



**Universidade Federal do Tocantins
Campus Universitário de Gurupi
Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais**

THATYANA SANTIAGO MARTINS

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL E ENERGÉTICO
DA FASE AGRÍCOLA DA PRODUÇÃO DE CACHOS FRESCOS
DE DENDÊ NO ESTADO DO PARÁ**

**GURUPI - TO
2016**



**Universidade Federal do Tocantins
Campus Universitário de Gurupi
Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais**

THATYANA SANTIAGO MARTINS

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL E ENERGÉTICO
DA FASE AGRÍCOLA DA PRODUÇÃO DE CACHOS FRESCOS
DE DENDÊ NO ESTADO DO PARÁ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Universidade Federal do Tocantins como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo A. L. Erasmo

**GURUPI - TO
2016**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

M386a Martins, Thatyana Santiago .
 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL E ENERGÉTICO
 DA FASE AGRÍCOLA DA PRODUÇÃO DE CACHOS FRESCOS DE
 DENDÊ NO ESTADO DO PARA. / Thatyana Santiago Martins. –
 Gurupi, TO, 2016.
 58 f.

 Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do
 Tocantins – Câmpus Universitário de Gurupi - Curso de Pós-
 Graduação (Mestrado) em Ciências Florestais e Ambientais, 2016.

 Orientador: Eduardo Andrea Lemus Erasmo

 1. Avaliação do Ciclo de Vida. 2. Gestão ambiental. 3. Dendê. 4.
 Impacto ambiental. I. Título

CDD 628

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

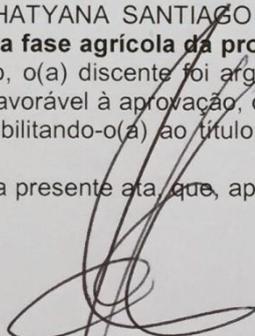


Defesa nº 027/2016

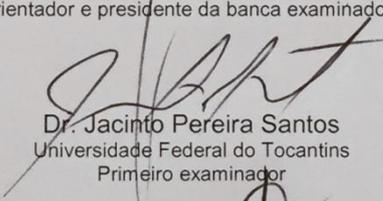
ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE Mestrado de THATYANA SANTIAGO MARTINS, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS E AMBIENTAIS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS.

Aos 23 dias do mês de agosto do ano de 2016, às 09:00 horas, na sala 15, do edifício BALA II, do Campus de Gurupi, da Universidade Federal do Tocantins - UFT, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Orientador Dr. EDUARDO ANDREA LEMUS ERASMO da Universidade Federal do Tocantins, Prof Dr JACINTO PEREIRA SANTOS da Universidade Federal do Tocantins e Prof Dr RENATO DE ALMEIDA SARMENTO da Universidade Federal do Tocantins, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE Mestrado de THATYANA SANTIAGO MARTINS, intitulada "**Avaliação do desempenho ambiental e energético da fase agrícola da produção de cachos frescos de dendê no estado do Pará**". Após a exposição, o(a) discente foi arguido(a) oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo parecer favorável à aprovação, com as devidas ressalvas e correções apontadas pela banca examinadora, habilitando-o(a) ao título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais.

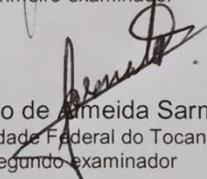
Nada mais havendo a tratar, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.



Dr. Eduardo Andrea Lemus Eraso
Universidade Federal do Tocantins
Orientador e presidente da banca examinadora

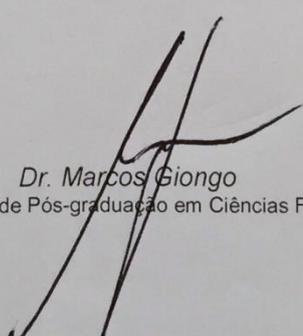


Dr. Jacinto Pereira Santos
Universidade Federal do Tocantins
Primeiro examinador



Dr. Renato de Almeida Sarmiento
Universidade Federal do Tocantins
Segundo examinador

Gurupi, 23 de agosto de 2016.



Dr. Marcos Giongo
Coordenador do Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais

AGRADECIMENTO

Agradeço ao meu Deus, que me capacitou, que me fortaleceu e me ajudou nos piores momentos.

Aos meus pais, Jaldo e Alaíde, pelo apoio incondicional e amor; ao meu irmão, por todas as brigas e risadas. Tenho certeza que sem o apoio de vocês eu não teria chegado até aqui. Eu realmente amo vocês.

À minha família, principalmente à tia Dri e ao tio Marcelo pelos conselhos que acalmaram minha alma; eu amo vocês.

Às minhas amigas, Ana e Nabila, por sempre acreditarem até quando eu não acreditei.

Aos amigos que o mestrado me deu, Douglas e Norma, vocês são maravilhosos e eu amo vocês.

Ao meu orientador Professor Eduardo pela confiança e investimento na minha vida, eu nunca vou esquecer de tudo que o senhor fez por mim e sou grata pela família Malerbologia.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e ambientais pela oportunidade e ao CAPES pelo apoio financeiro.

RESUMO

Com o salto no desenvolvimento advindo das Revoluções industriais do século passado, a necessidade de fontes energéticas que atendessem a esse desenvolvimento aumentou vertiginosamente; e os recursos de origens não-renováveis atenderam a essa indigência. Porém, com as crises do petróleo no final da década de 80, os governos perceberam a necessidade de diversificação de suas matrizes energéticas. No Brasil, o primeiro programa de produção de biocombustível tendo a biomassa como matéria-prima surgiu após a crise, mas com a recuperação do mercado petrolífero, o programa não se fortaleceu. No final do século passado, o impacto ambiental da exploração dos combustíveis de origem fóssil se tornou mais evidente; logo, acordos entre países foram firmados com a finalidade de reduzir as emissões de GEE. No ano de 2003, através de um decreto, foi criado o Programa Nacional de Produção de Biodiesel (PNPB), e em 2005 a Lei nº 11.097 tornou obrigatória a adição de biocombustível no diesel. Com o aumento da demanda de matéria-prima para a produção de biocombustíveis, as pesquisas com a finalidade de avaliar o ciclo de vida da produção da matéria-prima foram impulsionadas. Diante desse panorama, o objetivo desse trabalho foi avaliar o desempenho ambiental e energético da produção de cachos frescos de dendê no Estado do Pará, em relação aos plantios a Malásia, maior produtora mundial de dendê. A metodologia utilizada foi a Avaliação do Ciclo de Vida, normatizada pelas ISO da série 14 000. A etapa mais impactante da produção foi o preparo da área. Nas categorias de impacto, mudanças climáticas, eutrofização e acidificação, o plantio brasileiro foi menos impactante. Para o balanço energético, o Estado do Pará produziu 5 unidades de energia a menos que a Malásia, mas ainda assim, comparando a espécie com outras já utilizadas como matéria-prima para os biocombustíveis, é econômica e ambientalmente viável a produção de biodiesel à base de óleo de dendê.

Palavras-chave: Avaliação do Ciclo de Vida; Gestão ambiental; Dendê; Impacto ambiental; balanço energético

ABSTRACT

With the leap in development arising from the industrial revolutions of the past century, the need for energy sources that met this development has increased dramatically; and the non-renewable source of resources responded to this indigence. However, with the oil crisis in the late 80s, governments realized the need for diversifying their energy matrix. In Brazil, the first biofuel production program of biomass as raw material emerged after the crisis, but with the recovery of the oil market the program was not strengthened. At the end of the last century, the environmental impact of the exploitation of fossil fuels became more evident; therefore, agreements between countries were signed in order to reduce GHG emissions. In 2003, through a decree, the National Program for Biodiesel Production, PNPB was created, and in 2005, Law n.º 11.097 made the addition of biofuel in diesel a mandatory thing. With the increasing demand of raw material for biofuel production, researches in order to assess the life cycle of production of the raw material were driven. Before this background, the aim of this study was to evaluate the environmental performance and energy production of fresh palm bunches in the state of Pará, referring to plantations in Malaysia, world's largest producer of palm oil. The methodology used was the Life Cycle Assessment, standardized by the ISO series 14 000. The most striking stage of production was the preparation of the area. In the categories of impact, climate change, eutrophication and acidification, brazilian plantation was less impressive. For energy balance, the state of Pará produced 5 power units less than Malaysia, yet still comparing the species with others already used as a feedstock for biofuels, the production of palm oil based on biodiesel is economically and environmentally feasible.

Keywords: Life Cycle Assessment; Environmental management; palm oil; Environmental impact; Energetic balance

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
1.1	CULTURA DO DENDÊ NO MUNDO.....	15
1.2	DENDEICULTURA NO BRASIL.....	16
1.3	DENDÊ NO ESTADO DO PARÁ.....	17
1.4	ASPECTOS AGRÍCOLAS DO DENDEZEIRO.....	20
1.5	ÓLEO DE DENDÊ E O BIODIESEL: ASPECTOS SOCIAIS E AMBIENTAIS DO CICLO DE VIDA.....	24
1.6	AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA.....	25
1.7	REQUISITOS DE QUALIDADE DOS DADOS.....	27
1.8	AVALIAÇÃO DE IMPACTO DO CICLO DE VIDA.....	29
3	MATERIAL E MÉTODOS	30
3.1	DELIMITAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	30
3.1.1	<i>Pará</i>	30
3.2	SISTEMAS ANALISADOS.....	30
3.3	ESCOPO.....	31
3.4	INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA DO CACHO DE DENDÊ – PARÁ.....	32
3.4.1.1	<i>Construção do Inventário</i>	32
3.5	INTERPRETAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	37
3.5.1	<i>Avaliação de Impactos ambientais e balanço energético</i>	37
3.6	FERRAMENTA COMPUTACIONAL.....	39
3.6.1	<i>Suposições e limitações do estudo</i>	40
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1	AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS.....	41
4.1.1	<i>Comparação do plantio brasileiro com a Malásia</i>	45
4.2	CED.....	48
4.2.1	<i>Balanço Energético</i>	49
4.2.2	<i>Análise de Sensibilidade</i>	51
5	CONCLUSÃO	52
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: MAIORES PRODUTORES(T) NO PERÍODO DE 2011 A 2013	16
TABELA 2. MATRIZ PEDIGREE USADA PARA AVALIAR A QUALIDADE DA FONTE DOS DADOS DO INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA	27
TABELA 3. FATORES DE INCERTEZA BÁSICAS	28
TABELA 4. INSUMOS UTILIZADOS NA FASE DE PRÉ-VIVEIRO EQUIVALENTE A UM HECTARE DE CULTIVO.	32
TABELA 5. INSUMOS UTILIZADOS NA FASE DE VIVEIRO PARA O CULTIVO DE 1 HECTARE - 160 PLANTAS.	33
TABELA 6. DADOS REFERENTES AO PREPARO DA ÁREA DE PLANTIO DO DENDÊ E INSUMOS UTILIZADOS, EQUIVALENTE A UM HECTARE.	34
TABELA 7. DADOS DA COLHEITA DE CACHOS FRESCOS E AS EMISSÕES REFERENTES AO PROCESSO.	36
TABELA 8. CATEGORIAS DE IMPACTO AMBIENTAL RELACIONADAS A ESSE ESTUDO	38
TABELA 9. COMPARAÇÃO PARÁ E MALÁSIA PELO MÉTODO RECIPE E CED	45
TABELA 10. QUANTIDADE DE CADA COMPONENTE DO CACHO FRESCO E SEUS PODERES CALORÍFICOS.	49
TABELA 11. ENTRADAS E SAÍDAS DE ENERGIA DOS SISTEMAS	50
TABELA 12. COMPARAÇÃO DO BALANÇO ENERGÉTICO COM DEMAIS CULTURAS UTILIZADAS NA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS, MJ.HA-1.....	51

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 4: FASES DE UM ESTUDO DE ACV (FONTE: CETEA, 2002)	26
FIGURA 5. MAPA DA ÁREA DE ESTUDO.....	30
FIGURA 6. FLUXOGRAMA REFERENTE ÀS ENTRADAS E SAÍDAS DO SISTEMA.....	31
FIGURA 8. GRÁFICO REFERENTE À ANÁLISE DE CONTRIBUIÇÃO DE CADA ETAPA DA PRODUÇÃO DE CACHOS FRESCOS DE DENDÊ.....	41
FIGURA 9. ANÁLISE DAS ENTRADAS NA ETAPA PLANTIO	43
FIGURA 10. COMPARAÇÃO DOS PLANTIOS DO PARÁ E DA MALÁSIA. O COEFICIENTE DE VARIAÇÃO PARA OS DOIS PAÍSES FOI ESTIMADO UTILIZANDO A COMBINAÇÃO MATRIZ PEDIGREE COM A SIMULAÇÃO MONTE CARLO (10000 ITERAÇÕES; 95% DE CONFIANÇA).	46
FIGURA 12. CED POR FASES DE UMA TONELADA DE CF NO ESTADO DO PARÁ, EM MJ.	48

1 INTRODUÇÃO

Durante a evolução da humanidade, o homem sempre se considerou o centro do universo, utilizando dessa forma os recursos da terra de maneira desmedida. No século passado, durante as Revoluções Industriais, surgiu a necessidade de fontes energéticas que atendessem à demanda das indústrias; nesse cenário, a exploração de combustíveis fósseis foi um dos maiores fatores para o salto do desenvolvimento tecnológico do século XX, resultando em um modelo de economia que correlaciona o consumismo desenfreado ao desenvolvimento socioeconômico da nação (GOLDEMBERG & LUCON, 2007).

A utilização de combustíveis fósseis começou a ser relacionada com as mudanças climáticas no final do século XIX, quando o dióxido de carbono resultante da queima do combustível, os incêndios florestais e o desmatamento passaram a ser apontados como os maiores responsáveis pelo desequilíbrio ambiental causado pelo Efeito Estufa, pela poluição das grandes centros urbanos, chuva ácida, extinção de espécies da flora e da fauna, derretimento das calotas polares, entre outros problemas ambientais ligados de forma direta e indireta a liberação dos GEE (Gases de Efeito Estufa) (FERNANDES, 2009) (LEITE E LEAL, 2007).

Durante a década de 70, diante das duas crises do petróleo, os governos importadores, como o Brasil, viram-se obrigados a buscar alternativas para substituir o insumo fóssil. O resultado das crises foi o surgimento de vários programas de pesquisa com a finalidade de desenvolvimento de energias renováveis, de economia de energia, de uso da energia nuclear, do gás natural e do carvão mineral. Mas todo esse interesse decaiu, pois já na década de 80 o preço do barril de petróleo fica tão baixo que se torna economicamente inviável a permanência das outras fontes de energias no mercado (LEITE E LEAL, 2007).

Mas mesmo não representando uma fonte segura energética, os combustíveis fósseis ainda são o tipo de energia mais utilizado no mundo, de acordo com a ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás natural e Biocombustíveis). No ano de 2014, o Brasil ficou entre os cinco países que mais consumiram petróleo no mundo; seu consumo é de 3,2 milhões de barris/dia, o que corresponde a 3,5% do total mundial, ficando atrás apenas de países como os Estados Unidos, China e Japão (ANP, 2015). Com a descoberta do pré-sal, as reservas brasileiras cresceram

3,6%, e com esse acréscimo o Brasil ficou na 15ª posição no ranking mundial de reservas provadas de petróleo, com um volume de 16,2 bilhões de barris, reduzindo a sua necessidade de importação em 2,5%. No ano de 2014, as reservas mundiais estavam estimadas em torno de 1.7 trilhões de barris de petróleo, e o consumo, em diário aproximadamente 92,1 milhões de barris ao ano (RESENHA ENERGÉTICA BRASILEIRA, 2015).

Mas mesmo reduzindo a necessidade de importação, a dependência do Brasil em relação a fontes não-renováveis aumentou, indo de 59,6% para 60,6% de acordo com o último anuário da Resenha Energética brasileira de 2014. Isso significa que mais da metade da matriz energética brasileira depende exclusivamente de combustíveis de origem fóssil (RESENHA ENERGÉTICA BRASILEIRA, 2015) (ANP, 2015).

Porém, ainda que possua um alto grau de dependência – pois mais da metade da matriz energética brasileira está sujeita a inconstância das fontes de energia não-renováveis –, o país ainda se encontra em melhor posição em relação a outros países quando se trata de variabilidade de fontes energéticas, porque dentro dos 39,4% restantes da matriz energética, temos a energia gerada de forma hidráulica, lenha e carvão vegetal, biocombustíveis derivados da cana-de-açúcar e de outras espécies, além de outras fontes de energia pouco exploradas, como a energia eólica e a solar (RESENHA ENERGÉTICA BRASILEIRA, 2015).

Com a finalidade de aumentar a participação das fontes de energias renováveis na matriz energética, o governo implantou o Programa Nacional de Produção de Biodiesel, o PNPB, através de decreto no ano de 2003. Em 2004, foi aprovado o plano de trabalho que norteia as ações do programa e em 2005, através da Lei nº 11.097, tornou-se obrigatória a adição de biocombustível no diesel, sendo que os produtores tiveram 3 anos para se adequar às novas normas, pois a mistura de 2%, que era opcional, em 2008 se tornou obrigatória. Até o momento o programa passou por 6 fases de misturas, e desde 2014 a porcentagem está em 7%.

Foi aprovado pelo Senado no final de 2015 o PLS 613, de autoria da Comissão Nacional de Desenvolvimento Nacional, que prevê que a mistura obrigatória do combustível renovável ao óleo diesel comercializado aumente 1% por ano até atingir 10%. Ainda de acordo com esse projeto de lei, após 36 meses será permitido o início dos testes em motores com adição de 15% de biodiesel ao óleo diesel (MME, 2015) (ANP, 2015).

De acordo com Maranduba (2015), o crescimento da produção de biodiesel, principalmente no Brasil, tem como principal promotor as misturas (blendings) obrigatórias dos biocombustíveis aos combustíveis fósseis (etanol à gasolina e biodiesel ao diesel fóssil).

Uma dessas culturas é o dendê, também conhecido por palma-de-óleo ou palma (*Elaeis guineensis* Jacq.), que vem ganhando atenção por ser perene, com um ciclo de vida de 25 anos e produção de cachos contínua, rendendo até 5.950 litros de óleo por hectare, sendo dessa maneira superior a espécies tradicionalmente cultivadas para a produção de óleo como a Soja, que possui a produtividade de 446 L.ha⁻¹, Girassol com 952 L.ha⁻¹, Canola 1190 L.ha⁻¹, e mamona com 1413 L.ha⁻¹ (CHRISTI, 2007).

De acordo com dados da FedePalma (2007), o continente asiático detém os maiores produtores de óleo de palma, sendo eles a Malásia, Indonésia e a Tailândia, concentrando 80% da produção mundial.

Na Malásia, o dendê foi introduzido de forma ornamental pelos britânicos na década de 1870, sendo que seu potencial econômico foi explorado apenas na década de 1960, quando o governo malásio lançou um projeto para erradicar a pobreza através da diversificação agrícola. Atualmente, a área cultivada está em 5.642.943 hectares e prevê-se a expansão anual de 0,14 milhões de h/ano.

Contudo, existe uma crescente preocupação com os impactos ambientais resultantes da ascensão da cultura. Um dos principais é a conversão de áreas de floresta nativa em plantios da monocultura, liberando significativas quantias de GEE. Essa liberação pode ser relevada quando se trata de aumento na exportação e maiores produtividades, mas quando o óleo produzido tem como finalidade a produção de biocombustível, torna o produto politicamente incorreto do ponto de vista ambiental (GAN; LI, 2014) (MPOC, 2015) (HANSEN et al 2014).

De acordo com o Zoneamento Agroecológico realizado pela Embrapa Solos, as áreas aptas para implantação de plantios no Brasil são restritas, sendo hodiernamente o Estado do Pará o maior produtor nacional, com uma produtividade de 1.040.538t no ano de 2013 e correspondendo a aproximadamente 83% de toda a produção brasileira (FAPESPA, 2015).

Porém, diante da limitação de áreas aptas ao plantio, começam a surgir preocupações relacionadas com a forma como a monocultura continuará expandindo e como isso impactará os diferentes compartimentos ambientais;

preocupações essas relacionadas com a supressão de florestas nativas, o uso desmedido de insumos agrícolas e a mecanização da cultura, visando atingir alta produtividade. Essa preocupação é embasada no fato de que uma espécie, quando é selecionada como fonte de matéria prima para a produção de biodiesel, deve possuir uma relação favorável entre as entradas e saídas de energia durante as etapas de produção. Isso significa que a energia consumida ao longo da cadeia produtiva, em especial de combustíveis não-renováveis, deve ser menor que a energia contida na matéria-prima ou no biocombustível, sendo esse um problema que vem sendo alvo de pesquisas, pois já é de conhecimento notório que a fase de maior impacto da produção é a agrícola (DUTRA; ALMEIDA NETO, 2003) (FERNANDES, 2009).

Uma das ferramentas utilizadas por pesquisadores e empresas para avaliar o impacto de um produto ou fase do processo é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), também conhecida como Life Cycle Assessment (LCA), sendo normatizada pelas ISO 14040 e ISO 14044 (que fazem parte da família ISO 14000). Ela já vem sendo utilizada em diversos estudos com a finalidade de avaliar os impactos ambientais referentes a alternativas tecnológicas na produção de biocombustíveis. Essa metodologia é capaz de analisar a cadeia produtiva desde a extração da matéria prima até a destinação final de resíduos (MARANDUBA, 2013) (FERNANDES, 2009).

Tendo em vista a expansão dos plantios de dendê no Estado do Pará, este trabalho comparou o desempenho energético e ambiental da fase agrícola da produção de óleo de dendê no mencionado Estado, com a forma de plantio do maior produtor mundial de óleo de dendê, a Malásia, considerando o seu potencial como matéria-prima para o biodiesel.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 Cultura do dendê no mundo

O dendê é uma palmeira perene da família Arecaceae, também conhecida como Oil Palm, Palma de óleo, Palma e palma-de-guiné. Pode atingir até 20m de altura e na fase adulta pode possuir de 30 a 50 folhas, cada uma medindo de 5m a 8m. A folha é classificada como penada, composta por três partes: o pecíolo, a ráquis, e folíolos. As flores são pequenas e individuais, mas produzidas de forma densa, cada uma com três sépalas e três pétalas. O tempo de maturação do fruto é de 5 a 6 meses a partir da polinização até a colheita. A produção dos cachos é contínua; cada palmeira pode produzir de 12 a 14 cachos/ano, com peso de 20kg a 30kg e com 2000 a 2500 frutos (RAMALHO FILHO, 2010) (ANGARIATA, 2009) (SUMATHI, 2007).

Existem muitas formas de classificar as plantas de dendê, mas a mais importante é a que classifica levando em consideração a espessura do endocarpo do fruto, que pode ser de três tipos: Dura, com o endocarpo possuindo espessura superior a 2mm e fibras espalhadas pelo mesocarpo; Pisífera, não possuindo endocarpo, apenas um fino anel de fibras; Tenera, originada do cruzamento entre a Dura e a Pisífera, com a espessura do endocarpo menor que 2mm e com o anel de fibras.

Os maiores produtores de dendê, de acordo com a FAO (2014), são a Indonésia, Malásia, e Tailândia. No ano de 2005, o continente asiático produziu cerca de 80% de toda a produção mundial. O Brasil ocupa a 10ª posição no ranking de produtores, ficando atrás de países como a Colômbia, Equador, Honduras e Costa Rica.

Na América do Sul, a maior produtora é a Colômbia, onde a planta foi introduzida para fins ornamentais em 1932, sendo que em 1954 foi implantado o primeiro plantio comercial. O país possui uma extensa área apta para o plantio, aproximadamente 3,5 milhões de hectares, mas apenas 316.404 hectares deles são explorados com cultivo da palma (FEDEPALMA, 2007).

Tabela 1:Maiores produtores(t) no período de 2011 a 2013

Ranking	País	Produção	2011	2012	2013
1º	Indonésia	Produção (t)	105000000	113000000	120000000
2º	Malásia	Produção (t)	93815372	93265094	95728589
3º	Tailândia	Produção (t)	10776848	11358000	12812000
4º	Nigéria	Produção (t)	8000000	8100000	8000000
5º	Colômbia	Produção (t)	4613805	4670860	4991241
6º	Equador	Produção (t)	2097356	2649051	2316838
7º	Honduras	Produção (t)	1866912	1988723	2004000
8º	Costa do Marfim	Produção (t)	1636000	1838540	1743775
9º	Costa Rica	Produção (t)	1050000	1111250	1303950
10º	Brasil	Produção (t)	1301192	1240992	1246835

Fonte: FAOSTAT, 2014.

1.2 Dendeicultura no Brasil

É uma planta de origem africana que teve seu plantio iniciado no Brasil no século XVIII no estado da Bahia. Trazida pelos escravos, a palmeira não encontrou resistência para o seu desenvolvimento, já que a região baiana se assemelhava ao seu local de origem. Sendo levada posteriormente para a região Amazônica, mais precisamente para o estado do Pará, é uma espécie com um imenso potencial para a produção de óleo, podendo a produzir até 10 vezes mais que algumas espécies mais utilizadas (BASTOS, et al, 2001).

Existem vários gêneros de dendezeiros, mas o gênero *Elaeis* é o que detém maior valor econômico e a espécie africana *Guineensis* é a principal espécie utilizada na exploração agrícola (ANGARIATA, 2009). O exemplar americano do dendê é a espécie conhecida por caiaué (*Elaeis oleífera*), nativa da América Latina,

muito usada no melhoramento genético e que através do cruzamento com a espécie africana do mesmo gênero gera descendentes híbridos férteis e com resistência a pragas (CUNHA, et al).

No Brasil o dendê foi um grande responsável pelo desenvolvimento econômico da região sul da Bahia, sendo facilmente correlacionado com a culinária baiana, mas após a introdução da cultura no Pará na década de 1960, o Estado baiano perdeu o posto de maior produtor. Hoje o Estado do Pará produz cerca de 70% de toda a produção nacional. O tipo de planta utilizada nos plantios comerciais é a Tenera, que foi implantada através de sementes importadas da África, Ásia e América Central, já que as sementes que foram introduzidas pelos escravos foram as do tipo Dura, que possuem baixa produtividade de cachos (3 a 4 t/ha/ano) e baixa taxa de extração de óleo (8 a 9%) (CONAB, 2006) (EMBRAPA, 1995) (RAMALHO FILHO, 2010).

1.3 Dendê no estado do Pará

O dendê foi introduzido na região amazônica no ano de 1942 através de sementes vindas da Bahia, trazidas pelo técnico da Secção de Fomento Agrícola do Estado do Pará (Ministério da Agricultura). As mudas foram plantadas no Campo Agrícola Lira Castro.

Nos anos seguintes, o Estado paraense continuou a receber sementes de várias outras fontes, dando assim início às pesquisas para seleção de boa adaptabilidade às condições regionais.

O primeiro plantio comercial de dendê no Estado do Pará foi implantado no ano de 1968, no município de Benevides, no km 9 da rodovia PA-391. Em 1975, através de investimentos do governo, os agricultores que pertenciam à Cooperativa Agrícola Mista Paraense (Cooparaense) de Santa Izabel do Pará implantaram um plantio de 50.000 dendezeiros, abrangendo os municípios de Santa Izabel do Pará, Santo Antônio do Tauá, Benevides e Ananindeua (MULLER, 2006).

Do primeiro plantio comercial até o momento, a produção do fruto de dendê passou por uma grande evolução. Dados mostram que em 1989 a exportação foi de 5.221,5t de óleo bruto e com valor de US\$ 1.673.640,00. Já em 1998, menos de uma década após, a exportação de óleo foi de 26.172,6t no valor de US\$15.667.205,00 (BASTOS, et al., 2001).

Dados do IBGE dos anos de 2000 a 2012 mostram que as áreas plantadas, as áreas colhidas, as toneladas por hectare e o lucro obtido da produção praticamente dobraram nesse período (SAGRI/GEEMA, 2012), vide tabelas abaixo:

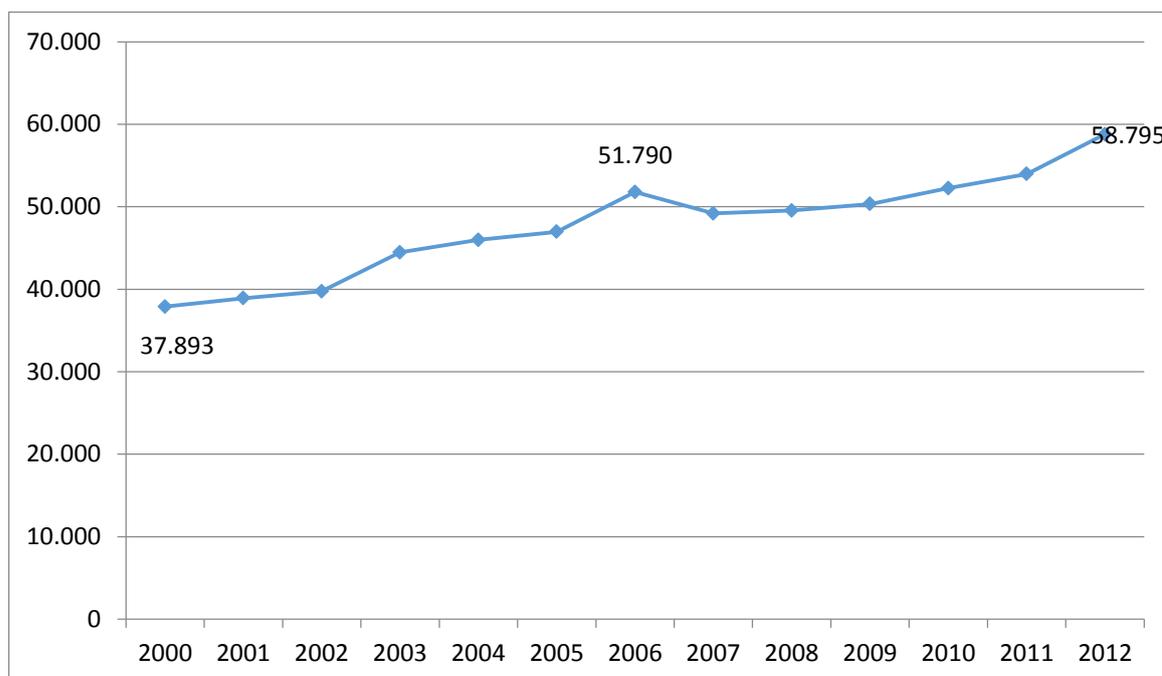


Gráfico 1: Área plantada (ha) no estado do Pará dos anos de 2000 a 2012 (Fonte: SAGRI/GEEMA, 2012)

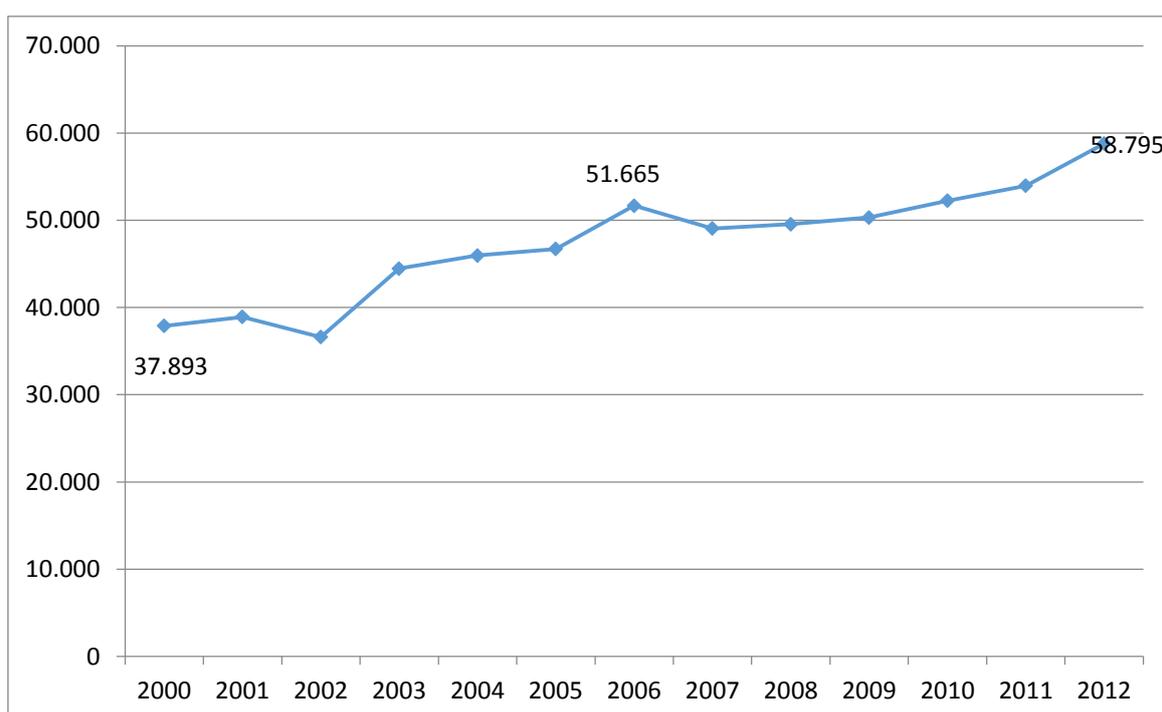


Gráfico 2: Área colhida (ha) no estado do Pará no período de 2000 a 2012 (Fonte: SAGRI/GEEMA, 2012)

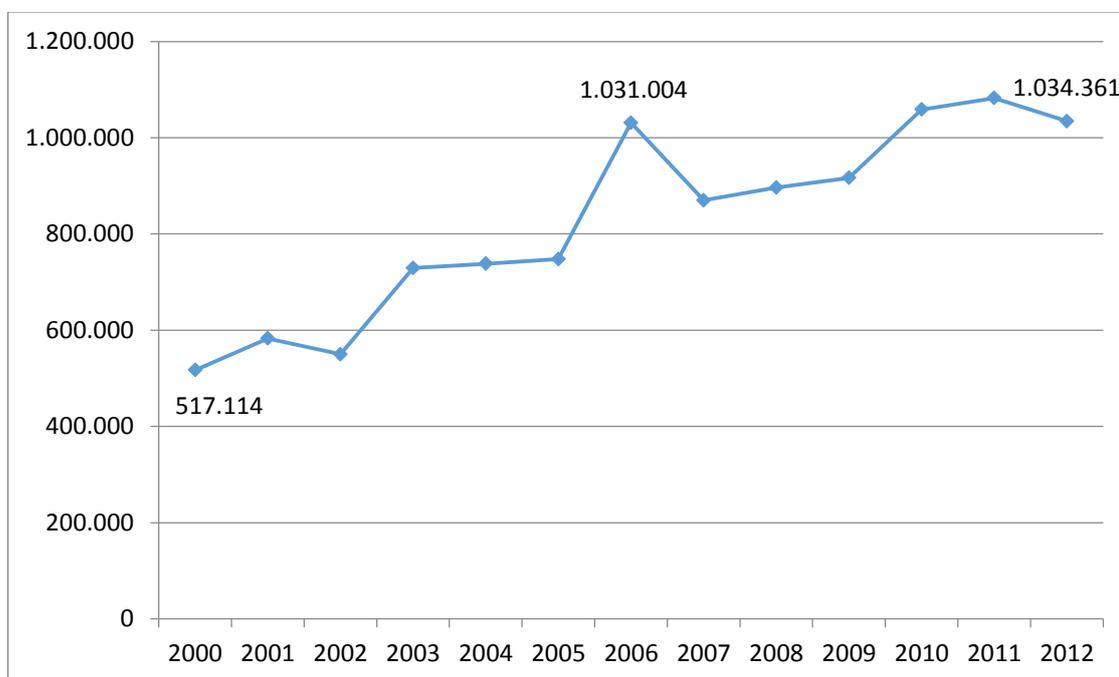


Gráfico 3: Quantidade produzida (t) no estado do Pará no período de 2000 a 2012. (Fonte: SAGRI/GEEMA, 2012)

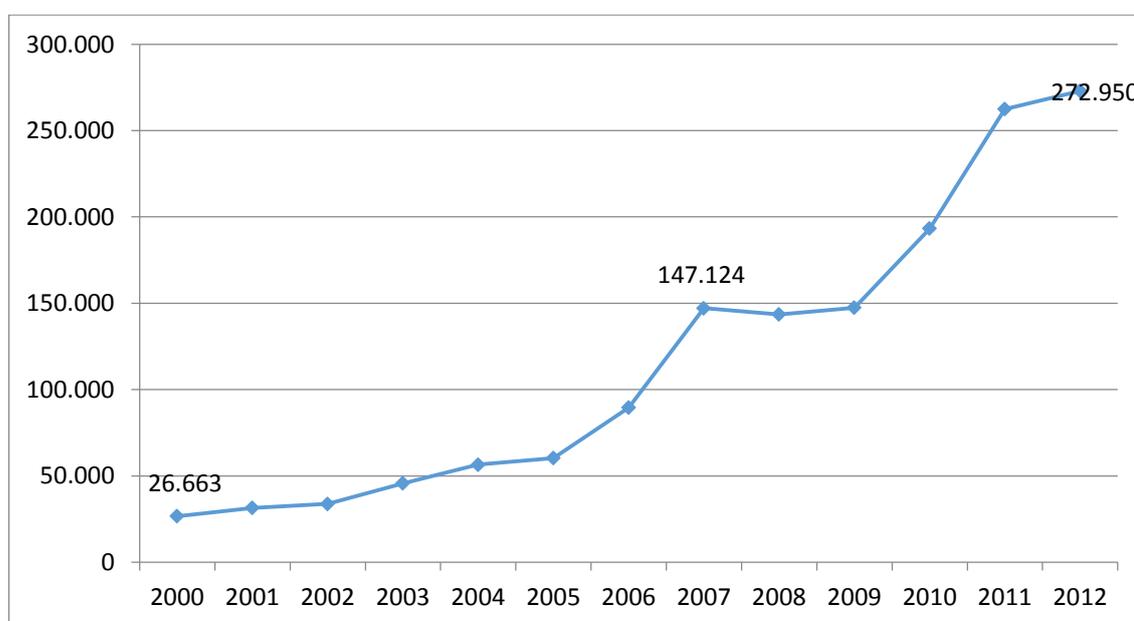


Gráfico 4: Valor da produção (mil reais) no estado do Pará, no período de 2000 a 2012 (Fonte: SAGRI/GEEMA, 2012)

Nota-se que ocorreu um grande crescimento na área plantada na primeira metade do período. Isso está relacionado com os incentivos por parte do governo através do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), criado no ano de 2004, e com a lei que o regulamentava, sancionada no ano de 2005 (Lei nº 11.097, que dispõe sobre a Introdução do biodiesel na matriz energética brasileira). Já na segunda metade do período não ocorreu nenhum grande crescimento, mas também não houve quedas (MME, 2015) (BRASIL, 2005).

Na região norte do Brasil, a produção do dendê possui uma grande importância, estando associada à alta produtividade do óleo e a várias possibilidades de utilização e comercialização, já que o uso do óleo vai desde a culinária, indústria de cosméticos, indústria farmacêutica e produção de biocombustíveis; além das vantagens ambientais, uma vez que ele possui uma alta capacidade de fixação de carbono, proteção do solo contra erosão e uma alternativa a ocupação de áreas desmatadas; e também o lado social, sendo fonte de emprego e renda para pequenos produtores (BASTOS et al, 2001).

1.4 Aspectos agrícolas do dendezeiro

O dendê possui um ciclo de vida perene, e uma vida econômica útil de 25 anos, não existindo entressafras, pois a produção dos cachos frescos ocorre durante o ano todo. Dentre as oleaginosas plantadas comercialmente, é a que apresenta maior rendimento em óleo, chegando a 4 a 6 toneladas por hectare.

A fase agrícola pode ser dividida em duas etapas: pré-plantio, no qual as etapas de obtenção das sementes, pré-viveiro, viveiro estão contidas; e plantio, que corresponde ao preparo da área, tratamentos culturais e colheita. Uma boa condução das fases poderá garantir bons rendimentos na produção dos cachos e do óleo (FERNANDES, 2009). É a fase inicial do processo, que vai da obtenção das sementes pré-germinadas, fornecidas por empresas nacionais ou importadas, até as mudas prontas para o plantio (FERNANDES, 2009).

Na fase de pré-viveiro, as sementes passam pela primeira fase do seu desenvolvimento e permanecem de três a quatro meses, até as mudas possuírem de quatro a cinco folhas lanceoladas. A estrutura do pré-viveiro é simples, coberta por palha ou por sombrite, mas deve ser livre de ventos fortes, inundações e com disponibilidade de água (RAMALHO FILHO, 2010).

Na forma tradicional de produção, os materiais utilizados nessa fase são sacos de polietileno de 10 cm x 20 cm x 5 mm (espessura), escuro. O substrato mais utilizado é o terriço de mata, tendo como principal trato cultural a capina manual, mas a utilização de tubetes grandes de plástico rígido é uma tendência na cultura, porque esse recipiente confere às mudas satisfatória formação do sistema radicular, rápido crescimento inicial, menor consumo de substrato e área, maior número de mudas por unidade de área, possibilidade de reciclagem e facilidades operacionais como peso, transporte e transplante das mudas. A única desvantagem apresentada na utilização dos tubetes seria a necessidade de adubação, já que em decorrência das necessidades diárias de irrigação (devido ao fato de o recipiente apresentar dimensões pequenas e pouco substrato), os nutrientes são facilmente lixiviados, por isso é recomendada a utilização de adubos de liberação lenta e contínua (RAMALHO FILHO, 2010).

Durante a fase de viveiro, os sacos de polietileno devem ter as dimensões de 40 cm x 40 cm x 20 mm. Nesta fase há entrada de fertilizantes, sendo aplicados 3kg de uréia, 4kg de superfosfato triplo, 1kg de cloreto de potássio e 2kg de sulfato de magnésio, seguindo-se as dosagens recomendadas de acordo com a idade das mudas (FERNANDES, 2009).

A fase de plantio compreende também as etapas de preparo da área, tratos culturais e colheita. A preparação da área varia de acordo com a vegetação existente e a topografia. O espaçamento mais adotado é de nove metros, em triângulo equilátero, assim as linhas de plantio distanciam-se em 7,80 metros. Utilizando esse espaçamento, o número de plantas por hectare será de 143 indivíduos. O piqueteamento dentro das linhas é feito de nove em nove metros e após esse procedimento é indicado o semeio da cobertura verde, que vai suprir a necessidade de adubação nitrogenada da espécie, sendo uma forma de reduzir gastos e mitigar os impactos ambientais da adubação nitrogenada, uma vez que é de conhecimento notório que essa fase é uma das mais impactantes de toda a fase agrícola do dendê. As espécies mais indicadas são as *Pueraria phaseoloides*, *Centrosema pubescens* e o *Calopogonium mucunoides*. O plantio é recomendado nas épocas chuvosas, que na região Amazônica compreendem os meses de janeiro a maio (MÜLLER, 1980) (FERNANDES, 2009).

Os tratos culturais têm por finalidade garantir um bom desenvolvimento das palmeiras e consistem basicamente em replantio, coroamento, despalma, rebaixo da cobertura viva, adubação, controle sanitário e preparação para colheita.

A colheita é realizada apenas manualmente, utilizando cinzel, machado ou foice malasiana. A escolha da ferramenta é feita de acordo com a idade da planta e os frutos são colhidos quando há maturação. A organização da colheita e transporte dos cachos garantirão uma boa qualidade do óleo, já que um dos fatores que influenciam diretamente na qualidade do óleo é o tempo entre a colheita e o transporte até a usina, em razão dos óleos graxos, um elemento indesejado que começa a ser liberado após a colheita. Por isso, os cachos devem ser transportados de em 24 a no máximo 48 horas (MULLER, 1980) (COSTA, 2007).

A forma de transporte dos frutos do campo para a usina ainda é variada, mas a tradicional é o transporte no lombo de animais nas entrelinhas do plantio até as carretas ou caminhões. Contudo, esse modelo vem sendo substituído por carretas que levam os cachos diretamente do campo para a fase de esterilização (FERNANDES, 2009).

O primeiro momento da fase do processamento nas usinas é a recepção e armazenamento dos cachos, que ao chegarem do campo são descarregados nas rampas de recepção e ali permanecem até a próxima etapa. Após isso, inicia-se a fase de esterilização, que é considerada umas das principais e mais importantes fases do processamento, feita pelo cozimento em que normalmente se usa água quente ou esterilização por vapor pressurizado (FERNANDES, 2009).

Esse procedimento usa o tratamento térmico para destruir as enzimas que degradam o óleo, evitar a oxidação, ajudar na solidificação das proteínas (fazendo com que as células oleaginosas se unam e fluam com maior facilidade durante a prensagem) e na hidrólise de gomas e resinas removidas durante as etapas seguintes do processo. Ademais, este procedimento facilita a debulhação dos cachos, pois umedece a haste e amacia a polpa do fruto, o que torna o processo de digestão menos trabalhoso; e facilita a separação da noz do palmiste, pois a noz contrai e se dilata por causa da umidade.

Mesmo apresentando tantos benefícios, o processo feito de forma errada e em excesso pode aumentar o risco de oxidação e causar descoloração da noz do dendê, fazendo com que o seu valor proteico diminua e tenha sua capacidade de branqueamento prejudicada (FAO, 2008) (MULLER, 1980) (COSTA, 2007).

A digestão é o processo em que entram apenas os frutos e consiste em macerar os frutos sob um vapor aquecido. O digestor é basicamente um cilindro aquecido por vapor, contendo um eixo central rotativo no qual estão presos braços metálicos, que em rotação vão batendo nos frutos. Para facilitar o processo, acrescenta-se certa quantidade de água quente (80° C). A ação do calor reduz a viscosidade do óleo, rompendo o exocarpo dos frutos, e completa o rompimento das células oleíferas e a liberação do óleo que se iniciou durante o processo de esterilização (FAO, 2008). A massa que sai do digestor vai para as pressas (geralmente são utilizadas as do tipo contínuas de parafuso ou tipo expeller), iniciando o processo de prensagem e decantação. A prensa extrai uma combinação de óleo, água e sólidos suspensos oriundos das fibras e das nozes. O óleo vai para uma peneira vibrante, depois um hidrociclone e para a decantação no qual ocorre a remoção de sólidos e água. Nessa fase as nozes e as fibras são os primeiros co-produtos (PLEANJAI et al., 2004).

A fase final do processo é a secagem, na qual o óleo é seco em centrífugas ou secadores a vácuo antes de ser estocado em tanques, que na maioria das vezes são mantidos aquecidos a 60° C (PLEANJAI et al., 2004).

O rendimento da extração do óleo é definido como a relação entre o óleo bruto extraído e a massa dos cachos processados. Esse rendimento final varia de acordo com a qualidade genética da planta cultivada, com o manejo da cultura, e por último, com a fase de extração; sendo que não se deve esperar altos níveis de produtividade se esses três fatores não estão em acordo com as recomendações para o plantio (FAO, 2008).

Os resíduos do processo de extração do óleo, principal produto do dendê, podem ser completamente aproveitados como fonte de energia, ocorrendo assim uma redução nos custos de produção. Em várias empresas as fibras são utilizadas na geração de vapor e eletricidade. Na Tailândia, existem fábricas que geram aproximadamente 97,6% do total de eletricidade consumida nas suas instalações. Com relação ao reaproveitamento no setor agrícola, os resíduos podem ser incorporados ao solo, atuando como fonte de nutrientes, melhorando as características do solo e dessa forma reduzindo os custos com aquisição de insumos agrícolas. (PLEANJAI et al., 2004).

1.5 Óleo de dendê e o Biodiesel: aspectos sociais e ambientais do ciclo de vida

A produção e utilização do biodiesel como combustível renovável tem uma importância econômica e social, e dependendo da produção da matéria-prima, principalmente no que se refere à sua fase agrícola, podem substituir o diesel e reduzir impactos ambientais provocados nos processos de extração, produção e uso de combustíveis fósseis (FERNANDES, 2009).

No Brasil, a produção de biocombustíveis se fortaleceu com o lançamento do Programa Nacional de Uso e Produção do Biodiesel (PNPB), lançado em dezembro de 2004. Logo no ano seguinte, a lei que regulamenta a produção foi sancionada pela presidenta Dilma Rousseff. Após uma década do lançamento do programa, a porcentagem de biodiesel passou de 2% para 7% (MDA, 2015).

Por se tratar de um país com grandes extensões de terra aptas para cultivo e também em razão dos incentivos por parte do governo, o plantio de oleaginosas tem se voltado para a área energética. Mesmo com produção sendo limitada à Bahia e ao Pará, o dendê é a espécie com maior produtividade por hectare, sendo de 10 a 12 mais produtiva que a soja (FERNANDES, 2009) (BASTOS, et al., 2001).

Assim como toda monocultura cultivada, existem vantagens e desvantagens na área ambiental e social. Na área ambiental é observada a questão do modelo de produção adotado. Mesmo ocorrendo certa recuperação da área, a fauna e flora nativa daquela região são diretamente impactadas com a implantação e exploração da cultura. Não é apenas a forma de cultivo, mas também a utilização de insumos agrícolas originados de combustíveis fósseis, de adubos químicos solúveis que contaminam a água e alteram a estrutura do solo.

Os maiores produtores de cacho fresco estão em destaque quando se trata do desmatamento de áreas de florestas nativas para a implantação de dendê. Países como a Malásia tiveram 86% de todo o desmatamento ocorrido de 1995 a 2000 relacionado com o dendê. Já a Indonésia passou a ocupar o primeiro lugar em produção mundial justamente pela retirada da vegetação nativa para a implantação da palma (FERNANDES, 2009) (ANGARIATA, 2009).

De acordo com Fernandes (2009), um biocombustível só será competitivo em relação aos combustíveis fósseis se a produção da matéria-prima utilizada

estiver sendo feita de forma adequada. Para se afirmar essa vantagem, é necessária uma avaliação energética e ambiental da cadeia de produção, analisando os sistemas de cultivo, as técnicas de manejo e outros aspectos associados à produção. Uma metodologia que vem sendo adotada para realizar esse tipo estudo é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), que consiste em uma ferramenta de gestão ambiental que monitora a cadeia de produção de um determinado produto desde a extração da matéria-prima até o seu uso final, entrando também as etapas de reuso, reciclagem e descarte final dos resíduos.

1.6 Avaliação do Ciclo de Vida

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), ou Life Cycle Assessment (LCA), é uma metodologia normatizada pelas ISO 14040 e ISO 14044 e é um instrumento de integração que abrange todos os estágios do ciclo de vida de um produto ou serviço, visando obter dados sobre os impactos ambientais, existindo ainda a possibilidade de comparação entre processos e produtos concorrentes em relação ao ambiente, materiais utilizados, benefícios energéticos e econômicos. Quando se trata de empresas, é um instrumento de gestão que se bem utilizado melhora a imagem da empresa e permite ganhos ambientais (QUEIROZ, 2012) (FERNANDES, 2009).

A primeira ACV foi feita em 1965 pelo Midwest Research Institute (MRI) para a Coca-Cola, com a finalidade de comparar diferentes tipos de embalagem. Em 1991 foi desenvolvido o primeiro software ACV, o Ökobasel, baseado em um estudo com um sistema de ponderação que resultou em um banco de dados. Para evitar problemas com resultados tendenciosos na ACV, em 1998 a normativa internacional (da série ISO 14000) que padronizou os termos e critérios para elaboração da avaliação (FERREIRA e CARVAS, 2014).

A ISO 14040 é responsável pela normatização da estrutura geral, princípios e requisitos para elaboração do estudo; e a ISO 14044 normatiza a padronização da documentação necessária para a divulgação do estudo. Pela metodologia que vai ser seguida, a ISO 14044 se divide em 4 fases: Objetivo e Escopo; Análise do Inventário; Avaliação de Impacto; Interpretação; sendo que:

- Objetivo: tem como finalidade definir o motivo e aplicação do estudo. Nesse momento são respondidas as seguintes perguntas: “O que vou avaliar?” “Por que vou avaliar?” “Para quem vou avaliar?”;

- Escopo: estabelece os limites do estudo, definindo a função, a unidade funcional e o fluxo de referência; sistema do produto e limite do sistema; procedimentos de alocação; e as categorias de impacto;
- Inventário de Ciclo de Vida: coleta de dados e cálculos, referente às entradas e saídas relacionadas a produção;
- Avaliação do Impacto de Ciclo de Vida: nessa fase são analisadas as categorias de impacto definidas no início do estudo;
- Interpretação do Ciclo de Vida: análise dos resultados, comparativos, incertezas, estudos de sensibilidade e recomendações para mitigação dos impactos.

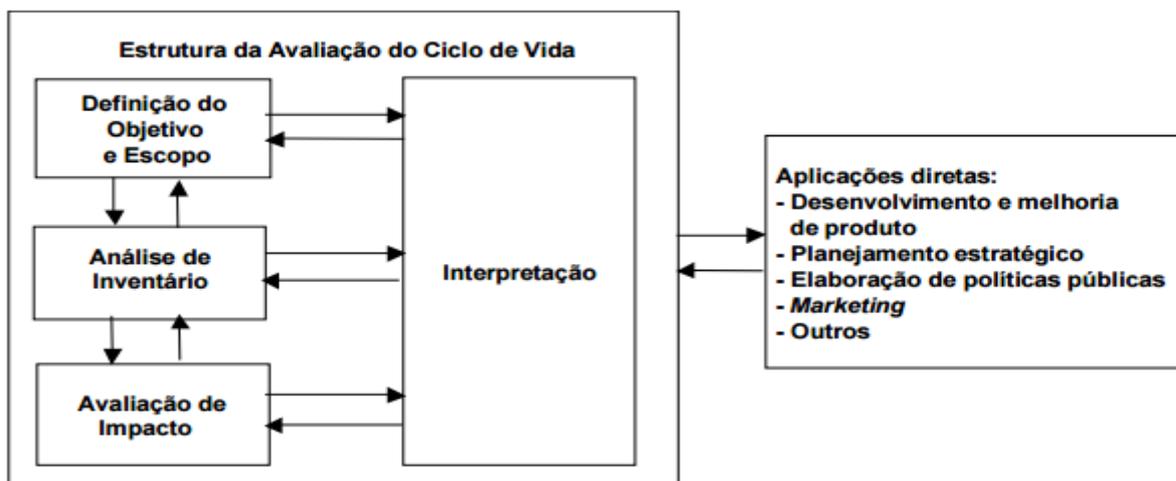


Figura 1: Fases de um estudo de ACV (Fonte: CETEA, 2002)

Conforme a CETEA (2002), a ACV propõe:

1 - Uma contabilização ambiental, em que se consideram as retiradas de recursos naturais e energia da natureza e o seu retorno em forma de resíduos e emissões para o meio ambiente;

2 - A avaliação dos impactos ambientais relativos às entradas e saídas do sistema.

Com base na ISO, o ciclo de vida de um produto são etapas contínuas e interligadas, que se iniciam na obtenção da matéria prima e vão até o uso final. Dependendo dos objetivos do estudo, os processos analisados podem ter a sua fronteira do estudo abreviada ou expandida (SCHENCK, 2009) (MARANDUBA, 2013):

- **Berço ao túmulo:** considera todo o ciclo de vida, da extração das matérias-primas até o descarte do produto;
- **Berço ao portão:** Da extração das matérias-primas até a entrada da fábrica de beneficiamento (estudos sobre *commodities*);
- **Portão ao portão:** considera apenas a fase de produção, da chegada à fábrica até sua saída (estudos de processos unitários);
- **Portão ao túmulo:** considera o produto na fábrica, até seu descarte (estudos de mercado).

1.7 Requisitos de qualidade dos dados

Os dados do inventário foram coletados de fontes primárias e secundárias. Para estimar a confiabilidade e a qualidade dos dados foi aplicada a metodologia conhecida como Matriz de Pedigree que consiste em classificar e pontuar de 1,0 a 2,0 os dados de acordo com: 1) confiança; 2) integralidade; 3) correlação temporal; 4) correlação geográfica; 5) correlação tecnológica; 6) tamanho da amostra. É necessária a aplicação dessa metodologia, pois em uma CV de unidade de processo as entradas e saídas são feitas com um dado que é uma média de valores. Como uma média é incerta, pode existir uma diferença entre o valor analisando e o valor real (ALTHAUS et al. 2007).

Tabela 2. Matriz Pedigree usada para avaliar a qualidade da fonte dos dados do inventário do Ciclo de Vida

Pontuação	1	2	3	4	5
U1 Confiança	Dados verificados e baseados em medições	Dados verificados parcialmente e baseados em hipóteses ou dados não verificados baseados em medições	Dados não verificados parcialmente baseados em estimativas qualificadas	Estimativas qualificadas ou dados derivados de informação teórica.	Estimativa não qualificada
U2 Integralidade	Dados representativos para um número relevante de empresas durante o período que permita eliminar flutuações	Dados representativos para mais de 50% do mercado durante um período que permita eliminar flutuações	Dados representativos para uma fatia pequena de empresas, mas relevante para o mercado em estudo ou dados de mais de 50% de empresas por um curto período de	Dados representativos para somente uma empresa relevante para o mercado considerado	Representatividade desconhecida ou dados de um pequeno número de empresas em um período de tempo pequeno

			tempo		
U3 Correlação temporal	Menos de 3 anos de diferença para o ano referência	Menos de 6 anos de diferença para o ano de referência	Menos de 10 anos de diferença para o ano de referência	Menos de 15 anos de diferença para o ano de referência	Data desconhecida ou mais de 15 anos de diferença para o ano de referência
U4 Correlação Geográfica	Dados da área de estudo	Dados médios de uma área maior que a área de estudo	Dados de uma área menor que a do estudo ou dados de uma área similar		Dados desconhecidos ou dados de uma área distinta a área de estudo
U5 Correlação Tecnológica	Dados de empreendimentos, processos, e matérias do estudo		Dados de processos/ matérias correlatos, mas mesma tecnologia ou dados de processos e matérias do estudo, mas de tecnologia diferente	Dados de processos/materias correlatos, mas diferente tecnologia ou dado de escala laboratorial e mesma tecnologia	Dados de processos materias correlatos, mas com diferente tecnologia e em escala laboratorial
U6 Tamanho da Amostra	>100 medidas contínuas, balanço de produtos comprados	>20	>10 figuras e relatórios ambientais	>=3	Desconhecido

Fonte: Althaus et al (2007)

O vetor pedigree é representado de 1 a 5; após isso os dados encontrados são correlacionados com tabela 5, que são os fatores de incerteza básica. Esses valores são utilizados para o cálculo da variância (SD).

Tabela 3. Fatores de incerteza básicas

Fatores	1	2	3	4	5
Confiança	1,00	1,05	1,10	1,20	1,50
Representatividade	1,00	1,02	1,05	1,10	1,20
Correlação temporal	1,00	1,03	1,10	1,20	1,50
Correlação Geográfica	1,00	1,01	1,02		1,10
Correlação Tecnológica	1,00		1,20	1,50	2,00
Tamanho de amostra	1,00	1,02	1,05	1,10	1,20

A fórmula utilizada para o cálculo de desvio padrão (intervalo 95% - SD_{g95}) é a seguinte:

$$SD_{g95} := \sigma_g^2 = \exp^{\sqrt{[\ln(U_1)]^2 + [\ln(U_2)]^2 + [\ln(U_3)]^2 + [\ln(U_4)]^2 + [\ln(U_5)]^2 + [\ln(U_6)]^2 + [\ln(U_b)]^2}}$$

Onde:

U1: fator de incerteza para confiança;

U2: fator de incerteza para representatividade;

U3: fator de incerteza para correlação temporal;

U4: fator de incerteza para correlação geográfica;

U5: fator de incerteza para correlação técnica;

U6: fator de incerteza para tamanho da amostra;

Ub: fator básico de incerteza.

Quando aliada à incerteza básica, a Matriz de Pedigree possibilita, através de uma avaliação qualitativa, o cálculo dos desvios padrões de cada dado do inventário e com esses valores é possível utilizar o método de Monte Carlo para calcular as variações do resultado final (WEIDEMA e WESNAES, 1996) (FERNANDES, 2009).

1.8 Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida

Com base na resolução do CONAMA nº. 001, de 23 de janeiro de 1986, impacto ambiental é qualquer alteração nas propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, como resultando de uma atividade humana direta ou indiretamente. Esse impacto é julgado através da avaliação de impactos ambientais, que são procedimentos que asseguram uma análise sistemática do impacto ao longo do processo (FERNANDES, 2009) (CONAMA, 1986).

Dentro da ACV, a finalidade da avaliação é compreender e analisar a magnitude e a importância dos impactos ambientais baseados na análise do inventário. No entanto, o principal objetivo da realização da ACV é identificar os principais impactos ambientais ao longo do ciclo de vida de um produto, buscando mitigá-los (CETEA, 2002). A escolha dos métodos e das categorias de impacto que serão utilizados na ACV está relacionada com o objetivo do estudo (HARRIS e NARAYANASWAMY, 2009).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Delimitação e descrição da área de estudo

3.1.1 Pará

O clima é Am, de acordo com a classificação de Köppen, com temperatura média anual entre 25°C e 27°C e precipitação anual entre 2.000mm e 3.000mm, com distribuição irregular, ocorrendo pequeno período de estiagem. A insolação mensal tem uma variação de 148,0 a 275,8 horas, com os valores mais elevados ocorrendo no período de junho a dezembro e apresentando estreita relação com a precipitação (RIBEIRO, 2003).



Figura 2. Mapa da área de estudo.

3.2 Sistemas Analisados

O estudo foi conduzido utilizando dados obtidos através de visita técnica à empresa BioPalma, na cidade de Mojú, Estado do Pará. As plantas cultivadas são

do tipo Tenera e o sistema de cultivo é o convencional, no qual apenas uma cultura é cultivada e o uso de insumos e combustíveis é intensiva, com a finalidade de atingir a máxima produção.

3.3 Escopo

A produção do cacho fresco de dendê é a primeira fase da cadeia de produção do biodiesel. O fluxograma a seguir delimita as principais entradas e saídas de cada processo do inventário da produção de dendê no estado do Pará, que tem seu início na produção das plântulas, no pré-viveiro, até a colheita dos Cachos Frescos. Todas as etapas são consideradas, por mais irrelevantes que sejam os impactos das referentes às suas entradas, pois a finalidade do trabalho é analisar o impacto da produção do dendê no estado do Pará e na Malásia. Esse país foi escolhido para a comparação por possuir grande avanço tecnológico na fase agrícola e maior produtividade mundial de CF.

A unidade funcional é de uma tonelada de cacho fresco e com o fluxo de referência de uma tonelada de cacho fresco. A fronteira do sistema é a fase agrícola (berço ao portão de saída).

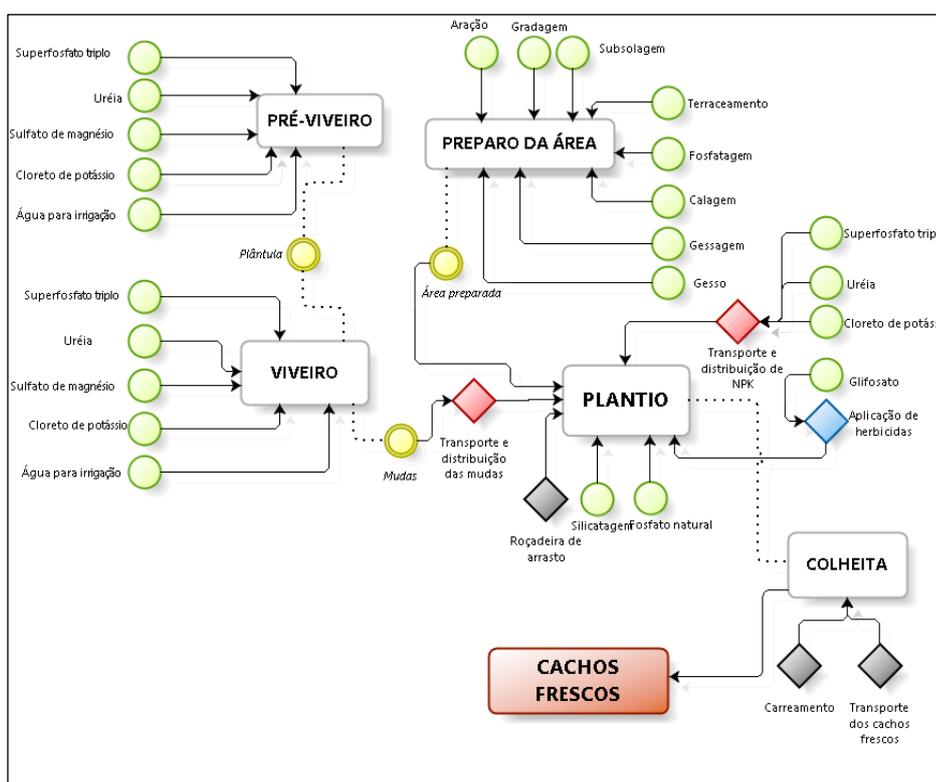


Figura 3. Fluxograma referente às entradas e saídas do sistema

3.4 Inventário do ciclo de vida do cacho de dendê – Pará

3.4.1.1 Construção do Inventário

Após a definição do Objetivo e Escopo, a construção do inventário é a segunda fase da Avaliação de Ciclo de Vida. Essa etapa tem a finalidade de atender ao objetivo já definido através do levantamento de dados que irão possibilitar a quantificação das entradas (matérias demandadas) e saídas do sistema (emissões de resíduos para o ar, água, e solo). É uma fase dinâmica, pois à medida que os dados são coletados e o conhecimento sobre o sistema se torna mais amplo, certos requisitos ou limitações podem passar por mudanças para satisfazer os objetivos do trabalho. Com os dados em mãos, é necessário que eles passem pelos processos de validação, correlação com os processos elementares e correlação aos fluxos de referência e à unidade funcional do sistema.

Nesse estudo, os dados foram coletados através de aplicação de um questionário durante uma visita à empresa BioPalma, no Estado do Pará, na cidade de Mojú. Os dados foram referentes à produção anual da área, os fertilizantes, pesticidas, controle de plantas daninhas, preparo da área, primeiro ano de cultivo e colheita dos cachos frescos.

A área cultivada no Estado do Pará é de 60 mil hectares, com a produção estimada em 22,27 toneladas de cachos frescos por hectare/ano. As etapas de produção são: pré-viveiro, viveiro, preparo da área, tratos culturais e colheita dos cachos. Todos os dados referentes aos insumos necessários para a produção de mudas, preparo da área e tratos culturais (Tabelas 4; 5 e 6) foram analisados levando em consideração os insumos necessários para o cultivo de um hectare e 160 plantas/ha.

Tabela 4. Insumos utilizados na Fase de Pré-viveiro equivalente a um hectare de cultivo.

PRÉ-VIVEIRO, PLÂNTULAS	Quantidade	160
Entradas conhecidas da natureza (recursos)	Unidade	Quantidade
Água	L	25,86

Entradas conhecidas da esfera tecnológica (materiais/combustíveis)	Unidade	Quantidade
Uréia	Kg	0,002874
Fosfato, P ₂ O ₅	Kg	0,002874
Cloreto de potássio K ₂ O	Kg	0,00115
Sulfato de magnésio	Kg	0,00115

Tabela 5. Insumos utilizados na Fase de Viveiro para o cultivo de 1 hectare - 160 plantas.

VIVEIRO, MUDAS		160
Entradas conhecidas da natureza (recursos)	Unidade	Quantidade
Água	L	905,25
Entradas conhecidas da esfera tecnológica (materiais/combustíveis)	Unidade	Quantidade
Pré-viveiro, plântulas	P	160
Urea	Kg	0,33
Fosfato P ₂ O ₅	Kg	0,33
Cloreto de potássio	Kg	0,17
Sulfato de magnésio	Kg	0,17

As mudas foram transportadas para o campo utilizando um caminhão de caçamba com guarda madeira e a distribuição das mudas no campo foi realizada utilizando um trator de pneu leve, uma carreta agrícola e um caminhão prancha, com o consumo médio total de 36 l/hora de trabalho.

Tabela 6. Dados referentes ao preparo da área de plantio do Dendê e insumos utilizados, equivalente a um hectare.

PREPARO DA ÁREA, ÁREA PREPARADA	Há	1
Entradas conhecidas da natureza (recursos)	Unidade	Quantidade
Limpeza da área, para abertura de estradas	m2a	13200
Abertura de estradas	M2	13200
Entradas conhecidas da esfera tecnológica (materiais/combustíveis)	Unidade	Quantidade
Hoeing {CH} processing Alloc Def, S	P	160
Tillage, ploughing {RoW} processing Alloc Def, S	Kg	0,33
Gesso	Kg	0,33
Aplicação de fertilizante	Kg	0,17
Diesel	Kg	0,17
Transformation, arable	Há	1
Occupation, arable, non-irrigated, intensive	Ha	1
Entradas conhecidas da esfera tecnológica (materiais/combustíveis)	Unidade	Quantidade
Urea	Ton	0,08
Cloreto de potássio	ton	0,3
Fosfato, P2O5	ton	0,02
Gesso	ton	0,05
Glyphosate	kton	1,38
Aplicação de fertilizante	Ha	3

Aplicação de herbicidas	Ha	1
Roçagem	Ha	1
Plantio	Ha	1
Trator e reboque agrícola	tkm	
Diesel	kton	5,944
Preparo da área, área preparada	Ha	1
Trator e reboque agrícola	tkm	2,2
Trator e reboque agrícola	tkm	0,59
Trator e reboque agrícola	tkm	7,88
Caminhão	tkm	9,77
Óxido de magnésio	G	14
Enxofre	G	33,4

As principais práticas culturais empregadas durante os 25 anos de cultivo estão relacionadas ao controle e combate de pragas, controle de plantas daninhas e adubação. O aparecimento do inseto *Rhynchophorus palmarum* é comum nos plantios de dendê e o combate se faz necessário, pois o ataque das larvas desse besouro pode causar a morte da palmeira e diminuir a produtividade. Já o controle de plantas daninhas é realizado utilizando uma solução de glyphosate. A aplicação é feita duas vezes ao ano, sendo que esse controle também é realizado de forma manual, para atender a necessidades nutricionais do plantio. Os fertilizantes utilizados foram o N-P-K (09-06-25), Óxido de magnésio 1,95 (MgO), Enxofre 4,65(S), 0,5(B). Foi realizada calagem com a finalidade de corrigir a acidez do solo e disponibilizar nutrientes.

A colheita dos cachos é realizada de forma manual, e os frutos são carregados do plantio para a fábrica por caminhões para posterior processamento. Os dados relativo a colheita de cachos de um hectare e emissões emitidas encontram-se descritas na tabela 7.

Tabela 7. Dados da colheita de cachos frescos e as emissões referentes ao processo.

CACHOS FRESCOS COLHIDOS	ton	22,27
Entradas conhecidas da natureza (recursos)	Unidade	Quantidade
Carbono, biomassa	ton	9,4
Entradas conhecidas da esfera tecnológica (materiais/combustíveis)	Unidade	Quantidade
Trator e reboque agrícola	tkm	26,4
Caminhão, plantio para usina	tkm	100
Área preparada, tratos culturais, plantio	Ha	1
Emissões para o ar	Unidade	Quantidade
Óxido de nitrogênio	Kg	0,00681
Amônia	Kg	0,05151
Monóxido de nitrogênio	Kg	0,00683
Glyphosate	Kg	1,379
Emissões para a água	Unidade	Quantidade
Nitrato	Kg	0,00853
Emissões para o solo	Unidade	Quantidade
Arsênico	Kg	3E-07
Cádmio	Kg	0,00001

Crômio	Kg	0,00021
Cobalto	Kg	5E-07
Cobre	Kg	0,00004
Mercúrio	Kg	1E-07
Molibdênio	Kg	7E-07
Níquel	Kg	1,45E-05
Conduzir	Kg	0,000004
Selênio	Kg	6E-07
Zinco	Kg	0,00017

3.5 Interpretação e análise dos resultados

É a última e mais delicada fase de todo o processo de Avaliação de Ciclo de Vida, em que as problemáticas devem ser identificadas e são sugeridas sugestões para a minimização e mitigação. Porém, é uma etapa totalmente dependente das outras etapas. Dessa maneira, pode ser necessária uma análise dos objetivos e inventário da CV para saber se os resultados atenderam aos objetivos esperados ou se houve incoerência entre as entradas e saídas.

3.5.1 Avaliação de Impactos ambientais e balanço energético

Os métodos selecionados foram o ReCiPe Midpoint Hierárquico versão 1.12 e o Cumulative Energy Demand - CED. O método ReCiPe desenvolvido pelos órgãos holandeses National Institute for Public Health and The Environment, Institute of Environmental Sciences da Universidade de Leide, Departamento de Ciências Ambientais da Radboud University Nijmegen e a organização independente para consultorias CE Delft – sendo que as categorias foram: mudanças climáticas, eutrofização, acidificação do solo, depleção hídrica, ocupação de solos agrícolas e transformação de solos naturais, já o CED (Cumulative Energy Demand), um método desenvolvido pela PréConsultants que analisa a quantidade de energia

demandada na produção de uma unidade funcional e é usado como base para o balanço energético; é derivado de um método publicado pelo Ecoinvent.

Tabela 8. Categorias de impacto ambiental relacionadas a esse estudo

CATEGORIAS DE IMPACTO	
Mudanças Climáticas (ReCiPe)	O fator de caracterização das alterações climáticas é o potencial de aquecimento global. A unidade é kg de CO ₂ eq.
Eutrofização da água de corpos hídricos (ReCiPe)	Avalia a disposição de sulfatos inorgânicos, nitratos, fosfatos, através do ar e diretamente na água ocasionando a contaminação do solo e os corpos hídricos. Sua unidade de medida é a kg de P ₂ O ₅ eq.
Acidificação(ReCiPe)	Acidificação relaciona-se com emissões de gases causadores de chuva ácida, como NO _x , SO ₂ e NH ₃ .
Depleção hídrica (ReCiPe)	Quantidade de água utilizada durante o ciclo de vida do produto. Dado em m ³ .
Ocupação de solos agrícolas(ReCiPe)	A quantidade de qualquer terras agrícolas ocupados por um determinado tempo. A unidade é m ²
Transformação de área natural (ReCiPe)	A quantidade de terra natural transformado e ocupada por um certo tempo. A unidade é m ² .
Uso de Energia não-renovável (CED)	Analisa a utilização de fontes de energia não-renovável na produção de cada entrada e qual o impacto resultante desse processo, consistindo no balanço energético de um produto.

O balanço de energia é uma forma de avaliação que estabelece uma relação entre a energia contida no biocombustível e os recursos não-renováveis empregados durante todo o processo de produção. Esse parâmetro é utilizado para

medir a viabilidade econômica e ambiental do biocombustível (URQUIAGA et al 2005).

Nesse trabalho, apenas os recursos energéticos das entradas de energia (E_{input}) e saídas (E_{output}) referentes à fase agrícola do processo foram avaliadas. Essa comparação se fez necessária, pois de acordo com Gasol (2007) o maior consumo de recursos não-renováveis está relacionado à fase de produção da matéria-prima.

Várias técnicas já foram desenvolvidas com a finalidade de calcular o consumo de energia primária, sendo que mais difundida ultimamente é a Demanda Acumulada de Energia (Cumulative Energy Demand – CED), que consiste na soma de todas as energias de entrada em todo o ciclo de vida do produto. Esse método considera a energia gasta na infraestrutura da produção ($E1_{input}$), a energia para operar o sistema ($E2_{input}$) e a energia consumida na produção e no transporte das entradas e saídas ($E3_{input}$). Esse cálculo pode ir até a energia utilizada no descarte do produto (MARANDUBA, 2013). A equação utilizada nessa metodologia é:

$$CED = \sum_{i=1}^n E n_{input}$$

Onde:

CED = Cumulative Energy Demand;

E_{input} = Somatória das energias de entrada.

Sendo assim, CED é a quantidade de energia vinda de diferentes fontes renováveis e não-renováveis necessária para a produção da unidade funcional do produto final. É, portanto, a Demanda de energia acumulada necessária para a produção de uma tonelada de cacho fresco de dendê no Estado do Pará e na Malásia.

3.6 Ferramenta computacional

Por ser difundido internacionalmente, o SimaPro foi escolhido para a condução do estudo. Trata-se de um software que foi desenvolvido pela empresa PréConsultants, que possui experiência de mais de 20 anos no ramo das ACV's. A versão utilizada foi a 8.0 e a base de dados utilizada foi a Ecoinvent, versão 3.2.

3.6.1 *Suposições e limitações do estudo*

As limitações desse estudo se referem aos dados secundários e obtidos da base de dados EcolInvent 3.2. A problemática existente é que os dados da produção do insumos agrícolas e combustíveis, por exemplo, são referentes à fabricação desses produtos em países desenvolvidos ou dados resultantes das médias mundiais, que na maioria das vezes não se adequam à realidade brasileira.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Avaliação de Impactos Ambientais

A análise de contribuição realizada cada etapa da produção de cachos frescos de dendê (Figura 8), mostrou que etapas que mais impactaram foram as de plantio e preparo da área. Na categoria MC a fase plantio contribuiu com 59,13%, na AC 59,08 %, na EU com 76,33%; no UA com 91,50 %; no CED com 62,93%. Apenas nas categorias OSA e TAN, a etapa PA (preparo da área) foi a que mais impactou com 99,69 e 44,67% respectivamente.

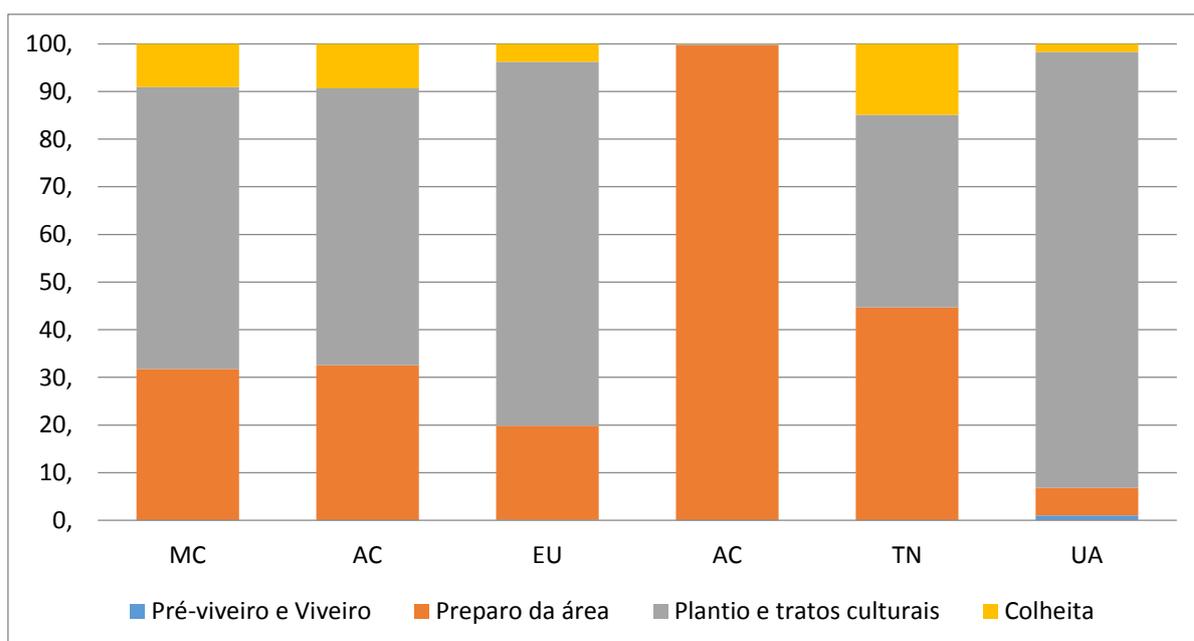


Figura 4. Gráfico referente à análise de contribuição de cada etapa da produção de cachos frescos de dendê.

Nas categorias onde a etapa plantio foi a mais impactante as entradas com maior contribuição foram as referentes aos fertilizantes nitrogenados, fosfatados e potássicos, sendo que o uso e produção dos adubos sintéticos colaboraram com mais de 70% de impacto ambiental em cada uma dessas categorias analisadas.

Em relação à categoria MC, de acordo com Prueksakorn *et al.* (2006) na produção de biodiesel de pinhão manso, a entrada responsável por emitir mais gases causadores do efeito estufa (GEE) são o uso de fertilizantes e a produção.

Já Siregar *et al.* (2015) comparando a produção de biodiesel de pinhão manso com o de dendê, concluiu que enquanto a fase industrial do biocombustível de pinhão manso é a etapa que mais emite kg CO₂ eq para a atmosfera, e para o dendê é fase agrícola, sendo os adubos nitrogenados a entrada com maior peso ambiental. Pois enquanto o pinhão manso utiliza 87,52 kg para produzir uma tonelada de semente, o dendê consome 279,46 kg para a produção de 1 ton de cachos frescos.

Os fertilizantes nitrogenados também são responsáveis por causar impacto na categoria AC, De acordo com Milà i Canals *et al.* (2007), o principal contribuinte para essa categoria é a NH₃, originada da volatilização desses adubos, que libera para o solo NH₃ e NO_x.

Zhou (2014) avaliando a influência de 2 tipos de fertilizantes nitrogenados em solos na China durante 90 dias, relatou que após o terceiro dia de avaliação o pH do solo já estava ácido, e que as aplicações anuais de adubos nitrogenados atuam no aumento da acidez do solo, já que ocorre a liberação de hidrogênio (H⁺) através de nitrificação do NH₄⁺.

Para a categoria EU os fertilizantes fosfatados apresentam maior peso ambiental, Kulay (2000) e Oba (2004) afirmam que existe uma perda de P₂O₅ na forma de estéreis, minérios marginais e rejeito do beneficiamento durante a produção dos fertilizantes fosfatado, sendo muitas vezes necessária a construção de barragens de rejeito para a contenção desses efluentes, o que pode acarretar na contaminação de corpos hídricos.

De acordo com Monteiro (2008) a melhor forma de reduzir os impactos ambientais relacionados com os adubos fosfatados é a rotação de cultura. O que não acontece nos plantios de dendê devido ao longo ciclo de exploração.

Para a categoria UA, a entrada com maior peso ambiental foi referente aos fertilizantes nitrogenados. O impacto ocorreu já que a uréia é obtida através da reforma catalítica do gás natural com o vapor d'água (RIBEIRO, 2009).

Já nas categorias OSA e TAN, a fase preparo da área foi a mais impactante devido aos maquinários utilizados. De acordo com o MMA, a utilização de implementos agrícolas altera as estruturas e diminui a aptidão produtiva do solo,

podendo levar a área a compactação, redução dos poros e, portanto diminuição a capacidade de reter água. Araújo (2010) afirmou que a agricultura moderna pode gerar a extinção de espécies, populações, e a perda da diversidade biológica da área. Isso ocorre devido a tendência a plantios monoculturais, de utilizar uma maior quantidade de implementos agrícolas com a finalidade de aumento da produção.

Na figura 9, encontram-se representadas as contribuições relacionadas às entradas da fase de plantio.

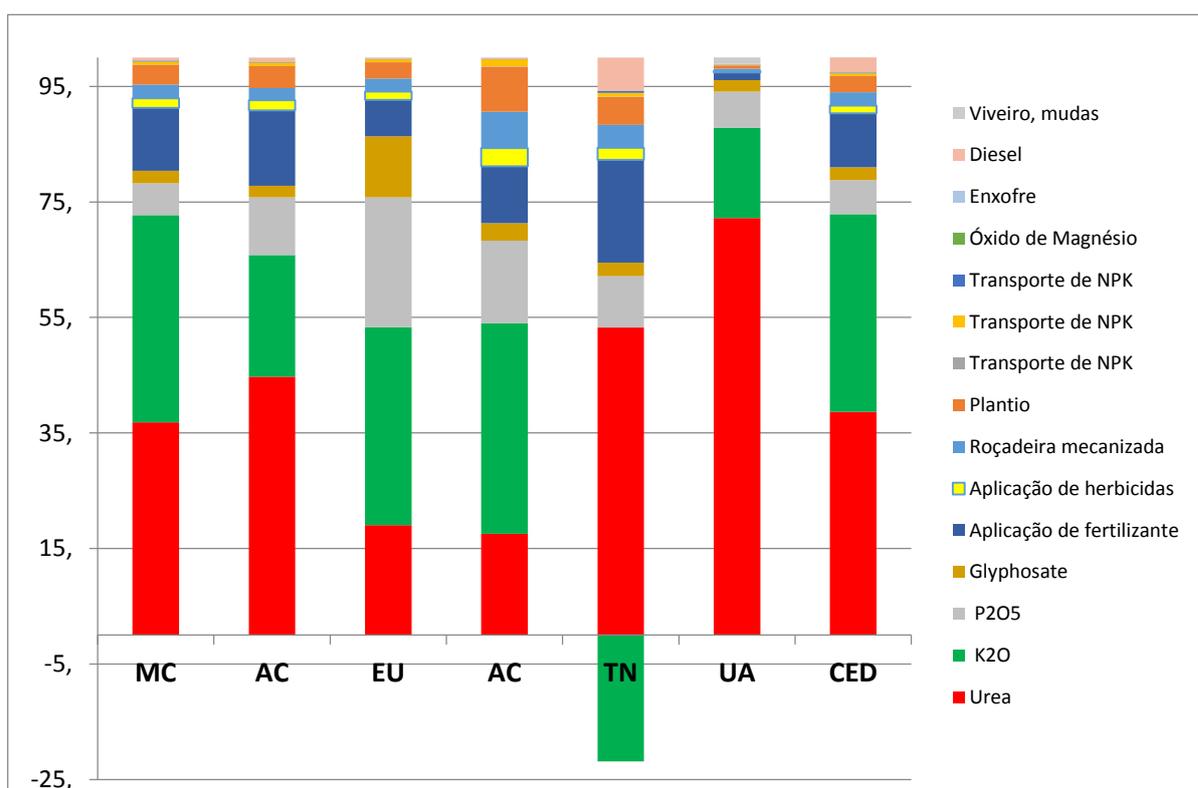


Figura 5. Análise das entradas na etapa plantio

Na categoria mudanças climáticas (MC), os fertilizantes ureia e K_2O foram os adubos mais impactantes. Isso ocorre pela liberação de gases dióxido de carbono, óxido de enxofre e óxido nítrico (causadores do efeito estufa) durante a sua produção, que possui alto consumo de combustíveis de origem fóssil (carvão, petróleo, gás natural), e durante o uso com emissão desses mesmos gases, mas ocorrendo uma liberação mais expressiva de óxido nítrico. O impacto referente aos maquinários se dá principalmente pela liberação de dióxido de carbono da queima de combustíveis fósseis.

Queiroz (2011), trabalhando com o dendê na região amazônica, observou que os maquinários, preparo da área e fertilizantes foram responsáveis por 78,2% do petróleo consumido para a produção de 1000kg de biodiesel. De acordo com o autor, o alto consumo de combustíveis de origem fóssil está relacionado com a matriz energética dos países produtores de fertilizantes. Esse consumo é por sua vez contabilizado na categoria MC devido à liberação dos GEE.

As emissões contabilizadas na categoria acidificação terrestre são os SO_x , NO_x , NH_3 , e HCL liberados para a atmosfera. Nessa categoria, as entradas referentes ao preparo da área e ao fertilizante nitrogenado foram as que causaram maior acidez no solo.

Na categoria eutrofização, cerca de 60% de todo o impacto ambiental veio dos fertilizantes. Isso acontece pois o impacto consiste no acréscimo de compostos nitrogenados e fosfatados nos rios, ocasionando um aumento da população de microrganismos decompositores, que reduz a entrada de luz solar, não permitindo que as algas realizem a fotossíntese, além de consumir todo o oxigênio da água, ocasionando a morte das espécies aeróbicas (SILVA, 2012).

Na categoria ocupação de solos agrícolas, os maquinários usados no preparo da área foram a entrada mais impactante, equivalendo a 99% de todo o impacto. Isso está relacionado ao dano ocasionado pela mudança da cobertura do solo realizada pelos maquinários.

Já a categoria transformação de solos naturais foi a única categoria que teve uma entrada com valor negativo, analisando a cadeia de produção do dióxido de potássio presente no bando de dados EcoInvent 3.2. Isso ocorre pois durante a produção do K_2O foram utilizados resíduos, anulando dessa maneira o impacto ambiental do produto, já que não ocorreu a exploração nas reservas de sais de potássio. O maior impacto foi decorrente dos maquinários usados no preparo da área e do fertilizante nitrogenado. As outras entradas na categoria tiveram valores abaixo de 10%, sendo dessa maneira classificadas como irrelevantes de acordo com a norma ISO 14044.

Na categoria uso da água, a ureia foi a entrada que mais consumiu água durante a sua produção: aproximadamente 67% de toda a água referente à etapa plantio. Na categoria que diz respeito ao consumo de energia, o maquinário referente ao preparo da área foi a entrada de maior consumo, sendo 31%. A ureia consumiu 26% e a K_2O consumiu 23%. Os fertilizantes tiveram valores abaixo dos

maquinários, mas analisando o sistema, a etapa preparo da área engloba 6 processos, enquanto os fertilizantes dizem respeito a apenas um processo cada e com alto consumo energético.

4.1.1 Comparação do plantio brasileiro com a Malásia

Na tabela 9, analisando comparativamente, é possível observar a magnitude do impacto ambiental do plantio brasileiro, essa análise foi realizada com a Malásia devido ao país apresentar tradição no cultivo de dendê. Nesse estudo, nas categorias mudanças climáticas, acidificação do solo, eutrofização e depleção da água, o plantio brasileiro foi menos impactante que o plantio malaio; já para as categorias ocupação de solos agrícolas, transformação de solos naturais, CED, a Malásia foi menos impactante.

Tabela 9. Comparação Pará e Malásia pelo método ReCiPe e CED

Categorias	Unidade	Pará	Malásia
Mudança climática	kg CO2 eq	56,705	98,096
Acidificação do solo	kg SO2 eq	0,3573	1,7754
Eutrofização de corpos hídricos	kg P eq	0,0117	0,0252
Ocupação de solos agrícolas	m2a	451,05	403,33
Transformação de solos naturais	m2	0,0122	0,0067
DH	m3	0,996	6,694
CED	MJ	947,6	682,3

Na figura 10, os mesmos dados foram organizados em porcentagem, com os do coeficiente de variação calculados através da Matriz de Pedigree.

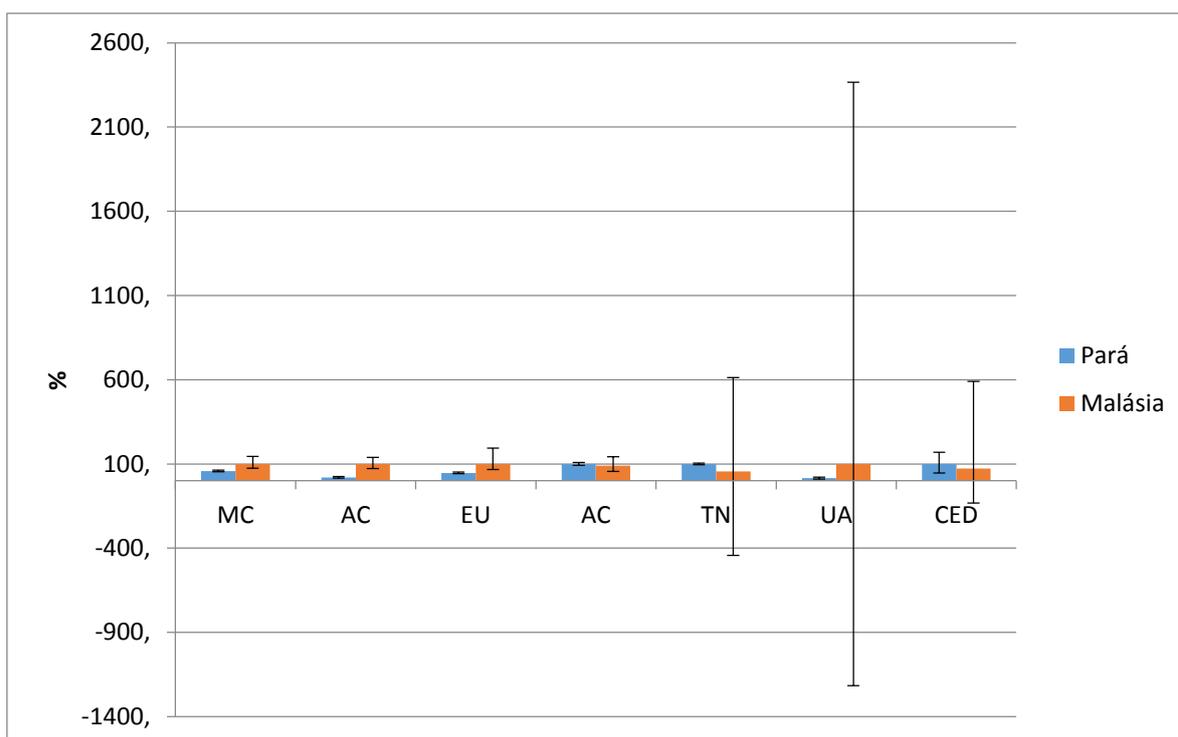


Figura 6. Comparação dos plantios do Pará e da Malásia. O coeficiente de variação para os dois países foi estimado utilizando a combinação Matriz Pedigree com a simulação Monte Carlo (10000 iterações; 95% de confiança).

É possível relacionar a categoria MC às várias práticas culturais realizadas nos malaios, como a transformação de florestas nativas em plantios de palma de óleo. No ano de 2011, o dendê ocupava aproximadamente 15% de todo o território, e com um constante aumento de 0,14 milhões de hectare/ano (HANSEN, 2014) (VIOLA, 2014).

De acordo Yusoff e Hansen (2007) a Malásia e Indonésia já proibiram o uso de queimadas na limpeza para a limpeza área, por essa ser uma prática que libera grandes quantidades de CO₂ para a atmosfera. Estima-se que a cada hectare de floresta nativa queimada com a finalidade de preparar a área para a implantação de do plantio de palma de óleo nesses países mais de 150 ton de carbono são emitidos para a atmosfera.

Ainda de acordo com Yusoff e Hansen (2007) os fertilizantes é a entrada que causa mais impacto ambiental na fase agrícola, e utilização de combustíveis de origem fóssil na produção de fertilizantes é o maior responsável pelo impacto na categoria MC, devido à liberação de GEE.

A acidificação está relacionada com a queima de diesel nos motores dos maquinários e com o transporte usado no plantio malaio. O SO_2 é liberado para a atmosfera e ao entrar em contato com a umidade do ar, gera o ácido sulfúrico, que contribui diretamente para a formação da chuva ácida, a qual é responsável pela acidificação de solos e rios e prejudica o desenvolvimento de algumas espécies de plantas, pois altera o pH do solo, de insetos e algas (CTN, 2012).

Os adubos nitrogenados contribuem com a acidificação não apenas durante o uso, com a liberação de NH_3 , mas também durante a sua produção, pois são utilizadas fontes energéticas e matéria prima de origens não-renováveis.

O uso de fertilizantes sintéticos são as entradas com maior peso na eutrofização de rios, sendo os responsáveis por tornar os plantios malaios mais impactantes para o compartimento hídrico. Por ser uma cultura que responde bem à adubação, a produtividade diminui aproximadamente 25% se a fertilização não for realizada adequadamente. Os produtores acabam excedendo na utilização desses insumos, não levando em consideração a possibilidade de contaminação dos rios (CALIMAN et al., 2007) (GOH; HÄRDTER, 2003).

De acordo com Sharip & Zakaria (2008), as florestas nativas próximas aos três grandes rios da Malásia foram suprimidas para a implantação de plantios de dendê, tornando os rios impróprios para a recreação, já que por serem altamente solúveis os fertilizantes sofreram a lixiviação, aumentando o teor de matéria orgânica nesse rios.

Na categoria ocupação de solos agrícolas, é possível ver que o impacto ambiental no presente estudo foi menor no plantio malaio; mas levando em consideração o erro, não é possível afirmar que o plantio da Malásia é menos impactante que o do Estado do Pará.

Analisando comparativamente as duas formas de cultivo não é possível afirmar com base no erro qual dos dois plantios possui menor impacto ambiental, pois que os dados do Ecoinvent 3.2 possuem um coeficiente de variação muito alto. Esse erro elevado está relacionado com a forma como a coleta de dados do inventário foi realizada, portanto muitas vezes são dados sem validação, de valores médios ou de fontes literárias e que quando são classificados pela análise de incerteza, são considerados dados com baixa representatividade (CIROTH, et al. 2013).

4.2 CED

Os combustíveis não-renováveis de origem fóssil foram a fonte energética mais consumida na plantação do Estado do Pará, como pode ser visto na figura 12. A fase com maior consumo de energia foi o plantio, já que as entradas referentes a essa fase, assim como os fertilizantes e maquinários agrícolas, possuem alto gasto energético durante a sua produção.

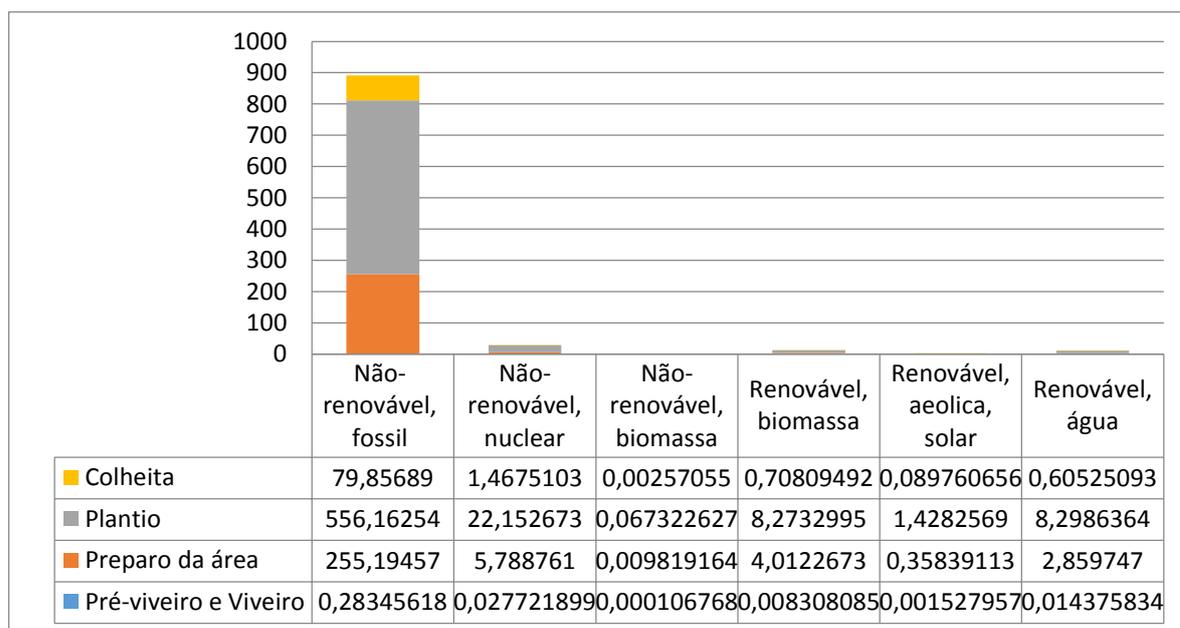


Figura 7. CED por fases de uma tonelada de CF no estado do Pará, em MJ.

Como a finalidade do cultivo é a produção de biocombustível, já é de conhecimento que a fase agrícola causa maior impacto ambiental e também possui maior gasto energético. Já existem alternativas para minimização do impacto causado pelo uso de adubos sintéticos. Para o dendê, a alternativa mais viável é o plantio de leguminosas fixadoras de nitrogênio e melhoramento genético das espécies utilizadas. Ainda existe a possibilidade de utilizar os cachos vazios como adubos.

De acordo com Viégas e Botelho (2000) seria necessária aproximadamente a produtividade de 10 hectares para suprir as necessidades nutricionais de um hectare. Mas mesmo diante dessa relação 10:1, a viabilidade desse tipo de fertilização depende da distância entre a fábrica e o campo, e não da disponibilidade de cachos vazios (URQUIAGA et al., 2005).

No Estado do Pará é feito o plantio da espécie *Pueraria phaseoloides*, sendo que elas fixam aproximadamente até 300 kg/ha/ano de nitrogênio; mas ainda assim existe uma alta dependência de adubos nitrogenados e fosfatados, pois o dendê tem uma boa resposta produtiva em relação à adubação, e os solos do Estado do Pará são solos antigos, com alta deficiência de nutrientes básicos ao desenvolvimento satisfatório da cultura (DUTRA, 1983) (CAMARÃO et al, 2005) (RODRIGUES, 2014) (LIMA et al 2000).

4.2.1 Balanço Energético

Uma forma de avaliar a viabilidade ambiental e a renovabilidade de um biocombustível é através do balanço energético. De acordo com Borges (2007), são necessários 4,54kg de sementes para produzir 1kg de óleo. O autor também dá os valores de quantidade de óleo, fibras, cascas e torta em 1 tonelada de cachos frescos e seus respectivos poderes caloríficos. Na tabela 10 descrevem-se a quantidade de cada componente e seu poder calorífico de cachos de Dendê (equivalente a uma tonelada).

Tabela 10. Quantidade de cada componente do cacho fresco e seus poderes caloríficos.

1 ton de CF	Unidade	Quantidade em 1 tonelada	Poder Calorífico	Kcal	MJ
Óleo	Kg	220	9000	1980000	8284,3
Fibra	Kg	120	4420	530400	2219,2
Cascas	Kg	50	4420	221000	924,7
Torta	Kg	35	4000	140000	585,8
Total	kg	425	21840	2871400	12013,9

Fonte: Borges, 2007

Esses valores foram utilizados na realização do balanço energético, e por serem valores fixos, o poder calorífico encontrado para uma tonelada de cacho fresco foi usado na comparação dos resultados entre os dois países, sendo consideradas como *input* todas as entradas de energia de fontes não-renováveis, e

output não apenas do óleo, mas também o valor dos co-produtos resultantes da extração (Tabela 11).

Tabela 11. Entradas e saídas de energia dos sistemas

Entradas de energia	Unidade	Malásia	Pará
CED (Total de Inputs)	MJ	682,3034	947,672
CED fóssil	MJ	618,3514	891,497
*	*	*	*
Total de Outputs para cachos frescos de dendê	MJ	12013,94	12013,9
*	*	*	*
Balanco energético (Output/Inputs)	MJ	1: 17,6	1: 12,6
Produção de Energia líquida (Output – Input)	MJ	11331,64	11066,3
Razão de energia fóssil (FER)	MJ	1:19,4	1:13,4

Como nenhum valor entre as relações *inputs* e *outputs* foi negativo, pode-se afirmar que para 1 unidade de energia consumida é produzida 17,6 MJ de energia na Malásia, e 12,6 MJ de unidades de energia no Estado do Pará. A produção de energia líquida do Estado do Pará corresponde a 97,6% da energia produzida na Malásia. O elevado gasto energético no Estado do Pará aconteceu devido ao maior uso de fertilizantes sintéticos, principalmente os nitrogenados. De acordo com Franco e Neto (2008), a produção de fertilizantes despense cerca de 1,2% de todo o consumo mundial de energia e aproximadamente 92,5% deste consumo é empregado na produção de adubo nitrogenado. Isso se reflete no ciclo de vida do produto, reduzindo a renovabilidade do biocombustível.

Na tabela 12, é apresentada a comparação dos balanços energéticos das espécies mais cultivadas com a finalidade de produção de biocombustíveis. Mesmo o Estado do Pará possuindo valores abaixo dos valores do plantio da Malásia, ao

comparar a razão energética do dendê com outras espécies ele se destaca por possuir um valor bem acima da média.

Tabela 12. Comparação do balanço energético com demais culturas utilizadas na produção de biocombustíveis, MJ.ha-1

Culturas	Inputs	Outputs	Balanço energético
Soja	4967	19.600	1: 3,94
Girassol	6.333	15009,21	1: 2,37
Canola	4874	13.200	1: 2,70
Mamona	15626	28.892	1: 1,84
Etanol de milho (EUA)	6597	5.130	1: 0,77
Dendê (Pará)	947,672	12013,9	1: 12,6

Fonte: Gazzoni et al, (2008); Gazzoni et al., (2005); Almeida Neto 9 et al., (2004); Pimentel & Patzek, (2005).

4.2.2 Análise de Sensibilidade

Análise de sensibilidade é uma forma de avaliar a importância das decisões tomadas para o resultado final e a conclusão da ACV, essa análise acontece mediante a alteração de alguns parâmetros ou premissas como a produtividade, quantidade de insumo utilizado ou distâncias do campo a fábrica.

Toda a Avaliação do Ciclo de Vida foi realizada utilizando a distância entre o plantio e a fábrica de 34km; todavia, existe a possibilidade de os cachos serem processados na cidade de Castanheira, que se localiza a 130km do plantio de Mojú. Para isso os dados foram processados novamente com a nova distância, e não apresentaram variações significativas em nenhuma das 7 categorias de impacto avaliadas. Por não ser possível modificar esse mesmo parâmetro no inventário presente no programa SimaPro© para o plantio na Malásia, a análise de sensibilidade foi considerada apenas para o Pará.

5 CONCLUSÃO

Nas 6 categorias de impacto avaliadas, é possível concluir que o plantio de dendê no estado do Pará é menos impactante que os plantios da Malásia, nas categorias mudanças climáticas, acidificação terrestre e eutrofização.

Nas categorias uso de solos agrícolas, transformação de solos naturais e depleção hídrica, não foi possível afirmar qual dos plantios apresentou menor impacto ambiental, devido ao elevado coeficiente de variação.

O estudo de avaliação energética (CED) mostrou que o estado do Pará consome mais energia de fontes não-renováveis que os plantios Malaios, e no balanço de energético a Malásia produz 5 MJ.ha⁻¹ unidades de energia a mais que o Brasil.

Conclui-se que é necessário rever a quantidade de fertilizantes sintéticos utilizados, pois como vários autores já concluíram, a fase mais impactante da produção de um biocombustível é a de produção da matéria-prima, e reduzir a utilização de adubos nitrogenados, fosfatados e cloretos é a forma mais eficaz de minimizar os impactos ambientais.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA NETO, J. A. de; CRUZ, R. S. da; ALVES, J. M.; PIRES, M. de M.; ROBRA, S.; PARENTE JUNIOR, E. **Balço energético de ésteres metílicos e etílicos de óleo de mamona**. In: Congresso Brasileiro De Mamona, Campina Grande, 2006.

ALTHAUS, H; et al. Ecoinvent: overview and methodology. Data v 2.0. Dübendorf: **Swiss Centre for Life Cycle Inventories**, p.68.2007

ALTHAUS, H.-J. et al. Life cycle inventories of chemicals. Dübendorf: **Swiss Centre for Life Cycle Inventories**, p.68.2007

ANGARITA, E.E. Y. et al. The energy balance in the Palm Oil-Derived Methyl Ester (PME) life cycle for the cases in Brazil and Colombia. **Renewable Energy**, 2009, p. 2905–2913.

ANP. Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis : 2015. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. - Rio de Janeiro. 2015.

BASTOS, T.X. et al. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura do dendeeiro no estado do Pará. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.9, n.3, p.564-570, 2001.

BENDASSOLLI, J. A.; TRIVELIN, P. C. O.; DE FÁTIMA IGNOTO, R. Produção de amónia anidra e aquamónia enriquecida em 15n a partir de 15NH. **Scientia Agrícola**, v. 59, n. 3, p. 595-603, 2002.

BRASIL. Casa Civil da Presidência da República. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira. Lei Nº 11.097, 13 de janeiro 2005.

CALIMAN, J. P.; CARCASSES, R.; PEREL, N.; WOHLFAHRT, J.; GIRARDIN, P.; WAHYU, A.; PUJIANO, D., B.; VERWILGHEN, A. Agri-environmental indicators for sustainable palm oil production. **Palmas**, v. 28, p. 434-445, 2007.

CAMARÃO A. P., SOUZA FILHO, A. P. S.; AZEVEDO, G. P. C. Puerária (Pueraria phaseofodes): uma leguminosa forrageira para a Região Amazônica. **Embrapa Amazônia Oriental**, 2005.

CETEA - Centro de Tecnologia de Embalagem & CEMPRE. Compromisso Empresarial para Embalagem. **Avaliação de ciclo de vida: Princípios e Aplicações**. 2002.

CHISTI, Y. Biodiesel from microalgae. **Biotechnology advances**, v. 25, n. 3, p. 294-306, 2007.

CIROTH, A. et al. Empirically based uncertainty factors for the pedigree matrix inecoinvent. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, p. 1-11, 2013.

CNT – Confederação Nacional do Transporte. Os impactos da má qualidade do óleo diesel brasileiro. Brasília: CNT, 2012.

CONAB. Dendeicultura da Bahia. Superintendência Regional da Bahia e Sergipe Gerência de Desenvolvimento e Suporte Estratégico Setor de Apoio à Logística e Gestão da Oferta. 2006.

COSTA, R. E.; LORA, E. E. S.; YANEZ, E. *et al.* Balanço energético preliminar da produção do biodiesel de óleo de palma para as condições do Brasil e da Colômbia. In: 6º ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, Campinas, 2006.

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. Itajubá, MG. p.195 2007.

CUNHA, R.N.V. Produção de híbridos interespecíficos entre o caiaué (*Elaeis oleifera kunt, Cortez*) e o dendezeiro (*Elaeis guineensis Jacq.*) II Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel.

DUTRA, L.G. **Calagem para Seringueira. Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo. Anais**. Campinas, SBCS, p 341-5, 1983.

EMBRAPA. **A cultura do dendê**. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, Coleção plantar, n.32, 68p. 1995.

FAO. **Small-scale palm oil processing in Africa**. 2008. Disponíveis em:<<http://www.fao.org/DOCREP/005/Y4355E/y4355e04.htm>.> Acesso em: 12 jun. 2008.

FAOSTAT. **Value of Agricultural Production**. 2014. Disponível em:<<http://faostat3.fao.org/download/Q/QV/E>> Acesso em: junho de 2015.

FAPESPA. **Boletim Agropecuário do Pará. Ano de 2015.** Acesso em: maio de 2016. Disponível: <http://www.fapespa.pa.gov.br/sites/default/files/Boletim_Agropecuario_do_Estado_do_Para_2015.pdf>

FEDEPALMA. **La producción de palma de datos en Colombia.** Disponível em : <<http://sispaweb.fedepalma.org/sitepages/produccion.aspx>. 2007> Acesso em: 10 de ago. de 2015.

FERNANDES, I.O. L. **Avaliação energética e ambiental da produção de óleo de dendê para biodiesel na região do baixo sul.** Ilhéus, Bahia: UESC, 2009.

FERREIRA, S. G.; CARVAS, R.N. **Análise comparativa do ciclo de vida do biodiesel obtido a partir do óleo de dendê e etanol versus diesel de petróleo.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo: São Paulo, SP, 2014.

FRANCO, M. A. J.; SARAIVA NETO, A. **Produção de fertilizantes nitrogenados e suprimento de matéria-prima.** Brasília, DF: Ministério da Indústria e Comércio, p. 65, 2008.

GAN, P. Y. ; LI, Z. D. **Econometric study on Malaysia' s palm oil position in the world market to 2035.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 39, p. 740-747, 2014.

GASOL, C. M. et al. **Life cycle assessment of a *Brassica carinata* bioenergy cropping system in southern Europe.** *Biomass and Bioenergy*, v. 31, p. 543-555, 2007.

GAZZONI, D. L.; FELICI, P. H. N; CORONATO, R. M.S.; RALISCH, R. **Balanco energético das culturas de soja e girassol para produção de biodiesel.** *Biomassa & Energia*, v. 2, n. 4, p. 259-265. 2005.

GOH, K. J.; HÄRDTER. R. **General Oil Palm Nutrition.** In: FAIRHURST, T.; HÄRDTER, R. (Ed.). *Oil palm: management for large and sustainable yields.* Singapore: PPI/PPIC and IPI, p. 384, 2003.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energia, meio ambiente e desenvolvimento.** 2008.

HANSEN, S. B.; OLSEN, S. I.; UJANG, Z. **Carbon balance impacts of land use changes related to the life cycle of Malaysian palm oil-derived biodiesel**. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 19, n. 3, p. 558-566, 2014.

HARRIS, S.; V. NARAYANASWAMY. **A Literature Review of Life Cycle Assessment in Agriculture**. Rural Industries Research and Development Corporation: Austrália, 2009.

IBAMA. **Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente**. Resolução CONAMA Nº 001, de 23 de janeiro de 1986.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Estados@.2007. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/temas.php?sigla=ba&tema=lavoura permanente2007>>. Acesso em: 5 ago. 2015

IPCC. **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, 2014.

JOLLIET, O.; MÜLLER-WENK, R.; BARE, J.; BRENT, A., GOEDKOOP; M., HEIJUNGS, R; REBITZER, G. **The LCIA midpoint-damage framework of the UNEP/SETAC life cycle initiative**. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, n. 9, p. 394-404, 2004.

KULAY, L.A. Desenvolvimento de modelo de análise de ciclo de vida adequado às condições brasileiras: Aplicação ao caso do superfosfato simples. 2000. 143 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

LEITE, R. C. C.; LEAL, M. R. LV. **O biocombustível no Brasil**. *Novos estudos-CEBRAP*, n. 78, p. 15-21, 2007.

LIMA, S. M. V. et al. **Desempenho da cadeia produtiva do dendê na Amazônia Legal**. SUDAM/Fundação do Desenvolvimento da UFPE, Manaus, 2000.

MARANDUBA, H. L.; ROBRA, S.; NASCIMENTO, I. A.; et al. **Reducing the life cycle GHG emissions of microalgal biodiesel through integration with ethanol production system**. *Bioresource Technology*, v. 194, p. 21–27, 2015.

MDA. **Aumento de biodiesel no diesel traz vantagem para produção familiar.** Disponível em: <<http://www.mda.gov.br> > 2014. Acesso em: 12 de ago. de 2015.

MENDES JÚNIOR, A. A. **Participação da energia fóssil na produção dos fertilizantes industriais nitrogenados com ênfase na uréia.** 2011. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO.

MENDES A, N. C.; BUENO A, C.; OMETTOA, A. R. Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida: revisão dos principais métodos. **Production**, v. 26, n. 1, p. 160-175, 2016.

MME. Acesso em maio de 2015. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/programas/biodiesel/menu/biodiesel/perguntas.html>>

MME. Programa Nacional de Produção e uso do Biodiesel. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/programas/biodiesel/menu/biodiesel/pnpb.html>> Acesso em: 08 de ago. de 2015.

MONTEIRO, MARCIO FERRAZ. **Avaliação do Ciclo de Vida do fertilizante superfosfato simples.** 2008. Tese de Doutorado. Dissertation, Federal University of Bahia.

MPOC. Acesso em: abril de 2015. Disponível: <http://www.mpoc.org.my/The_Oil_Palm_Tree.aspx>.

MÜLLER, A. A. **A cultura do dendê.** Belém: EMBRAPA – CPATU, 24p, 1980.

MÜLLER, A. A.. **A Embrapa Amazônia Oriental e o agronegócio do dendê no Pará.** Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2006.

OBA, C.A.I. Fabricação de um Fertilizante Organo-Fosfatado. Rio de Janeiro: **CETEM/MCT**, p.35, 2004.

PAPONG, S. et al. Life cycle energy efficiency and potentials of biodiesel production from palm oil in Thailand. **Energy Policy**, n. 38 p. 226–233, 2010.

PIMENTEL, D.; PATZEK, T. W. Ethanol production using corn, switchgrass, and wood; biodiesel production using soybean and sunflower. **Natural Resources Research**. v. 14. n. 1, p. 65-76. 2005.

PLEANJAI, S.; GHEEWALA, S. H.; GARIVAIT, S. Environmental Evaluation of Biodiesel Production from Palm Oil in a Life Cycle Perspective. **Sustainable Energy and Environment**, p. 604-608, 2004.

PRUEKSAKORN, K. ; GHEEWALA, S. H. Energy and greenhouse gas implications of biodiesel production from *Jatropha curcas* L. In: **Proceedings of the 2nd Joint International Conference on Sustainable Energy and Environment**. p. 21-23, 2006.

QUEIROZ, A.G. A avaliação do ciclo de vida do biodiesel a partir de óleo de palma ("dendê") na Amazônia. **Biomass and bioenergy**. n 36, p 50-59, 2012.

RAMALHO FILHO, A. et al. Zoneamento agroecológico, produção e manejo da cultura de palma de óleo na Amazônia. Rio de Janeiro, RJ: **Embrapa Solos**, p. 2016, 2010.

RIBEIRO, D. S.; DA SILVA, F. C. J.; CARVALHO, T. N. Sobrevivência de seis espécies florestais em uma área explorada seletivamente no município de Moju, Pará. **Cerne**, v. 9, n. 2, p. 153-163, 2003.

RIBEIRO, P. H. **Contribuição ao banco de dados brasileiro para apoio à avaliação do ciclo de vida: fertilizantes nitrogenados**. 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

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.

SCHENCK, R. Introduction to Life Cycle Assessment: Scoping and Inventory. US EPA Region X. 2009.

SEGRI-GEEMA - Secretaria de Agricultura do estado do Pará. Dados de produção agrícola – Cultura permanente. 2012. Disponível em:< <http://www.sagri.pa.gov.br/pagina/agricultura> > Acesso em: 07 de ago 2015.

SHARIP, Z.; ZAKARIA, S. **Lakes and Reservoir in Malaysia: Management and Research Challenges**. In: Proceedings of Taal2007: The 12th World Lake Conference. p. 1354, 2008.

SILVA, T. L.; BARBOSA, P. P.; de ANGELIS NETO, G. Impactos ambientais da cadeia têxtil do algodão por meio da avaliação do ciclo de vida. In: **Anais do III Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida de Produtos e Serviços** : Maringá, 2012.

SIREGAR, K. et al. A comparison of life cycle assessment on Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) and Physic Nut (*Jatropha curcas* Linn.) as feedstock for Biodiesel production in Indonesia. **Energy Procedia**, v. 65, p. 170-179, 2015.

SUMATHI, S.; CHAI, S. P.; MOHAMED, A.R. Utilization of oil palm as a source of renewable energy in Malaysia. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**.18p, 2007.

URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BOODEY, R. M. Produção de biocombustíveis A questão do balanço energético. **Revista de política agrícola**, v. 14, n. 1, p. 42-46, 2005.

VIÉGAS, I. J. M; BOTELHO, S. M. Nutrição mineral do dendezeiro. In:_____ VIÉGAS, I J. M.; MULLER, A. A. (Ed). **A cultura do dendezeiro na Amazônia Brasileira**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental/Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, p. 229- 273, 2000.

VIOLA, M. R. Simulação hidrológica na cabeceira da bacia hidrográfica do rio Grande de cenários de usos do solo e mudanças climáticas **A1B**. 2014.

YUSOFF S.; HANSEN S.B. Feasibility Study of Performing a Life Cycle Assessment on Crude Palm Oil Production in Malaysia. **Int J LCA**. p. 50–58, 2007

ZHOU, L. et al. Different responses of soil respiration and its components to nitrogen addition among biomes: a meta-analysis. **Global change biology**, v. 20, n. 7, p. 2332-2343, 2014.