). Desde a fase de viveiro até o fim de ciclo (25 anos), são necessários em média 1087,17 kg NPK ha⁻¹ de fertilizantes, liberando aproximadamente 8,88 Mg CO₂eq ha⁻¹, semelhante ao valor reportado por Rodrigues *et al.*, (2014) de 8,6 Mg CO₂eq ha⁻¹.

No caso dos fertilizantes citados anteriormente, especificamente como NO_x é muito importante neste estudo, devido ao alto poder de aquecimento global. Na etapa agrícola, foram necessários 39,97 kg de N por cada t de óleo produzido. Partindo do percentual de 0,4% (Ecoinvent v 3.2) resultou em emissões de 0,155 kg de N₂O, ou 46,2 kg CO₂eq t⁻¹ de óleo produzido. Frazão (2012) calculou as emissões de N₂O em plantios do dendê na Bahia e no Pará, e encontrou o fator de 0,58 %, valor próximo ao usado neste trabalho. Ambos valores são menores do que o proposto por *default* do IPCC (2006) que é de 1% aplicado ao solo em forma de N₂O (emissão direta) e uma fração menor devido à percolação e volatilização (emissão indiretas).

A preocupação ambiental no uso de fertilizantes nitrogenados está ligada ao processo produtivo que ele envolve. Bergsma *et al.*, (2006) indicam que a produção e aplicação de fertilizantes nitrogenados, são 40 vezes maiores do que aplicação de P, e K, além disso, os fertilizantes nitrogenados quando transformados em N₂O, têm um potencial de aquecimento global 310 vezes maior que a molécula de CO₂, implicando que a aplicação de 1 kg ha⁻¹ de N, é equivalente a uma emissão 310 kg de CO₂ ha⁻¹ (ROBERTSON, 2004).

Há uma preocupação relacionada ao uso de fertilizantes nitrogenados ser cada vez maior no Brasil, conseqüentemente, aumentando as emissões de N_2O também. Por este motivo, são necessários diversos manejos no solo que sejam capazes de aperfeiçoar o uso desse nutriente. Nas plantações do HIE, são considerados que os cachos de frutos vazios, as cascas, fibras, são devolvidos aos cultivos, como adubação. Segundo Macedo *et al.*, (2010), assumindo que 22 % do peso úmido dos CFF correspondem aos cachos vazios, são devolvidos cerca de 3,48 t de cachos vazios. ha^{-1} . Para Muller *et al.*, (2006) os cachos vazios da palma de óleo representam cerca de 20 a 25 % do peso dos CFF e apresentam teor médio de matéria seca de $350 g kg^{-1}$, $7,15 g kg^{-1}$ de Nitrogênio (N), $0,90 g kg^{-1}$ de Fósforo (P), $14,5 g kg^{-1}$ de Potássio (K), $3,40 g kg^{-1}$ de Cálcio (Ca) e $1,85 g kg^{-1}$ de Manganês (Mn). Para Schmidt (2007) uma tonelada de cachos vazios devolve ao solo 3,2 kg de N, o que leva a um aumento da ciclagem de nutrientes e minimiza o uso de fertilizantes de origem não orgânicos.

Nas áreas de plantio do híbrido interespecífico da Marborges agroindústria, não foi usado o óxido de cálcio (Cal), como adubação inorgânica. Segundo Carvalho (2012) a aplicação da cal é usual em monoculturas, para Buzzatti (2011) a aplicação de Cal, pode ser usado só no momento do plantio.

A utilização de pesticidas faz parte da agricultura do dendê HIE, para o combate de pragas e doenças. Entretanto estes pesticidas podem causar impacto ao ambiente, pela contaminação de corpos d'água, do solo e efeitos negativos à biodiversidade. Neste trabalho não é objetivo avaliar as emissões no solo, mas, foi necessário inventariar as emissões provenientes da aplicação de pesticidas. Segundo Lewis *et al.*, (1999) da quantidade de pesticidas aplicados, 46 a 80% permanecem entre o solo e a cultura, enquanto 20 a 54% são volatilizados. Caso o pesticida seja rapidamente incorporado ao solo, ainda existe uma volatilização da ordem de 5%. É necessário mencionar que o uso incorreto dos defensivos, pode comprometer a saúde do agente manipulador. Na Tabela 14, são mostrados os compostos químicos organofosforados, ao qual pertence o glifosato (grupo de pesticidas mais usado) os quais apresentaram as maiores emissões no solo, semelhantes níveis foram reportados por Marzullo (2007). Segundo Franz *et al.*, (1997) o glifosato como composto é fortemente adsorvido pela maioria dos solos, reduzindo a concentração dos herbicidas nos solos. Para Toni *et al.*, (2006) uma vez adsorvido o glifosato pode ficar como resíduo, permanecendo no ambiente até sua completa mineralização, diminuindo a carga ambiental.

As emissões do transporte relacionados à colheita, fertilizantes, e CFF, representam 15 % das emissões totais da parte agrícola. No caso da colheita, na Marborges Agroindústria, as emissões de GEE são maiores devido à fermentação entérica dos animais, pelos búfalos e muares usados no transporte dos cachos desde o plantio, até lugares próximos de carregamento. Segundo o MCT (2010) o fator de emissão de CH₄ por fermentação entérica dos bubalinos é de 55 kg de CH₄. Animal⁻¹ ano⁻¹, e nos muares 10 kg de CH₄.animal⁻¹. ano⁻¹.

As emissões do transporte de CFF, desde as áreas de plantio até a indústria (usina extratora) contabilizaram 10,76 kg de CO₂eq t⁻¹ óleo produzido. Valor similar foi encontrado na Agropalma, onde foram emitidos 10,35 kg de CO₂eq t⁻¹ (QUEIROZ, 2011). No entanto na Dentauá, registrou 15,75 kg de CO₂eq t⁻¹. As diferenças nas emissões podem ser resultado, da distância entre o plantio e a indústria, na Dentauá considerou 30 km de distância entre o plantio e a indústria. Neste estudo, a distância entre o plantio e a indústria é de 15 km. O transporte dos cachos até a usina extratora é fundamental dentro do processo produtivo de óleo de palma, pois os frutos da palma precisam ser processados em até 24 horas para não comprometer a qualidade do óleo (MARZULLO, 2007). Por este motivo, Vianna, (2006); Santos, (2008); Souza *et al.*, (2010) recomendam que as indústrias esmagadoras ou extratoras de óleo palma devam ser construídas próximas a locais de plantio.

Na etapa industrial, ou extração do óleo, foram emitidas 1247,28 kg de CO₂eq t⁻¹ de óleo produzido, valor próximo ao encontrado por Choo *et al.*, (2011). As maiores emissões de GEE, correspondem a queima de cascas e fibras (49,79 %) seguido das emissões do POME (49,09 %). No presente estudo, as emissões do POME contabilizaram 612,33 kg de CO₂eq.t⁻¹ de óleo produzido. Valores próximos desse estudo foram reportados por (CHOO *et al.*, 2011); NIKANDER (2008); YACOB *et al.*, (2006); MA (1999) e SCHMIDT (2007) (Tabela 53).

Tabela 53 - Comparação das emissões de GEE pela categoria mudança climática do POME

Emissões do POME	kg de CO ₂ eq por t ⁻¹ de óleo produzido
Nosso estudo em HIE (2016)	612,33
Choo <i>et al.</i> , (2011)	975,01
Nikander (2008) e Yacob <i>et al.</i> , (2006)	625 - 1476
Ma (1999) e Schmidt (2007)	971 - 1506

De acordo com Frazao (2012) as altas emissões de GEE a partir do POME, estão relacionadas ao CH₄ produzido nos tanques anaeróbios.

Segundo Brinkmann (2009) a mudança no uso da terra e as emissões de POME são muito significativas, dentro de todo o processo produtivo de óleo de palma. Estimações de Taylor *et al.*, (2014) sugerem que as emissões globais de GEE devido ao POME alcançaram 135 Mt CO₂eq.ano⁻¹ em 2014. Segundo os mesmos autores, as emissões do POME podem atingir 363 Mt CO₂eq.ano⁻¹ em 2050, equivalente a 12% das emissões brutas de carbono oriundas do desmatamento de florestas tropicais.

Sabe-se que o manejo do POME é um dos grandes problemas das indústrias extratoras de óleo de palma/palmiste no Brasil, devido, principalmente as emissões de GEE e ao seu alto teor de Demanda Biológica de Oxigênio (DBO) que é cerca de cem vezes a do esgoto doméstico (NGAN, 1997). Segundo Furlan (2006) isto compromete a disponibilidade de oxigênio em corpos d'água, e por isso o uso de lagoas de contenção. De acordo com Brezing (1986) uma indústria com capacidade de processar dez toneladas de CFF por hora requer um tratamento de efluente equivalente a uma cidade de 500.000 habitantes.

Segundo Costa (2007), indústrias processadoras de óleo de palma no Brasil estão se preocupando com a diminuição da carga ambiental dos efluentes, mas também, em algumas empresas não é realizado nenhum tipo de monitoramento nem tratamento. Na Marborges Agroindústria, após o aproveitamento máximo dos resíduos de óleo de palma, o líquido resultante é coletado e tratado em uma piscina de contenção com acompanhamento técnico. O líquido resultante do tratamento é transportado em veículos apropriados e distribuído nas áreas de plantio como fertilizante orgânico. Este procedimento segue um registro mensal das quantidades aplicadas às diferentes parcelas. Mas é necessário, contar com técnicas de aproveitamento do gás gerado no tratamento do efluente, para a diminuição das emissões de GEE.

Neste sentido Conil (1996) reporta que o aproveitamento do biogás, dos lodos e dos efluentes tratados, impõe uma série de benefícios econômicos, energéticos e ambientais. Na degradação anaeróbia mais do 90% da energia disponível pode ser transformada em biogás, impedindo quase totalmente a liberação de CH₄ para a atmosfera, e onde somente 10% é consumido para o crescimento microbiano (VARNERO, 2011).

Os produtos finais da degradação anaeróbia são o biogás e o bioabono. O bioabono²³ pode ser usado como fertilizantes para o solo (CASTELO, 2012). No caso do biogás, segundo Pardo *et al.*, (2006), pode ser produzido cerca (60% de CH₄ e 40% de CO₂). Yeoh (2004) afirma que cerca de 92% do metano (CH₄) pode ser aproveitado para a produção de energia elétrica, o qual pode ser usado dentro ou fora do sistema produtivo. A partir do aproveitamento do gás, as emissões de CH₄ (12 kg de CO₂ por t de efluentes), ficariam reduzidas a apenas 0,96 kg de CO₂ por t de efluente (OLIVEIRA, 2008).

Para a produção de 1 t de óleo de palma, também foram emitidos 621 kg de CO₂eq que correspondem ao 49,97% das emissões totais, provenientes da queima de cascas e fibras para a produção de vapor. Valores semelhantes foram encontrados por Rodrigues *et al.* (2014) e Queiroz, (2011) com 736,6 e 533 kg de CO₂, respectivamente.

No presente estudo, as emissões a partir da queima de cascas e fibras foram contabilizadas em GEE. Para Villela (2009), essas emissões podem ser consideradas nulas, pois elas retornam à atmosfera da mesma forma que foram originalmente apreendidos na fotossíntese, ou seja, como CO₂, em nosso caso, foram contabilizadas como equivalente pela decomposição de troncos e folhas proposto por Rodrigues *et al.*, (2014). Igwe e Onyegbando (2007) afirmam que as emissões provenientes das caldeiras e incineradores, são os principais gases de contaminação do ar. Além disso, na combustão incompleta gera fumaça preta, o que representa problema na eliminação e disposição. Para Yusoff e Hansen (2007) o problema na caldeira está associado com a falta de eficiência da combustão, e a solução passa pela utilização de um sistema controlado de alimentação de combustível e coletores de poeiras multiclone.

Ao longo dos 25 anos do ciclo produtivo, nas 2644,72 ha de cultivo do HIE, são sequestradas 0,49 Mt CO₂, na mesma quantidade de anos, são emitidas durante o processo de produção de óleo de palma 0,39 Mt CO₂eq. Portanto a compensação é positiva a razão de 1,18 vezes maior do que a quantidade emitida no processo de produção de óleo de palma. Valor semelhante foi encontrado por Rodrigues *et al.*, (2014) onde a compensação pelos plantios de palma de óleo, foi 1,1 vezes maior, às emissões de GEE. Frazao (2012), encontrou a razão de 2 vezes maior o sequestro, que as mesmas emissões de GEE na Agropalma, no estado do Pará.

²³ Bioabono=adubação orgânica

Na Marborges Agroindústria, referem que, as áreas atuais de cultivo do HIE, antes de serem utilizadas, as terras eram pastagens. Assumindo os valores de Germer e Sauerborn (2006) a conversão de pastagens, emite ao longo dos 25 anos de idade 42,13 Mg CO₂.ha⁻¹ devido à queima e decomposição da biomassa acima e abaixo do solo. Esse valor aplicado às 2644,72 ha do HIE, resulta em 0,1 Mt CO₂eq emitidos (Tabela 50). Além disso, os mesmos autores asseguram, que a implantação de palma de óleo, nessa conversão ao longo de 25 anos de idade, aumenta a fixação de CO₂ no solo, em torno de 48 Mg CO₂.ha⁻¹. Admitindo este valor, são fixados cerca de 0,12 Mt CO₂, nas 2644, 72 ha. Deste modo o balanço, entre a conversão das pastagens, para reabilitação com plantações de palma de óleo, resulta positivo em termos de ganância do carbono (GERMER e SAUERBORN, 2006).

Germer e Sauerborn (2006), estimaram o balanço GEE, na conversão da biomassa e a mudança de carbono no solo, de uma floresta tropical, em dois tipos de cenários (com e sem queimada) para solos minerais e solos orgânicos, ao longo dos 25 anos de idade, para plantações de óleo de palma. Os resultados mostraram que, as emissões de GEE, em solos minerais (com e sem queimada) estão entre 647 e 668 Mg CO₂eq.ha⁻¹, respectivamente. E em solos orgânicos (com e sem queimada), os valores aumentam consideravelmente, entre 1314 e 1335 Mg CO₂eq.ha⁻¹, respectivamente. Esses valores de emissão ressaltam, que a conversão e mudança da floresta é fonte muito significativa de GEE.

Finalmente, concorda-se com Hoefnagels *et al.* (2010); Cherubini (2010); (COSTA, 2004); Lopez; Steidler Neto, (2011); Germer e Sauerborn (2006), ao afirmar que, a mudança de uso do solo pode resultar em sequestro de carbono, caso a área a ser ocupada com plantio de palma de óleo, seja, em uma área degradada, ou, em terras que já tivessem desmatadas. Além disso, a manutenção da vegetação nativa (reserva legal) nas indústrias como parte do seu compromisso legal, fornece benefícios ambientais às empresas produtoras de óleo de palma na região amazônica (FRAZAO, 2012).

7. CONCLUSÕES

As emissões de GEE do impacto da mudança climática (CO₂eq) emitidos no processo produtivo de óleo de palma, foram totalmente compensados pelo sequestro potencial de carbono em plantios do dendê híbrido interespecífico. Além disso, resultou um adicional para sequestrar 109000 t de CO₂eq.

Nos 25 anos do ciclo produtivo o potencial do sequestro de carbono alcançou os 50,65 Mg C ha⁻¹. Sabendo que na Marborges Agroindústria, existem 2644,72 ha de plantio do dendê híbrido interespecíficos, o sequestro total resultou em 0,49 Mt CO₂.

Foram contabilizadas as emissões de gases de efeito estufa, no processo produtivo de óleo de palma, sendo 1602,10 kg de CO₂eq, por cada tonelada de óleo produzido, onde 74,89% foram pertencentes às emissões da etapa industrial, e 25,11% às emissões da etapa agrícola.

A manutenção da vegetação da reserva legal e o uso de áreas degradadas para a introdução novas plantações de HIE, fornecem benefícios ambientais para a agricultura comercial na Amazônia.

8. RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se que o valor de 1602,10 kg de CO₂eq por tonelada de óleo produzido na Marborges Agroindústria, poderia entrar no processo de etiquetado ou rotulagens do produto, desta maneira o produto ingressaria à diferenciação comercial, assim como na captação de novos mercados, trazendo consigo liderança e posicionamento junto a um alinhamento com a tendência mundial.

Recomenda-se o aproveitamento dos resíduos da fábrica para adubo orgânico e o manejo correto dos efluentes (maior emissor de GEE, em todo o processo de produção de óleo de palma). Uma alternativa do tratamento dos efluentes é como biogás. O aproveitamento do biogás²⁴ pode gerar energia elétrica para as operações da indústria, assim como o aquecimento do fornos e caldeiras de vapor.

Na avaliação de impactos ambientais, somente foi utilizado o impacto da mudança climática (kg de CO₂eq), não foram considerados as outras categorias tais como: o potencial de eutrofização aquática, toxicidade humana, salinização da terra e perda de biodiversidade. Recomenda-se, atingir as outras categorias de impacto de acordo à análise do estudo.

Para o aprimoramento desde trabalho, faz-se necessário uma ampliação do escopo de estudo, considerando-se as etapas de distribuição e uso do óleo, seja como alimentação ou como uso de combustível.

Finalmente, é preciso ressaltar a dificuldade encontrada durante a execução do estudo: i) com relação à demora para a coleta de dados na empresa produtora de palma de óleo na região. A sugestão, está orientada à antecipação na tomada de dados. A demora na coleta, influência nos custos de processamento, na análise da informação e na elaboração da dissertação.

²⁴ O biogás é produzido pela fermentação orgânica, *sim ar*. Conhecido como Digestão anaeróbio, o que transforma para o biogás e uma suspensão orgânica (usado como adubo orgânico).

REFERENCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT. Norma *NBR ISO 14040* – Gestão ambiental – avaliação do ciclo de vida – princípios e estrutura. São Paulo, SP, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT. Norma *NBR ISO 14040* – Gestão ambiental – avaliação do ciclo de vida – requisitos e orientações. Brasil, 2009b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE ÓLEO DE PALMA - ABRAPALMA. A palma no Brasil e no mundo 2015. Disponível em: <<http://www.abrapalma.org/pt/a-palma-no-brasil-e-no-mundo/>>. Acesso em: 24 dez. 2016.

ANUÁRIO DA AGRICULTURA BRASILEIRA - AGRIANUAL. Local: Editora FNP, 2006.

AHMED, Y.; YAAKOB, Z.; AKHTAR, P.; SOPIAN, K. Production of biogas and performance evaluation of existing treatment processes in palm oil mill effluent (POME). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 42, p. 1260–1278, 2015.

AHOLOUKPÈ, H.; DUBOS, B.; FLORI, A.; DELEPORTE, P.; AMADJI, G.; CHOTTE, J.L.; BLAVET, D. Estimating aboveground biomass of oil palm: Allometric equations for estimating frond biomass. *Forest Ecology and Management*, v. 292, p. 122–129, 2013.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS - ANDA. 2015. Disponível em: <<http://anda.org.br/index.php?ver=por>>. Acesso em: 23 dez. 2016.

ANDRÉ, C. D. S.; ELIAN, S. N. Coefficients of determinations for variable selection in the MSAE regression. *Communications in Statistics – Theory and Methods*, v. 1 n. 29, p. 623-642, 2000.

AGENCIA NACIONAL DO PETRÓLEO GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS - ANP. *Dados estatísticos*. 2016. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/dados-estatisticos>>. Acesso em: 29 dez. 2016.

ARTAXO, P.; GATTI, L. V.; LEAL, A. M. C.; LONGO, K. M.; FREITAS, S. R.; LARA, L. L.; PAULIQUEVIS, T. M.; PROCPÓPIO, A. S.; RIZZO, L. V. Química atmosférica na Amazônia: a floresta e as emissões de queimadas controlando a composição da atmosfera amazônica. *Acta Amazônica*, v. 35, n. 2, p. 185-196. 2005.

ASSAD, E. D.; MARTINS, S. C.; PINTO, H. S. Sustentabilidade no agronegócio brasileiro: coleção de estudos sobre diretrizes para uma economia verde no Brasil. 2012. Disponível em: <<http://fbds.org.br/fbds/IMG/pdf/doc-655.pdf>>. Acesso em: 12 dez. 2016.

BACHA, C. J. C. *Economia e política agrícola no Brasil*. ESALQ/ USP. Piracicaba, p. 215, 2013.

BAIRD, C.; RECIO, M. A.; CARRERA, L. C. Química ambiental. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, ISBN 0-7167- 3153-3, 2002. 622 p. .

BARCELOS, E.; NUNES C. D. M.; CUNHA, R. N. V. Melhoramento genético e produção de sementes comerciais de dendezeiro. In: VIEGAS, I. J.; MULLER A. A (eds.). *A cultura do dendezeiro na Amazônia Brasileira*. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, Manaus, AM, 2000. p. 145-174.

BARCELOS, E.; CHAILLARD, H.; NUNES, C.D.M.; MACEDO, J.L.V.; RODRIGUES, M. do R. L; CUNHA, R.N.V de; TAVARES, A.M; DANTAS, J.C.R.; BORGES, R. de S.; SANTOS, W.C. *A cultura do dendê*. Brasília, DF: EMBRAPA, 1995. (Coleção Plantar, n.32).

BARCELOS, E.; CUNHA, R. N. V.; NOUY, B. Recursos genéticos de dendê (*Elaeis guineensis*, Jacq. e *Elaeis oleifera* (Kunth), Cortés) disponíveis na Embrapa e sua utilização. In: MÜLLER, A. A.; FURLAN JÚNIOR, J. *Agronegócio do dendê: uma alternativa social, econômica e ambiental para o desenvolvimento sustentável da Amazônia*. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2001. v. 1, p. 131-143.

BARCELOS, E.; RODRIGUES, F. M.; MORALES, E. A. V. *Dendeicultura: alternativa para o desenvolvimento sustentável no Amazonas*. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 1999. 19 p. (Embrapa Amazônia Ocidental. Documentos, 7).

BASIRON, Y.; WENG, C. The oil palm and its sustainability. *Journal of Oil Palm Research*, v 16, n.1, p. 1-10, 2004.

BASTOS, T. X. Aspectos agroclimáticos do dendezeiro na Amazônia Oriental. In: VIEGAS, I. de M.; MÜLLER, A.A. *A cultura do dendezeiro na Amazônia*. Belém: Embrapa Amazônia Oriental/Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2000. p. 48-60.

SANTOS, Cleison Bastos dos. *Dendeicultura e comunidades camponesas da Amazônia paraense: uma análise do município de Moju*. [S.l.]: Editora Itacaiúnas, 2015.

BASTOS, T. X.; MÜLLER, A. A.; PACHECO, N. A.; SAMPAIO, S. M. N.; ASSAD, E. D.; MARQUES, A. F. S. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura do dendezeiro no estado do Pará. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 9, n.3, p.564-570, 2001.

BAUMANN, H.; TILLMAN, A. M. *The hitch hiker's guide to LCA: an orientation in life cycle assessment methodology and application*. Lund: Studentlitteratur, p. 543, 2004.

BECKER, B. K. *Recuperação de áreas desflorestadas na Amazônia: será pertinente o cultivo da palma de óleo (dendê)?* França: Confins. 2010.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL - BEN. 2015. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2015.pdf>. Acesso em: 28 dez. 2016

BENTES, E. D. S.; HOMMA, A. K. O. Importação e exportação de óleo e palmiste de dendezeiro no Brasil (2010-2015). *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*. Belém ou Manaus: Embrapa Amazônia Oriental, 2016. 34 p.

BENOIT, C.; MAZIIN, B. (ed.). *Guidelines for social life cycle assessment of products*. [S.I.], 2009. 104p.

BERGAMIN FILHO A. *et al.* Análise temporal do amarelecimento fatal do dendezeiro como ferramenta para elucidar sua etiologia. *Fitopatologia Brasileira*, v. 23, n 3, p 391-396. 1998.

BERGSMA, G.; VROONHOF, J.; DOMBURG, V. A Greenhouse Gas Calculation Methodology for Biomass-based Electricity, Heat and Fuels –The View of the Cramer Commission. Utrecht, 2006.

BOLIN, B.; SUKUMAR, R. Global perspective. In: Land use, Land-use change, and Forestry (eds Watson RT, Noble IR, Bolin B, Ravindranath NH, Verardo DJ, Dokken, DJ), Cambridge: Cambridge University Press, 2000.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura: plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono) / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Ministério do Desenvolvimento Agrário, coordenação da Casa Civil da Presidência da República. – Brasília: MAPA/ACS, 2012. 173 p. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/download.pdf>. Acesso em: 12 set. 2016.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Radam Brasil Projeto. *Folha AS.22*. Belém, 1974. (Levantamento de Recursos Naturais, v.5).

BRASIL. Plano Nacional sobre Mudança do Clima. Governo Federal comitê interministerial sobre mudança do clima. Sumário executivo. 2008. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/smcq_climaticas/_arquivos/sumrio_executivo_pnm c.pdf>. Acesso em: 12 set. 2016

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. *Lei N° 12.651*, de 25 de maio de 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/12651.htm>. Acesso em: 2 fev. 2016.

BRASIL. *Decreto N° 7.390* de 9 de dezembro 2010. Dispõe sobre a aprovação do Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida e dá outras providências. Conselho Nacional de Metrologia, Normalização, e Qualidade Industrial – CONMETRO, Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior – MDIC. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7390.htm>. Acesso em: 2 fev. 2016.

BREZING, D. Subproductos de la palma africana en plantas de beneficio primario. El tratamiento de efluentes. In MESA REDONDA SOBRE PALMA ACEITERA, 4, 1986, Valledupar, Colômbia. Memórias. Valledupar: FEDEPALMA / FAO, v 1, p. 151 – 160, 1986.

BRIANEZI, D.; GONÇALVES, L. A. L.; SOARES, C. P.; DA ROCHA, S. J. S. Balanço de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa no Campus da Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Florestal. 2014.

BRINKMANN, A. *Greenhouse gas emissions from palm oil production*. Literature review and proposals from the RSPO. Working Group on Greenhouse Gases available from Brinkmann Consultancy, 2009.

BRITO, M. A. *Como minimizar os impactos sobre a biodiversidade Amazônica: a experiência da agropalma*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS), 2007.

BUZZATTI, M. Elementos para uma Ação de Mitigação Nacionalmente Adequada (Nama) a Partir da Produção de Biodiesel de Óleo de Dendê pela Agricultura Familiar no Brasil, 212 f. Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2011.

CARVALHO, C. M. A expansão sustentável do cultivo da palma para a produção de biodiesel no Brasil: o caso do Estado do Pará, 117f. Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Planejamento Energético. COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2015.

CARVALHO, P. T. *Balanco de emissões de gases de efeito estufa de biodiesel produzido a partir de soja e dendê no Brasil*. 2012. 153 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

CASSOL, H. L. G.; MELO, L. C.; MENDES, F. S.; FONSECA, R.; SANQUETTA. Potencial de redução das emissões de CO₂ pela produção de biocombustíveis a partir de óleo de dendê na Amazônia Brasileira. *Floresta*, Curitiba, PR, v. 46, n. 1, p. 135 - 144, 2015.

CASTELO, M. *Diseño, puesta en marcha y monitoreo de reactores anaerobios escala laboratorio para el tratamiento de residuos orgánicos provenientes del mercado central de Tumbaco*. Quito: USFQ, 2012.

CEN. Comité Europeo de Normalización. Gestión Ambiental, Análisis del Ciclo de Vida, Principios y Marco de referència (ISO 14040-2006).

CEZARINI NETO, C. *Modelo de compensação de CO₂ para empresas poluidoras do ar: um estudo de caso no vale do Itapocu, região Norte de Santa Catarina*. 2002. 103f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

CHADWICK, R.; EIKEN, O. E. *Offshore CO₂ storage: sleipner natural gas field beneath the North Sea*. chapter 10. Disponível em <http://nora.nerc.ac.uk/508611/1/Sleipner_Chapter_V5_withFigs_singlespace.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2016. In: Gluyas, J. & Mathias, S. (Eds) Geological storage of carbon dioxide (CO₂)-Geoscience, technologies, environmental aspects and legal frameworks. Woodhead Publishing Ltd. ISBN 978-8-85709-427-8, p. 227-250, 2013.

CHERUBINI, F. GHG balances of bioenergy systems-overview of key steps in the production chain and methodological concerns. *Renewable Energy*, v. 35, p 1565-1573, 2010.

CHIN, M. J.; POH, P. E.; TEY, B. T.; CHAN, E. S.; CHIN, K. L. Biogas from palm oil mill effluent (POME): opportunities and challenges from Malaysia's perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 26, p. 717-726, 2013.

CHOO, Y. M.; MUHAMAD, H.; HASHIM, Z.; SUBRAMANIAM, V.; PUAH, CH. W.; TAN Y. A. Determination of GHG contributions by subsystems in the oil palm supply chain using the LCA approach. *Int. J. Life Cycle Assess.* 2011.

CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia: a análise de bacias hidrográficas*. 2. ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1980.

COLTRO, L.; GARCIA, E. E. C.; QUEIROZ, G. C. Life cycle inventory for electric energy system in Brazil. *International Journal of Life Cycle Assessment*, v.8, n. 5, p. 290-296, 2003.

CONIL, P.H. *La utilización de los sistemas U.A.S.B. para el tratamiento anaeróbico de las aguas residuales domesticas: un sistema innovador para reducir los costos de inversion y operacion en los países tropicales*. Colombia: Red Internacional BIOTEC, 1996.

CORLEY, R. H. V.; TINKER, P. B. *The oil palm*. 4th. [Hardcover]: Wiley-Blackwell, 2003. (World Agriculture Series).

COSTA, R. C. da. Potential for producing biofuel in the Amazon deforested area. *Biomass and Bioenergy*, v. 26, p. 405-415, 2004.

COSTA, R. E. *Inventário do ciclo de vida do biodiesel obtido a partir do óleo de palma para as condições do Brasil e da Colômbia*. 2007. 267f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG. 2007.

CRUZ, F. D. *Crescimento e estoque de carbono no dendzeiro híbrido interespecífico BRS Manicore em Função da idade, no nordeste Paraense, Amazônia Oriental*. 2012. 325f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2012.

CUNHA, R. N. V. da; LOPES, R. BRS Manicoré: híbrido interespecífico entre o caiaué e o dendzeiro africano recomendado para áreas de incidência de amarelecimento-fatal. *Comunicado Técnico*, Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, n. 85, p. 1-4, 2010.

CURRAN, M. A. *Life cycle assessment: principles and practice*. Reston: Scientific Applications International Corporation, 2006.

DEPARTMENT FOR ENVIRONMENT, FOOD AND RURAL AFFAIRS - DEFRA. *Guidelines to Defra/ DECC'S GHG Conversion factors for company reporting, produced by AEA for the Department of Energy and Climate Change (DECC), and the Department for Environment, Food and Rural Affairs*, 2012.

DEPARTMENT OF ENERGY, Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC). *Recent Greenhouse Gas Concentration*. April 2016. Disponível em: <http://cdiac.ornl.gov/pns/current_ghg.html>. Acesso em: 25 jul. 2016.

DURÃES F. O. M. Requerimento de PDβI na Agroindústria de Palma de Óleo no Brasil: O papel da Embrapa. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA AGROENERGIA-. “Palmas para o Dendê”. *Agroenergia em Revista*, ano 2, n. 2, p. 08-10, 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. RAMALHO F. A; FERREIRA da M.; FREITAS, P. L.; GERALDES, T.W. Zoneamento agroecológico. Produção e manejo para a cultura da palma de óleo na Amazônia. *Embrapa Solos*, Rio de Janeiro, 2010. 216p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006 ,306 p.

EPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Climate change (site). EPA, 2015. Disponível em: <<https://espanol.epa.gov/espanol/el-cambio-climatico-y-usted>>. Acesso em: 08 jul. 2016.

EUROPEAN COMMISSION: Joint Research Centre Of The (EC-JRC). International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook. General guide for Life Cycle Assessment – *Detailed guidance*. 2010a.

FAIRHURST, T. H.; MUTERT, E. Introduction to Oil Palma Production. *Better Crops International*, v.13, n.1, p.1-56, 1999.

FUNDAÇÃO AMAZÔNIA DE AMPARO A ESTUDOS E PESQUISAS DO PARÁ - FAPESPA. *Boletim Agropecuário do Estado do Pará 2015*. Secretaria do Desenvolvimento Agropecuário e da Pesca. Disponível em: <http://www.fapespa.pa.gov.br/sites/default/files/Boletim_Agropecuario_do_Estado_do_Para_2015.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2016.

FEARNSIDE, P. M. Salvar florestas tropicais como uma medida de mitigação do efeito estufa: o assunto que mais divide o movimento ambientalista. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 3., 2001, Manaus-AM. [Palestras...]. Manaus-AM: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) - Centro de Pesquisas Agroflorestais da Amazônia (CPAA), p. 193- 215, 2001.

FEARNSIDE, P. M. Brazil's Amazon forest in mitigating global warming: unresolved controversies. *Climate Policy*, v. 12, n.1, p. 70-81, 2012a.

FEARNSIDE, P. M. Pesquisa sobre conservação na Amazônia brasileira e a sua contribuição para a manutenção da biodiversidade e uso sustentável das florestas tropicais. In: VIEIRA, I. C. G.; JARDIM M. A. G.; ROCHA, E. J. P. da (eds.) *Amazônia em tempo: estudos climáticos e socioambientais*. Belém, Pará: Universidade Federal do Pará; Museu Paraense Emílio Goeldi; Embrapa Amazônia Oriental, p. 21-49, 2015.

FEARNSIDE, P. M. *Pesquisa sobre conservação na Amazônia 13: fontes de recursos para serviços ambientais*. Amazônia Real 2015. Disponível em: <http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/2015/Pesquisa_sobre_conserva%C3%A7%C3%A3o-13-Fontes_de_recursos.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2017.

FEARNSIDE, P. M. The theoretical battlefield: accounting for the climate benefits of maintaining Brazil's Amazon forest. *Carbon Management*, v. 3, n. 2, p. 145-148, 2012b.

FEARNSIDE, P. M. Deforestation in Brazilian Amazonia: history, rates, and consequences. *Conservation Biology*, v. 19, n. 3, p. 680-688, 2005.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia: Dinâmica, impactos e controle. *Acta Amazonica*, v. 36, n. 3, p. 395-400, 2006.

FERREIRA, W. D. A.; BOTELHO, S. M.; VILAR, R. R. L. Composição química dos subprodutos da agroindústria do dendê. Belém: CPATU/Palmasa, (Boletim de Pesquisa, 198), p 22, 1998.

FERREIRA, L. V.; VENTICINQUE, E.; ALMEIDA, S. O desmatamento na Amazônia e a importância das áreas protegidas. *Estudos Avançados*, v. 19, n. 53, p. 157-166, 2005.

FERREIRA, M. D. P.; COELHO, A. B. Desmatamento recente nos estados da Amazônia Legal: uma análise da contribuição dos preços agrícolas e das políticas governamentais. 2015. *Revista de Economia e Sociologia Rural, Brasília- RESR*, Piracicaba-SP, v. 53, n. 01, p. 93-108, 2015.

FRANZ, J. E.; MAO, M. K.; SIKORSKI, J. A. Glyphosate: A Unique Global Herbicide. *American Chemical Society*, Washington DC, p.653, 1997.

FRAZÃO, L. A. *Greenhouse gas emissions and soil carbon dynamics in the Brazilian oil palm production. University of São Paulo*. 94f. Tese Doutorado- Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”-2012.

FRAZÃO, L.A.; PAUSTIAN, K.; CERRI, C. E.; CERRI, C.C. “Soil carbon stocks and changes after oil palm introduction in the Brazilian Amazon”. *GCB Bioenergy*, doi: 10.1111/j.1757-1707.2012.01196.x, 2012.

FREITAS, P. L. de; TEIXEIRA, W. G. T. Produção e manejo sustentáveis para a cultura da palma de óleo (dendezeiro na Amazônia. *In: ZONEAMENTO agroecológico, produção e manejo para a cultura da palma de óleo na Amazônia*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, p. 73-215, 2010.

FURLAN JR., J. *Dendê: manejo e uso dos subprodutos e dos resíduos*. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2006. (Documentos 246).

GERMER, J. S. J. *Estimation of the impact of oil palm plantation establishment on greenhouse gas balance*. Institute of plant production and Agroecology in the tropics and subtropics. Germany: University of Hohenheim, 2006.

GERMER, J.; SAUERBORN, J. *Estimation of the impact of oil palm plantation establishment on greenhouse gas balance*. 2006. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/226075132_Estimation_of_the_impact_of_oil_palm_plantation_establishment_on_greenhouse_gas_balance>. Acesso em: 02 fev. 2017.

GERMER, J.; SAUERBORN, J. Estimation of the impact of oil palm plantation establishment on greenhouse gas balance. *Environment Development and Sustainability*, v. 10, p. 697–716, 2008.

GLASS, V. Expansão do dendê na Amazônia brasileira: elementos para uma análise dos impactos sobre a agricultura familiar no nordeste do Pará. Centro de Monitoramento de Agrocombustíveis. ONG Repórter Brasil, p. 15, 2013.

GOMES, J. R. Bases tecnológicas para a cultura da palma de óleo com ênfase na agricultura familiar. Belém, Embrapa Amazônia Oriental, p. 110, 2010.

GOMEZ J, R. A.; LOPEZ, R.; VIEIRA, R. N.; PINA, A. J. A.; SILVA, M. P.; RESENDE, M. D. V. Características vegetativas na fase juvenil de híbridos interespecífico de caiaué com dendezeiro. *Revista de Ciências Agrárias*. 2014.

GOODMAN, R. C.; PHILIPS, O. L.; TORRES, D. C.; FREITAS, L.; CORTESE, S. T.; MONTEAGUDO, A.; BAKER, T. R. Amazon palm biomass and allometry. *Forest Ecology and Management*, v. 310, p. 994 - 1004, 2013.

- GUINÉE, J.B.; HUPPES, G.; HEIJUNGS, R. Economic Allocation: Examples and Derived Decision Tree. *International Journal of Life Cycle Assessment*, v.9, n. 1, p.23-33, 2004.
- HARTLEY, C. W. S. *La palma de aceite*. México: CECSA, p 21. 1983.
- HARTLEY, C. W. S. *La palma de aceite*. 2 ed. México: Compañía Editorial Continental, 1986. 958 p.
- HENSON, I. E. The Malaysian national average oil palm: concept and evaluation. *Oil Palm Bulletin*, v. 14, p15-27. 2003.
- HIGUCHI, N. et al. Dinâmica e balance do carbono da vegetação primária da Amazônia central. *Revista Floresta*, Curitiba, v. 34, n. 3, p. 295-304, 2004.
- HOEFNAGELS, R.; SMEETS, E., FAAIJ, A. “Greenhouse gas footprints of different biofuel production systems”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 14, p.1661-1694, 2010.
- HOMMA, A. K. O. Amazônia: os avanços e os desafios da pesquisa agrícola. *Parcerias Estratégicas*, v.18, n. 36, p. 33-54, 2013b.
- HOMMA, A. K. O. Expansão agropecuária e desmatamento na Amazônia: Quais os caminhos. 2008. In: COELHO, A. B., TEIXEIRA, E. C. e BRAGA, M. J. (Eds.). Recursos Naturais e Crescimento Econômico. 1. ed. Viçosa, MG: [s.n.]. p. 125-176. 2008
- HOMMA, A. K. O. *A terceira Natureza da Amazônia 2016*. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/306380475_A_Terceira_Natureza_da_Amazonia>. Acesso em: 9 nov. 2016.
- HOMMA, A. K. O.; VIEIRA, I. C. G. Colóquio sobre dendezeiro: Prioridades de Pesquisas Econômicas, sociais e Ambientais na Amazônia. *Amazônia: Ciência & Desenvolvimento*. Belém, v. 8, n. 15, p. 79-90, 2012. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/102066>>. Acesso em: 22 nov. 2016.
- HOMMA, A. K.O; FURLAN JÚNIOR, J.; CARVALHO, R.A.; FERREIRA, C. A. P. Bases para uma política de desenvolvimento da cultura do dendezeiro na Amazônia. In: VIEGAS, I. de J. M., MÜLLER, A. A. (Ed.). *A cultura do dendezeiro na Amazônia Brasileira*. Belém: Embrapa Amazônia Oriental/Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2000. p.11-30.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. *Primeiros resultados definitivos do Censo 2010*. Disponível em: <<http://censo2010.ibge.gov.br/>> Acesso em: 06 ago. 2016.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. *Produção agrícola municipal*. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 12 set. 2016.
- IGWE, J.; ONYEBBANDO, C. A review of Palm Oil Mill Effluent (POME) Water Treatment. *Global Journal of Environmental Research*, v.1, n 2, p. 54-62. 2007.

INSTITUTO DE MANEJO E CERTIFICAÇÃO FLORESTAL E AGRÍCOLA-IMAFLORA. *Emissões de GEE do setor Agropecuário*. Documento de Análise. São Paulo: Observatório do Clima, p, 46. 2016.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO SOCIAL E AMBIENTAL DO PARÁ - IDESP; INSTITUTO DO HOMEM E MEIO AMBIENTE DA AMAZÔNIA - AMAZON. *Programa municípios verdes: diagnóstico da gestão ambiental dos municípios paraenses*. Belém, p. 53. 2013.

INDICADORES MUNDIAIS - INDEXMUNDI. *Óleo de palma Preço Mensal* - E.U. dólares por tonelada métrica. Disponível em: <<http://www.indexmundi.com/pt/pre%27os-de-mercado/?mercadoria=%C3%B3leo-de-palma>>. Acesso em: 22 dez. 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. *Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa* (1980 – 2015). Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>. Acesso em: 12 nov. 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. *Programa de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite* – PRODES. 2012. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital/prodesmunicipal.php>>. Acesso em: 8 abr. 2016.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 14040: *Environmental management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework*. Geneva: ISO copyright office, p.21, 2006.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE- IPCC. *Issues related to mitigation in the long-term context. Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [B. Metz, O. R. Davidson, P. R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge. 2007a. Disponível em. <<https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg3/ar4-wg3-chapter3.pdf>>. Acesso em: 25 jul. 2016.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. *The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2007. Disponível em: <<http://www.ipcc-wg1.unibe.ch/publications/wg1-ar4/ar4-wg1-chapter2.pdf>>. Acesso em: 24 jun. 2016.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC/ONU. *Relatório Novos Cenários Climáticos*. Divulgado em Paris em 02.2.2007. Versão em português, iniciativa Ecolatina. Disponível em: <<http://www.ecolatina.com.br/pdf/ipcc-completo.pdf>>. Acesso em: 22 nov. 2015

INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. *Climate Change 2007 - The Mitigation of Climate Change. Contribuição do grupo de trabalho III para o quarto relatório de avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima*. Cambridge University Press, New York / London, 851 p.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. *Intergovernmental panel on climate change. Guidelines for national greenhouse gas inventories*, 2006.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. 2014: Synthesis Report. *Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R. K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry (LULUCF)*- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Geneva 2003.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. 2001: *Synthesis report contribution of working group I, II, and III to the third assessment report of the IPCC* [Watson, R. T. and the Core Writing Team (eds.)]. Cambridge, United Kingdom/New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2001.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. 1997. *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories—Workbook* (Volume 2). J. Houghton et al., Disponível em: < <http://www.ipcc.ch>,>. Acesso em: 24 jun. 2016.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. “*IPCC Special Report: Land Use, Land-Use Change and Forestry*”. ISBN: 92-9169-114-3, 2000.

INTERNATIONAL PETROLEUM INDUSTRY ENVIRONMENTAL CONSERVATION ASSOCIATION - IPIECA. *Technology assessment in climate change mitigation: a workshop summary*. Londres: IPIECA, 1999.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO, 2006a. Environmental management Life cycle assessment — *Principles and framework*. ISO 14040. Geneva, Switzerland: ISO.

JACCOUD, D.; VILLELA, A. “*Observing opportunities and risks for the expansion of palm oil in the Brazilian Amazon*”. In: World Bioenergy Symposium, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2013.

JANZEN, H. H. Carbon cycling in earth systems—a soil science perspective. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 104, p. 399–417, 2004.

KEE, N S.; THAMBOO, S.; SOUZA, P. Nutrient contents of oil palms in Malaya. *The Malaysian Agricultural Journal*, Kuala-Lampur, v. 46, n. 3, p. 322-401, 1968.

KIVISTE, A. K. Mathematical functions of forest growth. *Growth*, v. 29, p. 233-238. 1988.

KIPERSTOK, A.; COELHO, A.; TORRES, E. A.; MEIRA, C. C.; BRADLEY, S. P.; ROSEN, M. *Prevenção da poluição*. Brasília, DF: SENAI/DN, p. 290. 2002.

KHALID, H., ZIN, Z. Z. AND ANDERSON, J. M. Quantification of oil palm biomass and nutrient value in mature plantation. I. Above-ground biomass. *J. Oil Palm Research* v 11, n, 1, p. 23-32. 1999.

KOPPEN, W. Versuch einer Klassifikation der Klimate, vorzugsweise nach ihren Beziehungen zur Pflansenwelt. *Geographische Zeitschrift*, Berlin, v.6, p. 593–611, 1918.

KULAY, L. A. *Uso da análise do ciclo de vida para a comparação do desempenho ambiental das rotas úmida e térmica de produção de fertilizantes fosfatados*. 2004. 338f. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

KULAY, L. A. *Análise de Ciclo de Vida em Processos Industriais: eAB-007*. São Paulo: EPUSP-EAD/PECE, 2008

LEVERMANN, R. A.; SOUZA, J. P. M. de. *Óleo de palma: o crescimento da indústria global*. Agroanalysis, fev. 2014. Disponível em: <<http://www.agroanalysis.com.br/2/2014/mercado-negocios/oleo-de-palma-o-crescimento-da-industria-global>>. Acesso em: 24 dez. 2016.

LEWIS K, A.; NEWBOLD M. J.; TZILIVAKIS J. - Developing an missions inventory from farm data. *Journal of Environmental Management*, v, 55, n 3, p. 183-197, 1999.

LOPEZ, D. C; STEIDEL NETO. Potential Crops for Biodiesel Production in Brazil: A Review. *World Journal of Agricultural Sciences*, v, 7 n, 2 p. 206-217, 2011.

LOPES, R. *et al.* Palmaceas. In: Albuquerque, A. C. S.; Silva, A. G. (Eds). *Agricultura tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas*. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, DF, v. 1. p. 767-786, 2008.

LOPES, R.; CUNHA, R. N. V.; RESENDE, M. D. V. Produção de cachos e parâmetros genéticos de híbridos de caiaué com dendezeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 47, n. 10, 2012 p. 1496-1503.

MA, A. N. Treatment of palm oil mill effluent. In: G. SINGH, K. H. LIM, T. LENG AND L. K. DAVID, (eds) *Oil palm and the environment: a Malaysian perspective*. Malaysian Oil Palm Growers' Council Kuala Lumpur, p.113-126.1999.

MACEDO, J. L. V.; ROCHA, A. C. P. N.; LIMA, S. M. V., et al. “*Sistema produtivo de dendê para a produção de biodiesel*”. In: CASTRO, A. M. G., LIMA, S. M. V., SILVA, J. F. V. (eds), *Complexo Agroindustrial de Biodiesel no Brasil: Competitividade das Cadeias Produtivas de Matérias-Primas*, 1 ed., capítulo 8, Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2010.

MAGNUSSON, W. E.; MOURÃO, G. Estatística sem matemática – a ligação entre as questões e as análises. *Editora Planta*, Londrina, Paraná, Brasil, p. 138, 2005.

MARZULLO, R. C. M. *Análise da ecoeficiência dos óleos vegetais oriundos da soja e da palma, visando a produção de biodiesel*. 303 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, USP, São Paulo, SP, Brasil, 2007.

MINISTÉRIO DE AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA. *Benefícios Ambientais da Produção e Do Uso do Biodiesel, 2014*. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/relatorio_biodiesel_p_web.pdf>. Acesso em: 06 ago. 2016.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA. “*Zoneamento Agrícola de Risco Climático*”. 2014. Disponível em:

<<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/riscos-seguro/gestao-riscos/zoneamento-agricola>>. Acesso em: 07 mar. 2017.

MARZULLO, R. C. M. *Análise da Ecoeficiência dos Óleos Vegetais Oriundos da Soja e da Palma, Visando a Produção de Biodiesel*. 303f. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, USP, São Paulo, SP, Brasil, 2007.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA - MCT. *Emissões de metano por fermentação entérica manejo de dejetos de animais*. (Segundo inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa – Relatório de Referência). Coordenação Geral de Mudanças Globais, Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasília, DF, Brasil, 120 p. 2010.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO - MCTI. *Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil*. 2010.

Ministério de Desenvolvimento Agrário - MDA. *Viabilidade de extração de óleo de dendê no Estado do Pará*. Texto para revisão e crítica. UFV, Viçosa-MG, 2007.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. “*MacroZEE da Amazônia Legal: Estratégias de Transição para a Sustentabilidade*”. Brasília, 2010.

MEDEIROS, G. A.; DANIEL, L. A. Responsabilidade Ambiental: neutralização do carbono gerado pelos alunos da Faculdade de Tecnologia de Indaiatuba – SP. *Revista Reverte*, Indaiatuba, n. 7, 2011. Disponível em: <<http://www.fatecid.com.br/reverte/index.php/revista/article/view/27/31>>. Acesso em: 01 ago. 2016

MEDEIROS, J. S.; SANO, E. Análise multitemporal de imagens digitais do Landsat TM na detecção de áreas afetadas por ataques de lagartas (Sibine fusca) na cultura de dendê (*Elais guineensis*). In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 5. Natal. *Anais*. São José dos Campos, INPE, 1988.

MICHELSEN, O. “Assessment of Land Use Impact on Biodiversity. Proposal of a new methodology exemplified with forestry operations in Norway”. *Int J LCA*, v. 13, n. 1, p. 22–31, 2007.

MORAES, V. H. F.; BASTOS, T. X. Viabilidade e limitações climáticas para as culturas permanentes e anuais com possibilidade de expansão na Amazônia brasileira. In: INSTITUTO DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO NORTE -IPEAN, Belém. 1972. p.68-122. (*Boletim Técnico*, 54).

MOREL, A. C.; SAATCHI, S. S.; MALHI, Y.; BERRY, N. J.; BANIN, L.; BURSLEM, D.; NILUS, R.; ONG, R. C. Estimating aboveground biomass in forest and oil palm plantation in Sabah, Malaysian Borneo using ALOS PALSAR data. *Forest Ecology and Management*, v. 262, p. 1786-1798, 2011.

MULLER, A. A.; ALVES, R. M. A Dendeicultura na Amazônia brasileira. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 44p (Documentos, 97). 1997.

MÜLLER, A. A.; FURLAN JÚNIOR, J.; CELESTINO FILHO, P. A. *Embrapa Amazônia Oriental e o agronegócio do dendê no Pará*. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2006. 67 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 257. Disponível em <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/394940/1/Doc257.pdf> >. Acesso em: 29 set. 2016.

MURDIYARSO, M.; NOORDWIJK, U. R.; WASRIN, T. P.; TOMICH, A. N. GILLISON. Environmental benefits and sustainable land-use options in the Jambi transect, Sumatra. *Journal of Vegetation Science*. p 429–438, 2002.

NASCIMENTO L. F. *Gestão ambiental e sustentabilidade*. Ministério da Educação MEC, Programa Nacional de Formação em Administração Pública -PNAP, 2012. Disponível em: http://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2012/09/Livrotexto_Gestao_Ambienta1_Sustentabilidade.pdf>. Acesso em: 5 fev. 2017.

NEMER, T. C.; JARDIM, F. C. da S. An assesment of diameter growth rate in a population of *Eschweilera odora* (Poepp.) Miers with dbh \geq 5cm in a logged tropical rainforest, Moju, state of Pará, Brazil. *Revista de Ciências Agrárias*, 41: 77-88 (in Portuguese, with abstract in English). 2004.

NETER, J.; WASSERMAN, W. Applied Linear Statistical Models – *Regression, Analysis of Variance, and Experimental Designs*. Richard D. Irwin, Inc., Homewood, Illinois, U. S. A, p. 842. 1974.

NGAN, M. A. A environmental management for the palm oil industry. *Palm oil Development* 30, Kuala Lumpur, Malaysian, p. 1-9.1997.

NOBRE, C.; SELLERS, P.; SHUKLA, J. Amazonian deforestation and regional climate change. *Journal of Climate*, v. 4, n. 10, p. 957-988, 1991.

NORDIN, L. Application of AIRSAR data to oil palm tree characterization. <http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/2002/sar/038.pdf>. 2002.

NIKANDER, S. *Greenhouse gas and energy intensity of product chain: case transport biofuel*. 122f. MSc Thesis, Helsinki University of Technology. Helsinki (Finland), May 2008.

OBSERVATORY MAUNA LOA. EARTH SYSTEM RESEARCH LABORATORY. Disponível em: <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/index.html>>. Acesso em: 06 mar. 2017.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO -ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO - OCDE-FAO. 2015 *Perspectivas Agrícolas no Brasil; Desafios da Agricultura Brasileira*. 2015-2024.

OFEFP-Office Fédéral de L'environnement, des Forêts et du Paysage, Bilan Écologique des Matériaux D'emballage. *Cahiers de l'environnement*, 24. Berne. 1984.

OLIVEIRA, N. M. e ROCHA, J. R. Desenvolvimento Socioeconômico de um País Periférico da America Latina- Brasil.- *Revista Acadêmica de Economia*. Em *Observatório de Economia Latino-americana*, n. 179. 2013. Disponível em:

<<http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/br/13/desenvolvimento-socioeconomico-brasil.html>>. Acesso em: 06 ago. 2016.

OLIVEIRA, R. D. S. J. *Análise Energética e Ambiental de Ciclo de vida do óleo na Colômbia*. 70 f. Dissertação para a obtenção do grau de mestre em Engenharia Mecânica, 2008.

PALM, C.A.; WOONER, P.L.; ALEGRE, J.; AREVALO, C. *Strategic information on changes in carbon stocks and land-use*, www.asb.cgiar.org/data/dataset; 1999.

PARDO, R.; ACEVEDO, H.; FREIRE, F. “*Inventário del Ciclo de Vida del Aceite de Palma de una planta en los Llanos Orientales Colombianos*”, Grupo de Investigación en Biocombustibles, Energía y Protección del Medio Ambiente Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá, Dpto. Ing. Mecânica. 2006.

PÉLLICO NETTO, S.; KAUANO, E. E.; CORAIOLA, M.; WEBER, S. H.; ERDELY, S. Estimativa do potencial de neutralização de dióxido de carbono no programa VIVAT Neutro carbono em Tijucas do Sul, Agudos do Sul e São José dos Pinhais, PR. *Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais*, v.6, n.2, p.293-306, 2008.

PERSOGLIA, S. CO₂ Geo Net and CGS Europe: The relevance of pilot and demo projects. CO₂ Geo Net Secretary General. COP 19. CMP 19- 2013.

PHUNTSHO, S.; SHON, H. K.; VIGNESWARAN, S.; KANDASAMY, J. Wastewater stabilization ponds (wsp) for wastewater treatment. *Water and wastewater treatment technologies*, v. II, 2009.

PRÉ-CONSULTANTS. SimaPro. Ecoinvent, versão 3.2.0 *Pré Consultants*, Amsterdã, 2016.

QUEIROZ, A. G. *Avaliação do ciclo de vida de biodiesel de dendê produzido na Amazônia*. 317f. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Para. Instituto de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos da Amazônia, 2011.

RAMALHO FILHO, A.; MOTTA, P. E. F. da. Zoneamento agroecológico para a cultura da palma de óleo (dendezeiro) nas áreas desmatadas da Amazônia legal. In: ZONEAMENTO agroecológico, produção e manejo para a cultura da palma de óleo na Amazônia. Rio de Janeiro: *Embrapa Solos*, p. 17-71. 2010.

RAMALHO FILHO et al. “Zoneamento Agroecológico, Produção e Manejo para a Cultura da Palma de Óleo na Amazônia”, 1ª ed. Ramalho Filho et al. (eds). ISBN 978-85-85864-34-7. *Embrapa Solos*, Rio de Janeiro, RJ, 2010.

RAMOS, E. J. A.; VEIGA, A. S.; FURLAN JR. “Potencial Produtivo de Híbridos Interespecíficos entre Dendezeiro e Caiuezeiro nas Condições do Nordeste Paraense”. *Embrapa Amazônia Oriental Documentos 247*. Belém, PA, Dezembro de 2006.

RAMSEUR, J. L. The Role of Offsets in a Greenhouse Gas Emissions Cap-and-Trade Program: Potential Benefits and Concerns. *CRS Report for Congress*, p. 39, 2008.

RANIERI, V. E. L. *Reservas Legais: Critérios para localização e aspectos de gestão*. 156f. Tese apresenta, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Engenharia (Hidráulica e Saneamento). 2004.

REIJNDERS, L. “Palm oil and the emission of carbon-based greenhouse gases”, ECDO, University of Amsterdam, *Nieuwe Achtergracht* 166, NL-1018 WV Amsterdam, The Netherlands. 2006.

REIJNDERS, L., AND M. A. J. HUIJBREGTS. Palm oil and the emission of carbon-based greenhouse gases. *Journal of Cleaner Production*, v. 16, p. 77–482. 2008

REIS, E. A. *Um estudo sobre modelos de informação para elaboração de inventários de ciclo de vida da base da cadeia industrial (ICVBCI)*, 209f. Dissertação. Curso de Ciência da Informação, Programa de Pós-Graduação em Ciência da Informação da Universidade de Brasília, Brasília 2008.

RENNER, R. M. *Seqüestro de Carbono e viabilização de novos reflorestamentos no Brasil*. 147f. Dissertação (Mestrado) em Ciências Florestais. Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2004.

REES, A. R. AND TINKER, P. B. H. Dry matter production and nutrient content of plantation oil palm in Nigeria. I. Growth and dry-matter production. *Plant Soil XIX*: 19-32. 1963.

RITTNER, H. *Óleo de Palma: tecnologia e utilização*. São Paulo, p. 311-320, 1996.

ROBERTSON, G. P.; GRACE, P. R. Greenhouse gas fluxes in tropical and temperate agriculture: the need for a full-cost accounting of global warming potentials. *Environment, Development and Sustainability*, Dordrecht, v. 6, n. 1, p. 51-63, 2004.

ROCHA, R. N. C. *Culturas Intercalares para Sustentabilidade da Produção de Dendê na Agricultura Familiar*. Viçosa, MG. Universidade Federal de Viçosa. 75f. 2007. (Tese de Doutorado).

RODRIGUES, T. O.; CALDEIRA -PIRES, A.; LUZ, S.; FRATE, C. A. GHG balance of crude palm oil for biodiesel production in the northern region of Brazil. *Renewable Energy*, v. 62, p. 516 - 521, 2014.

ROJAS, F. *El cultivo de la palma*. San José: EUNED. 1983. 54p.

SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R. *Metodologia para determinação de biomassa florestal*. In: SANQUETTA, R. C.; BALBINOT, R.; ZILIOOTTO, M. A. B. Fixação de Carbono: atualidades, projetos e pesquisa. Curitiba: UFPR/ Laboratório de Inventário Florestal: Instituto Ecoplan: PELD, p. 77- 94. 2004.

SANQUETTA, C. R.; PÉLLICO NETTO, S.; CORTE, A. P.; RODRIGUES, A. L.; BEHLING, A.; SANQUETTA, M. N. I. Quantifying biomass and carbon stocks in oil palm (*Elaeis guineensis* jacq.) in Northeastern Brazil. *Forest Science Department*, Federal University of Paraná, 900 Lothário Meissner Avenue, Curitiba, Paraná, Brazil. 2015.

SANTOS, A. M. *Análise do Potencial do Biodiesel de Dendê para a Geração Elétrica em Sistemas Isolados da Amazônia*. 238f. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2008.

SANTOS, L. M. M. *Avaliação ambiental de processos industriais*. Ouro Preto: ETOP, 2002.

SANTOS, R. S.S.; ROCHA, V. K. G.; SILVA, M. P.; CARDOSO, P. N. *O Híbrido interespecífico entre o dendezeiro e o Caiaue como agente de sustentabilidade da cadeia produtiva*. IV Simpósio de Estudos e Pesquisas em Ciências Ambientais na Amazônia. Belém-PA. 18 a 20/11. 2015.

SAMPAIO, G.; NOBRE, C.; COSTA, M. H.; SATYAMURTY, P.; SOARES-FILHO, B. S.; CARDOSO, M. F. Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion. *Geophysical Research Letters*, v. 34, p. 1-7, 2007.

SCHMIDT, J. “*Life cycle assessment of rapeseed oil and palm oil*”, 122 f. Ph.D. thesis, Part 3. Department of Development and Planning Aalborg University, Denmark. 2007.

SCHENCK, R. C. *LCA for Mere Mortals: a primer on environmental life cycle assessment*. [S.l], p. 99. 2000.

SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO – SEEG. 2014. *Total de emissões do setor selecionado no Brasil*. Disponível em: <<http://seeg.observatoriodoclima.eco.br/>>. Acesso em: 25 set. 2016.

SEO, E. S. M.; KULAY, L. A. Avaliação do ciclo de vida: Ferramenta gerencial para tomada de decisão. InterfaceHS. *Revista de gestão integrada em saúde do trabalho e meio ambiente*, 2006.

SHEEHAN, J.; CAMOBRECO, V.; DUFFIELD, J.; GRABOSKI, M.; SHAPOURI, H.- Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus- Final Report - May 1998 - Prepared by: *the National Renewable Energy laboratory*. 1617 Cole Boulevard. Golden, Colorado 80401-3393. A national laboratory of the U.S. Department of Energy. Disponível em: <<http://www.nrel.gov/docs/legosti/fy98/24089.pdf>>. Acesso: 2 jan. 2017.

SILVA, O. C.; STELLA, O.; VARKULYA, A.; COELHO, S. T. *Potencial de Mitigação de gases estufa pela indústria de óleo de palma visando a captação de recursos do mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL)*. Centro Nacional de Referência em Biomassa. CENBIO, Av. Prof. Luciano Gualberto 1289, Cidade Universitária, CEP 05508-900. 2003.

SILVA, G. A.; RIBEIRO, P. H.; KULAY, L. A. – *Avaliação do Desempenho Ambiental dos Fertilizantes Químicos no Brasil* – XVI Congresso Brasileiro de Engenharia Química. Setembro, Santos-SP, 2006.

SILVA, G. A.; KULAY, L. A. *Análise de Ciclo de Vida de Processos Industriais*. São Paulo: EPUSP/PECE, 2007. Apostila da disciplina do MBA em Gestão e Tecnologias Ambientais, AQ-12.

SILVA, G. A.; KULAY, L. A. Avaliação do Ciclo de Vida. In: VILELA JR., A.; DEMAJOROVIC, J. (Org.). *Modelos e ferramentas de Gestão Ambiental: Desafios e perspectivas para as organizações*. 2a ed. revista e ampliada. São Paulo: Editora Senac, p. 325-348, 2010.

SILVA, L G. T. *Diagnóstico agroambiental de propriedade rurais em áreas de fronteira agrícola do estado do Pará* – Moju. Relatório Final do Projeto. SECTAM/ Embrapa Amazônia Oriental. Belém, p. 32, 1999.

SILVA, O. C.; STELLA, O.; VARKULYA Jr., A.; COELHO, S.T. *Potencial de mitigação de gases estufa pela indústria de óleo de palma visando a captação de recursos do mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL)*. AGRENER 2000. Encontro de Energia no Meio Rural. 12 a 15 de setembro, Unicamp, Campinas, SP. 2000.

SITOMPUL, S. M. AND HAIRIAH, K. Biomass measurement of home garden. Proceedings of Workshop on LUCC and Greenhouse Gas Emissions, *Biophysical Data*, IPB, Bogor. 2000.

SOARES-FILHO, B.; MOUTINHO, P.; NEPSTAD, D.; ANDERSON, A.; RODRIGUES H.; GARCIA, R.; DIETZSCH, L.; MERRY, F.; BOWMAN, M.; HISSA, L.; SILVESTRI, R.; MARETTI, C. *Role of Brazilian Amazon protected areas in climate change mitigation Proceedings of the National Academy of Sciences*, p. 1-6. 2010.

SOARES-FILHO, B.; NEPSTAD, D.; CURRAN, CERQUEIRA, G.; GARCIA, R.; RAMOS, C VOLL, E.; MCDONALD, A.; LEFEBVRE, P.; SCHLESINGER, P.; MCGRATH, D. Cenários de desmatamento para a Amazônia. *Estudos Avançados*, v. 19, n. 54, p. 137-152. 2005.

SOARES, S. R.; SOUZA, D. M.; PEREIRA, S. W., “Avaliação do ciclo de vida no contexto da construção civil”. In: SATTER, Miguel Aloysio; RUTTKAY, Fernando Oscar (Eds), *Construção e Meio Ambiente*. Porto Alegre, ANTAC, Coletânea Habitar, v7, cap.4, p.97, 2006.

SOUZA, S. P.; PACCA, S.; ÁVILA, M. T.; BORGES, J. L. B. Greenhouse gas emissions and energy balance of palm oil biofuel. *Renewable Energy*, v. 35 p. 2552-2561, 2010.

SUDAM - SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DA AMAZÔNIA. *Legislação sobre a criação da Amazônia Legal*. 2010. Disponível em: <<http://www.sudam.gov.br/index.php/fno/58-acesso-a-informacao/86-legislacao-da-amazonia>>. Acesso em: 06/03/ 2017.

SURRE, C.; ZILLER, R. *La palmera de aceite*. Barcelona: Ed. Blume, p. 243, 1969.

SYAHRINUDIN. The potential of oil palm and forest plantations for carbon sequestration on degraded land in Indonesia. P. L. G. Vlek, M. Denich, C. Martius, C. Rodgers and N. V. D. Giesen, *Ecology and Development Series*, 28. Cuvillier Verlag, Göttingen, Germany. 2005.

TAYLOR, P. G. *et al.* Palm oil wastewater methane emissions and bioenergy potential”. *Nature Climate Change*, v. 4, p. 151–152, 2014.

THAMSIROJ, T.; MURPHY, J.D. The impact of the life cycle analysis methodology on whether biodiesel produced from residues can meet the EU sustainability criteria for biofuel facilities constructed after 2017. *Renewable Energy*, v. 36, p. 50-63, 2011.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J. R. “The Water Balance”. *Publications in Climatology*, New Jersey, Drexel Inst. of Technology, 1955.

TONI, L. R. M.; SANTANA, H.; ZAIA, D. A. M. Adsorção de glyphosate sobre solos e minerais. *Química Nova*, São Paulo, v.29, n.4, p.829-833, 2006.

TORRES, E. A. *Combustão pulsativa da casca do dendê*. 132 f. Dissertação – Escola Politécnica USP. 120p. São Paulo, 1990.

UNFCCC – UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE -. *Convenção sobre Mudança do Clima*. 2.ed. Brasília: MCT, p. 30.2001a.

UNFCCC – UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE - *Protocolo de Quioto*. 2. ed. Brasília: MCT, p. 34, 2001b.

USDA. UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. 2 ed. Washington: *Soil Survey Staff*, p. 871, 1999.

VARNERO, M. T. *Manual de Biogás*. Santiago de Chile: FAO. 2011.

VENTURIERI, A.; FERNANDES, W. R.; BOARI, A. J.; VASCONCELOS, M. A. Relação entre ocorrência do amarelecimento fatal do Dendezeiro (*Elaeis guineensis* jacq.) E variáveis ambientais no estado do Pará. *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal, Brasil, 25-30 abril, INPE, p. 523-530, 2009.

VENTURIERI, A.; MONTEIRO, M. A.; MENEZES, C. R. C. *Zoneamento Ecológico-Econômico da Zona Oeste do Estado do Pará*. Embrapa Amazônia Oriental. Diagnostico socioambiental. 2010.

VENTURIERI, A.; MOURÃO JR. M.; NASCIMENTO JR., J.; BOARI, A.; GOMES, R. A. “Áreas Prioritárias para a Expansão da Dendeicultura no Estado do Pará: uma Análise do Zondendê”. *Portal EcoDebate*. 2013.

VIANNA, F. C. *Análise de Ecoeficiência: Avaliação do Desempenho Econômico-Ambiental do Biodiesel e Petrodiesel*. 205f. Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do Título Mestre em Engenharia.- São Paulo – 2006.

VIEGAS, I. de J. M. *Crescimento de dendezeiro (Elaeis guineenses Jack.) Concentração, conteúdo e exportação de nutrientes nas diferentes partes das plantas com 2 a 8 anos de idade, cultivadas em latossolo amarelo distrófico*, Tailândia Para. 1993.

VIÉGAS, I. J. M.; MULLER, A. A. *A cultura do dendezeiro na Amazônia brasileira*. EMBRAPA Amazônia Oriental. Belém, PA, p. 374, 2000.

VIEIRA, IMA C. G.; TOLEDO, P. M. & ARAÚJO, R. *Dinâmicas produtivas, transformações no uso da terra e sustentabilidade na Amazônia*. In: SILFERT, N.; CARDOSO, M.; MAGALHÃES, V.; LASTRES H. (Org.). *Um Olhar Territorial para o desenvolvimento da Amazônia*. 1ª ed. Rio de Janeiro: BNDES, p. 370-395. 2014.

VILLELA, A. A. *A expansão da Palma na Amazônia oriental para fins energéticos*. 317f. Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Planejamento Energético. COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2014.

VILLELA, A. A. *O dendê como alternativa energética sustentável em áreas degradadas da Amazônia*. 175f. Dissertação de Mestrado em Planejamento Estratégico, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009.

VITTI, G. C. *Análises de resíduo orgânico líquido da Marborges Agroindústria S.A.* Departamento de solos e nutrição de plantas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2005.

WIJBRANS & VAN ZUTPHEN. *Environmental impact study for the combustion of palm fatty acid distillate in a power plant*. Zwolle (the Netherlands), May 2005.

WORLD RESOURCES INSTITUTE - WRI. Brasil. Greenhouse Gas Protocol. *Metodologia do GHG Protocol da Agricultura*. 2013.

WORLD WILDLIFE FUND - WWF. “*Deforestation, Forest degradation, Biodiversity loss and CO2 emissions in Riau*”, Sumatra, Indonesia. 2008.

YACOB, S.; M.A.; HASSAN, Y.; SHIRAI, M.; WAKISAKA, S.; SUBASH. Baseline study of methane emission from anaerobic ponds of palm oil mill effluent treatment. *Science of the Total Environment*, v. 366, p. 187 – 196, 2006.

YEOH, B. G. A Technical and Economic Analysis of Heat and Power Generation from Biomethanation of Palm Oil Mill Effluent, SIRIM Environment and Bioprocess Technology Centre, Malaysia. 2004.

YOKOYAMA, R. *Cultivar BRS Manicoré*. Apresentação realizada na 5ª Reunião Ordinária da Câmara Setorial da Palma de Óleo. Brasília, DF, 6 de novembro de 2011.

YU, CH. M. Seqüestro florestal de carbono no Brasil – dimensões políticas socioeconômicas e ecológicas. Tese (Doutorado em Meio ambiente e desenvolvimento). Universidade Federal do Paraná - Curitiba. 2004.

YUSOFF S.; HANSEN, S. B. Feasibility Study of Performing an Life Cycle Assessment on Crude Palm Oil Production in Malaysia”. *International Journal of Life Cycle Assessment*. Ecomed Publishers, Landsberg, v. 12 n, 1 p. 50-58, 2007.

ANEXO A- PAÍSES MEMBROS DO ANEXO 1

Austrália	Liechtenstein **
Austria	Lithuania
Belarus **	Luxembourg
Belgium	Malta
Bulgaria	Monaco **
Canada	Netherlands
Croatia **	New Zealand
Cyprus	Norway
Czech Republic **	Poland
Denmark	Portugal
Estonia	Romania
European Union	Russian Federation **
Finland	Slovakia **
France	Slovenia **
Germany	Spain
Greece	Sweden
Hungary	Switzerland
Iceland	Turkey **
Ireland	Ukraine **
Italy **	United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland
Japan	
Latvia	United States of America

** Parte para a qual há uma decisão específica da COP e / ou CMP

Fonte: UNFCCC (2001b).

**ANEXO B - CARACTERÍSTICAS DOS COMPONENTES QUÍMICOS
ENCONTRADOS NOS EFLUENTES DA MARBORGES AGROINDÚSTRIA S.A**

Componente do efluente	Quantidade	Unidade
Índice ph	4,2	
Densidade	1	g/ml
Matéria orgânica total (combustão)	37,4	g/l
Carbono total (orgânico e mineral)	20,778	g/l
Resíduo mineral total	6,94	g/l
Resíduo mineral insolúvel	0,38	g/l
Resíduo mineral solúvel	0,56	g/l
Nitrogênio total	1,54	g/l
Fósforo (P ₂ O ₅) total	0,31	g/l
Potássio (K ₂ O)	2,6	g/l
Cálcio (Ca)	0,64	g/l
Magnésio (Mg)	0,51	g/l
Enxofre (S)	0,33	g/l
Cobre (Cu) total	2	Ppm
Manganês (Mn) total	8	Ppm
Zinco (Zn) total	4	Ppm
Ferro (Fe) total	183	Ppm

Fonte: Vitti (2005).

**ANEXO C - FATORES DE EMISSÃO DE METANO POR FERMENTAÇÃO
ENTÉRICA POR CATEGORIAS DE ANIMAIS**

Categoria	Fator de emissão (kg CH ₄ /cabeça/ano)
Suínos	1
Asininos	10
Muares	10
Bubalinos	55
Caprinos	5
Equinos	18
Ovinos	5

Fonte: MCT (2010).

**ANEXO D - ANÁLISE DE MATERIAL ORGÂNICO AMOSTRA (CACHO
VAZIO) NA MARBORGES AGROINDÚSTRIA**

Determinações	Umidade natural	Base seca (100°C)
Ph em CaCl ₂ 0,01M	9,1	
Densidade	0,42 g/m ³	
Umidade total	72,52%	0%
Materia orgânica total (combustão)	24,39%	88,75%
Materia orgânica compostável	21,06%	76,64%
Carbono total (orgânico e mineral)	13,55%	49,31%
Carbono orgânico	11,70%	42,58%
Resíduo mineral total	3,09%	11,24%
Resíduo mineral insolúvel	0,27%	0,98%
Resíduo mineral solúvel	2,82%	10,26%
Nitrogênio total	0,35%	1,27%
Fósforo (P ₂ O ₅) Total	0,06%	0,22%
Potássio (K ₂ O)	1,39%	5,06%
Cálcio (Ca) total	0,18%	0,66%
Magnésio (Mg) total	0,08%	0,29%
Enxofre (S) total	0,13%	0,47%
Zinco (Zn) total	13mg/kg	47mg/kg
Ferro (Fe) total	710 mg/ kg	2584 mg/kg
Sódio (Na) total	209mg/ kg	761 mg/ kg

Fonte: Vitti (2005).

ANEXO E - PRODUÇÃO DE PETRÓLEO NO BRASIL NOS ANOS 2011 -2015
(M³)

Dados	2011	2012	2013	2014	2015
Janeiro	10.459.863	10.993.516	10.121.333	10.116.220	12.171.006
Fevereiro	9.179.919	10.166.701	8.980.299	9.302.576	10.823.538
Março	10.261.545	10.287.594	9.130.967	10.441.978	11.893.518
Abril	9.786.788	9.641.935	9.171.083	10.236.311	11.419.328
Mai	10.210.190	10.092.617	9.824.229	10.790.535	11.888.262
Junho	10.192.674	9.695.665	10.020.726	10.710.183	11.427.871
Julho	10.236.133	9.971.773	9.731.279	11.174.551	12.153.759
Agosto	10.113.736	9.877.331	9.911.445	11.465.498	12.552.588
Setembro	10.012.434	9.175.222	9.987.346	11.249.119	11.424.773
Outubro	10.373.449	9.912.636	10.245.379	11.794.528	11.860.458
Novembro	10.438.137	9.752.828	9.926.112	11.245.741	11.349.421
Dezembro	10.912.001	10.373.350	10.395.815	12.307.870	12.481.025
Total do ano	122.176.869	119.941.168	117.446.013	130.835.108	141.445.548

Fonte: ANP (2016).

ANEXO F - IMPORTAÇÃO DO PETRÓLEO NOS ANOS 2011-2015 (M³)

Meses	2011	2012	2013	2014	2015
Janeiro	1.023.328	1.502.685	1.698.150	1.571.409	346.853
Fevereiro	1.861.390	962.405	1.520.363	2.177.695	1.959.466
Março	1.867.903	1.369.699	1.696.639	1.103.638	1.379.518
Abril	2.164.833	2.020.591	1.828.552	1.791.903	933.809
Maiο	1.828.406	1.551.756	2.380.843	1.505.718	1.095.513
Junho	1.683.584	2.265.192	1.393.646	1.942.532	1.852.746
Julho	1.026.035	1.869.553	4.502.093	2.643.681	1.314.885
Agosto	1.416.876	679.917	992.555	1.577.758	1.256.353
Setembro	1.441.261	1.437.659	1.207.536	2.838.400	1.506.401
Outubro	1.931.387	567.240	3.060.027	1.482.235	3.242.332
Novembro	1.775.224	2.193.488	1.373.961	2.069.970	2.092.115
Dezembro	1.260.592	1.696.042	1.850.062	2.213.380	1.825.972
Total do Ano	19.280.820	18.116.226	23.504.427	22.918.320	18.805.964

Fonte: ANP (2016).

ANEXO G -EXPORTAÇÕES DO PETRÓLEO NOS ANOS 2011-2015 (M³)

Meses	2011	2012	2013	2014	2015
Janeiro	2.293.445	2.438.162	818.687	1.897.045	3.732.468
Fevereiro	3.146.518	2.632.471	1.717.737	1.467.415	2.765.310
Março	2.094.252	3.205.606	2.043.853	1.687.991	2.989.342
Abril	2.469.084	3.156.675	1.133.545	1.811.362	3.866.147
Mai	3.951.703	2.569.591	1.943.947	2.501.574	3.732.576
Junho	2.779.990	1.667.296	1.293.103	2.424.855	4.414.594
Julho	3.156.814	2.334.937	1.292.904	4.356.291	3.129.111
Agosto	3.689.322	4.001.876	1.879.213	2.581.866	4.032.913
Setembro	2.399.723	2.460.467	2.570.837	2.399.525	3.232.281
Outubro	2.750.126	1.283.883	1.647.705	2.496.707	3.955.529
Novembro	2.400.644	2.456.275	2.684.152	2.928.140	2.759.679
Dezembro	3.948.660	3.674.112	3.069.962	3.559.646	4.143.389
Total do Ano	35.080.281	31.881.351	22.095.645	30.112.417	42.753.341

Fonte: ANP (2016).

ANEXO H - PRODUÇÃO DE DERIVADOS DO PETRÓLEO 2015 (M³)

Dados	J-F-M	A- M-J	J- A-S	O- N-D	Total do ano
Asfalto	361867	449878	544376	457460	1813582
Coque	1146199	1263302	1277985	1271133	4958620
Gasolina	6078657	6363207	6291112	6598657	25331633
Gasolina de avião	23092	20238	22116	7040	72486
GLP	1867641	1825677	1900755	1827541	7421615
Lubrificante	155478	143045	174349	95165	568038
Nafta	1081000	1395809	1292350	839658	4608816
Óleo combustível	3654008	3820478	3533451	3176397	14184333
Óleo diesel	11442789	12653797	13049561	12278732	49424879
Outros energéticos	53278	140993	124675	44714	363660
Outros não energéticos	597455	746615	642214	698304	2684589
Parafina	30947	35245	41694	29047	136934
Querosene de aviação	1428969	1400320	1481203	1346367	5656859
Querosene Iluminante	2229	2380	1383	1404	7396
Solvente	95679	91901	91861	74580	354022

J-F-M: janeiro, Fevereiro, Março. A-M-J: abril, maio, junho. J-A-S: julho, agosto, setembro. O-N-D: outubro, novembro, dezembro.

Fonte: ANP (2016).