



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGROENERGIA**

RITA DE CÁSSIA MOREIRA RODRIGUES

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL E ENERGÉTICO DA FASE
AGRÍCOLA DA PRODUÇÃO DE CACHOS FRESCOS DE PALMA DE ÓLEO NO
MUNICÍPIO DE MOJÚ INTERIOR DO ESTADO DO PARÁ**

PALMAS - TO

2022

RITA DE CÁSSIA MOREIRA RODRIGUES

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL E ENERGÉTICO DA FASE
AGRÍCOLA DA PRODUÇÃO DE CACHOS FRESCOS DE PALMA DE ÓLEO NO
MUNICÍPIO DE MOJÚ INTERIOR DO ESTADO DO PARÁ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroenergia da Universidade Federal do Tocantins (UFT) como requisito para obtenção do título de Mestra em Agroenergia.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Andrea Lemus Erasmo

**PALMAS - TO
2022**

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

- R696a Rodrigues, Rita de Cássia Moreira.
 Avaliação do desempenho ambiental e energético da fase agrícola da produção de cachos frescos de palma de óleo no município de Mojú interior do estado do Pará. / Rita de Cássia Moreira Rodrigues. – Palmas, TO, 2022.
 52 f.
- Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) em Agroenergia, 2022.
 Orientador: Prof. Dr. Eduardo Andrea Lemus Erasmo
1. Elaeis guineensis Jacq. 2. Impacto ambiental. 3. Energia. 4. Berço ao portão. I. Título

CDD 333.7

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.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

RITA DE CÁSSIA MOREIRA RODRIGUES

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL E ENERGÉTICO DA FASE
AGRÍCOLA DA PRODUÇÃO DE CACHOS FRESCOS DE PALMA DE ÓLEO NO
MUNICÍPIO DE MOJÚ INTERIOR DO ESTADO DO PARÁ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, foi avaliada para obtenção do título de Mestre em Agroenergia, e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca examinadora.

Data de Aprovação ____/____/____

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Eduardo Andrea Lemus Erasmo (Presidente da comissão)

UFT/PPGA

Prof. Dr^a. Yolanda Vieira de Abreu (Examinadora interna)

UFT/PPGA

Prof. Dr. Jacinto Pereira Santos (Examinadora externa)

UFT/PPGA

DEDICATÓRIA

À minha família

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, pois é ele que me dá forças para continuar seguindo em frente;

Ao Prof. Dr. Eduardo Andrea Lemus Erasmo pela orientação, paciência e confiança para realização desse trabalho e de todos os outros, muito obrigada;

A Dr. Nádia da Silva Ramos pela coorientação, amizade e paciência;

Aos examinadores da banca Prof. Dr. Jacinto Pereira Santos e Prof. Dr^a. Yolanda Vieira de Abreu por terem contribuído com sugestões e conselhos referente a elaboração do trabalho;

À Universidade Federal do Tocantins, e ao Programa de Pós-Graduação em Agroenergia pela oportunidade de qualificação profissional;

Agradeço a Empresa P. O empreendimento (nome fictício) pelo fornecimento de dados, materiais e visitas que foram fundamentais para o desenvolvimento dessa pesquisa

A CAPES pelo apoio financeiro.

“Aquele que conhece o inimigo e a si mesmo, ainda que enfrente cem batalhas, jamais correrá perigo. Aquele que não conhece o inimigo, mas conhece a si mesmo, às vezes ganha, às vezes perde. Aquele que não conhece nem o inimigo nem a si mesmo, está fadado ao fracasso e correrá perigo em todas as batalhas”.

Sun Tzu

RESUMO

Rita de Cássia Moreira Rodrigues. **Avaliação do desempenho ambiental e energético da fase agrícola da produção de cachos frescos de palma de óleo no município de Mojú interior do estado do Pará.** 2022. 52 f. Dissertação de Mestrado – Programa de Mestrado em Agroenergia, Universidade Federal do Tocantins, Palmas – TO, 2022.

Objetivou-se com o trabalho identificar e avaliar quais etapas obtiveram maior consumo energético e os principais impactos ambientais causados do berço ao portão da fábrica (*cradle-to-gate*) do cultivo de palma óleo da empresa P-TELAPA no município de Mojú, interior do Estado do Pará. A avaliação do ciclo de vida foi realizada a partir de pesquisas, coleta de dados e informações sobre a fase agrícola da produção de palma óleo de 2009 a 2019, sendo esses referentes as etapas: Produção de mudas, Pré-viveiro, Viveiro e Colheita. Os resultados analisados foram obtidos diretamente com o auxílio do Software de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), SimaPro, versão 8. 1; metodologia ReCiPe Midpoint (H) e Cumulative Energy Demand V1.09 (CED). Os resultados mostraram que dentre as etapas de produção da fase agrícola as que exerceram as maiores contribuições com os impactos ambientais e com o consumo energético foram as etapas de plantio e colheita em consequência da maior aplicação de fertilizantes sintéticos e da combustão do diesel fóssil utilizado no preparo da área e no transporte de cachos do campo para a indústria. As categorias com os maiores índices de emissões de GEE foram mudanças climáticas e depleção fóssil. A utilização do maquinário agrícola durante o preparo da área, o transporte terrestre na fase de colheita e a adubação foram os maiores causadores dos impactos ambientais observados durante a fase agrícola da produção de cachos frescos de palma de óleo.

Palavras-chave: *Elaeis guineensis* Jacq; Impacto Ambiental; Energia; Berço ao Portão.

ABSTRACT

Rita de Cássia Moreira Rodrigues. **Evaluation of the environmental and energy performance of the agricultural phase of fresh palm clusters production in the municipality of Mojú interior of the state of Pará.** 2022. 52 f. Dissertation Project - Agroenergy Master's Degree Program, Universidade Federal do Tocantins, Palmas - TO, 2022.

The objective of this work was to identify and evaluate which stages had the highest energy consumption and the main environmental impacts caused from the cradle to the factory gate (cradle-to-gate) of the palm oil cultivation of the company P-TELAPA in the municipality of Mojú, interior of the State of Pará. The life cycle assessment was carried out based on research, data collection and information about the agricultural phase of palm oil production from 2009 - 2019, these referring to the stages: Seedling production, Pre-nursery, Nursery and Harvest. The analyzed results were obtained directly with the help of the Life Cycle Assessment Software (LCA), SimaPro, version 8.1; ReCiPe Midpoint (H) and Cumulative Energy Demand V1.09 (CED) methodology. The results showed that among the production stages of the agricultural phase, the ones that showed the greatest contributions to environmental impacts and energy consumption were the planting and harvesting stages as a result of the application of synthetic fertilizers and the combustion of fossil diesel used in the transport of bunches from field to industry. The categories with the highest GHG emissions were climate change and fossil depletion. The use of land transport in the harvest phase and nitrogen fertilization in the nursery were the biggest causes of environmental impacts and energy consumption in the palm oil production process.

Keywords: *Elaeis guineensis* Jacq; Environmental impact; Energy; Cradle at the Gate.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Mapa da área de estudo.....	19
Figura 2. Fluxograma referente às entradas e saídas do sistema.	22
Figura 3. Fases da avaliação do ciclo de vida	30
Gráfico 1. Análises das categorias de impactos ambientais para a produção de cachos frescos.....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Insumos utilizados na fase agrícola da produção de Palma de óleo.....	23
Tabela 2. Categorias de impacto ambiental relacionadas a esse estudo.....	26
Tabela 3. Principais Países e suas respectivas produções de óleo de Palma.....	28
Tabela 4. Caracterização do método ReCiPe.....	32
Tabela 5. Produção de energia.....	41
Tabela 6. Inputs da Malásia, Tailândia e Brasil.....	42
Tabela 7. Balanço energético da fase agrícola para 1 tonelada de cachos frescos.....	45

LISTA DE SIGLAS

ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
CO ₂	Dióxido de Carbono
CED	Cumulative Energy Demand V1.09
GEE	Gases de Efeito Estufa
tCO ₂ eq	Tonelada de Gás Carbônico Equivalente
UFT	Universidade Federal do Tocantins
ISO	International Organization for Standardization
LCA	Life Cycle Assessment
P-TELAPA	Palma Oleo, nome fictício da empresa avaliada

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 Problema	17
1.2 Justificativa	17
2 OBJETIVOS.....	18
2.1 Objetivo geral	18
2.2 Objetivos específicos	18
3 MATERIAIS E METODOS.....	19
3.1 Caracterização e delimitação da área de estudo	19
3.2 Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)	20
3.3 Definição do objetivo e escopo	20
3.4 Unidade funcional	20
3.5 Limites e características do sistema	20
3.6 Itens excluídos do estudo	22
3.7 Análise do inventário do ciclo de vida (ICV)	22
3.8 Avaliação do impacto do impacto ambiental e balanço energético	25
3.8.1 Ferramenta computacional utilizada e limitações do estudo.....	27
4 REFERENCIAL TEÓRICO.....	28
4.1 Palma de óleo	28
4.1.1 Fase agrícola da palma de óleo.....	29
4.1.2 Avaliação do Ciclo de Vida.....	30
4.2 Avaliação ambiental	34
4.3 Avaliação energética	35
4.4 Software de ACV	36
4.4.1 SimaPro.....	36
4.4.2 GaBi.....	37
4.4.3 Umberto.....	37
4.4.4 OpenLCA.....	37
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
5.1 Avaliação Ambiental	38
5.2 Balanço energético - CED	40
5.2.1 Comparativo com outros países.....	42
6 SUGESTÕES.....	46
7 CONCLUSÃO.....	47
8 REFERÊNCIAS.....	48

1 INTRODUÇÃO

A palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.), é uma planta de origem africana com centro específico de origem, a região do Golfo da Guiné. No final do século XVI, período de tráfico de escravos africanos, a palma óleo foi introduzida na Bahia e posteriormente levada à região amazônica onde predominam as maiores áreas cultivadas (RAUL, 2019).

No mundo os cinco principais países produtores de óleo de palma no ano de 2021 foram responsáveis por 92% da produção mundial, sendo eles, Indonésia com 58%, Malásia com 26%, Tailândia com 4%, Colômbia com 2% e Nigéria com 2%. O Brasil ocupa a 10ª posição no ranking dos maiores produtores de óleo de palma com 550 mil toneladas por ano, 82% da produção nacional encontra-se no Estado do Pará e 16% no Estado da Bahia (USDA, 2021).

No Estado do Pará os municípios de Tomé-Açu, Concórdia do Pará, Bonito, Acará e Mojú foram os maiores produtores de óleo de palma do Estado no ano de 2018. Tomé-Açu com 34,99% de toda produção do estado, Concórdia do Pará com 14,34%, Bonito com 13,05%, Acará com 12% e Mojú com 9,20% (PANORAMA, 2018).

A palma de óleo é cultura perene com utilização extremamente versátil, empregada na indústria cosmética, têxtil, de higiene, de limpeza, na siderúrgica, de biodiesel, na farmácia e em diversos alimentos. Os principais produtos são o óleo de palma bruto e o óleo de palmiste (MAPA, 2018).

Por ser uma cultura de ampla utilização apresenta constante crescimento e uma produção acelerada, conseqüentemente, uma grande quantidade de subprodutos e resíduos é gerado no campo e na indústria. O processamento dos frutos do dendezeiro fornece os seguintes subprodutos e resíduos: torta de palmiste, fibras, cascas e efluentes líquidos (FURLAN, 2006).

O aproveitamento de subprodutos e resíduos vem recebendo cada vez mais atenção, uma vez que, sua utilização pode gerar benefícios agrônômicos, econômicos e melhoria ambiental, contudo, deve-se buscar a determinação da melhor forma de aplicar esses resíduos e subprodutos no meio ambiente para que sejam utilizados de forma sustentável (FURLAN, 2006).

Além dos benefícios da utilização dos subprodutos e resíduos, o cultivo da palma de óleo no Brasil geraria diversos benefícios para o país, tais como, o

reflorestamento de áreas degradadas da Amazônia Legal, produção de biodiesel, geração de renda e emprego para a agricultura familiar e também realizaria o sequestro de CO₂, o que o torna uma opção viável de investimento (SILVA, 2022).

O desmatamento é uma importante fonte emissora de GEE e representou por anos como o principal emissor de GEE no Brasil (BRASIL, 2018). Essa foi a causa primordial da colocação do Brasil segundo dados publicados em 2021 pela *internacional Carbon Brief* em que foi realizada a análise global de emissões históricas de CO₂ do ano de 1850 a 2021 levando em conta as emissões de CO₂ vindas do uso de combustíveis fósseis, uso da terra e da silvicultura, onde os EUA lideram o ranking mundial com cerca de 20% das emissões históricas de CO₂, em segundo lugar está a China com 11%, em terceiro a Rússia com 7%, em quarto o Brasil com 5% e em quinto lugar a Indonésia com 4% (CARBON BRIEF, 2021).

Tendo em vista a grande problemática que as emissões de CO₂ causam para o planeta, Dotto (2017) realizou o estudo do estoque de carbono em cultivos de palma óleo com até 7 anos de idade na Amazônia Oriental para verificar se de fato a plantação de palma era uma opção viável para ser implantada como potencial sumidouro de carbono.

Dotto (2017) observou que o quantitativo de carbono estocado em plantações com sete anos foi de 66,3Mg/ha, desse total, o solo foi responsável por 71% do carbono sequestrado, a serapilheira foi responsável por 5% e a biomassa acima do solo foi responsável por 24% de todo o carbono sequestrado durante a avaliação do trabalho, sendo portanto, constado que a palma é de fato um potencial sumidouro de carbono.

Por meio do estudo da Pegada de Carbono é possível mapear as emissões de Gases de Efeito Estufa ao longo do ciclo de vida de um determinado produto ou serviço, assim como é possível avaliar as categorias de impacto do mesmo (SIMAPRO, 2022b), e uma metodologia consolidada internacionalmente que realiza essas e outras avaliações, é Avaliação do Ciclo de Vida - ACV (FILHO *et al.*, 2016).

A ACV é um método reconhecido internacionalmente, muito utilizado para avaliar a sustentabilidade da produção de biocombustíveis produzidos a partir da palma de óleo (ARCHER *et al.*, 2018) com o objetivo de melhorar o desempenho

ambiental de produtos e serviços. A etapa que analisa o impacto é direcionada à avaliação da significância desses impactos ambientais potenciais e utiliza os resultados da avaliação do ciclo de vida (FILHO *et al.*, 2016).

Frequentemente, esse processo envolve a associação de dados de inventário com impactos ambientais específicos e a tentativa de compreendê-los. O nível de detalhe, a escolha dos impactos avaliados e as metodologias usadas dependem do objetivo e do escopo do estudo (ABNT, 2009a). Segundo a Resolução CONAMA 001/86 impacto ambiental é:

Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; e a qualidade dos recursos ambientais (CONAMA, 1986).

Fernandes (2009) realizou a avaliação energética com base no ciclo de vida do óleo de palma da fase agrícola e industrial. Dois indicadores energéticos foram levados em consideração no estudo, a razão entre a energia produzida (*Output*) e a consumida (*Input*), bem como, o saldo energético que é a diferença entre as entradas e as saídas de energia.

Perante o exposto, este trabalho visa realizar a avaliação do desempenho ambiental e energético levando em consideração o ciclo de vida da fase agrícola da produção de palma de óleo no município de Mojú, interior do estado do Pará do ano de 2009 a 2019.

A dissertação está dividida em 7 capítulos. Sendo o primeiro referente a introdução; o segundo os objetivos; o terceiro são os materiais e métodos tendo a caracterização da área de estudo, avaliação do ciclo de vida, definição de objetivo e escopo, unidade funcional, limites e características do sistema, itens excluídos do estudo, análise do inventário do ciclo de vida e avaliação do impacto do ciclo de vida.

No quarto capítulo, é apresentado o referencial teórico sobre a palma de óleo, avaliação do ciclo de vida da palma, avaliação ambiental, avaliação energética e descrição do software utilizado no trabalho, assim como, de mais três com a mesma funcionalidade. No capítulo cinco estão os resultados e

discussão da avaliação ambiental e energética, bem como o comparativo com outros países. O sexto capítulo corresponde as conclusões e as recomendações do trabalho e por fim, o sétimo capítulo com as referências.

1.1 Problema

Quantificar o gasto energético e identificar os possíveis impactos ambientais que podem ocorrer na fase agrícola da produção de cachos frescos de palma de óleo, precisamente na área avaliada da empresa P-Telapa localizada no município de Mojú, interior do Estado do Pará, entre os anos de 2009 e 2019.

1.2 Justificativa

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta eficaz que analisa o impacto ambiental e a eficiência energética associada a um produto ou atividade durante seu ciclo de vida. Esta ferramenta leva em consideração todo o ciclo de vida de um produto ou serviço verificando as entradas e saídas de matéria prima e energia ao longo do ciclo de vida estudado.

Para avaliar corretamente o desempenho ambiental e energético da fase agrícola da palma de óleo é necessário seguir o passo a passo de um estudo de ACV e somente após a realização dele será possível avaliar os impactos ambientais e o gasto energético relativos as entradas e saídas do sistema e assim poder sugerir melhorias e alternativas para o processo estudado.

Concluir a ACV da palma de óleo permitirá ao pesquisador responsável identificar as etapas críticas, apontar as principais entradas responsáveis e sugerir alternativas para a reutilização dos subprodutos, bem como, subsidiar através dos resultados conhecimento para a empresa realizar sua tomada de decisão.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar o desempenho ambiental e energético do ciclo de vida da fase agrícola da produção de cachos frescos da empresa P-Telapa no município de Mojú, interior do Estado do Pará.

2.2 Objetivos específicos

- Listar as entradas e saídas de insumos e energia da fase agrícola da produção de cachos frescos de palma de óleo;
- Avaliar os impactos ambientais e o balanço energético do ciclo de vida da fase agrícola da produção de cachos frescos de palma de óleo;
- Avaliar o balanço energético da palma de óleo no município de Mojú- PA e comparar com o balanço energético realizado em alguns dos principais países produtores de óleo de palma;

3 MATERIAIS E METODOS

3. 1 Caracterização e delimitação da área de estudo

O estudo foi realizado nas áreas de cultivo de palma de óleo da empresa P-Telapa localizada no município de Mojú (01° 53' 02" S, 48° 46' 08" W), mesorregião do nordeste paraense, estado do Pará-Brasil como mostra a figura 1.

Figura 1: Mapa da área de estudo.



Fonte: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Moju>

O clima é Am de acordo com a classificação de Köppen, a temperatura média anual varia entorno de 25-27°C e a precipitação fica entre 2000-3000mm ao ano, com distribuição irregular ocorrendo pequeno período seco. A estação chuvosa ocorre do mês de dezembro ao mês de maio e o período de estiagem de julho a novembro (MIRANDA *et al.*, 2017).

O relevo é plano, com declive variando 0% a 3%. O solo predominante é o Latossolo Amarelo, com diferentes texturas, ocorrendo também Argissolos, Gleissolos e Plintossolos (SANTOS *et al.*, 1985).

Para a realização desse estudo referente a avaliação do ciclo de vida da fase agrícola produção de palma de óleo foi selecionada a parcela N-23 de 34,54 ha, densidade de 170 plantas/ha, implantada no ano de 2009 com a variedade Compacta X Ghana. A parcela N-23 foi selecionada por ser uma parcela com

muita representatividade em relação a área total cultivada com palma óleo da empresa P-TELAPA, sendo a seleção baseada em três princípios: variedade com maior área plantada, ano de plantio e produtividade média. Os dados referentes as etapas: produção mudas, pré-viveiro, viveiro e anos de produção (2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 e 2019) foram coletados diretamente do banco de dados da empresa e validados por visitas ao local.

Os valores analisados foram obtidos diretamente com o auxílio do Software de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) SimaPro, versão 8.1.

3. 2 Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

A construção da Avaliação do Ciclo de Vida deve seguir as etapas seguintes conforme as orientações contidas nas normas da ISO 14040:2009 e ISO 14044:2009 que abrangem estudos deste tipo (ABNT, 2009). A área onde o estudo foi realizado é cultivada com a variedade do tipo Compacta X Ghana com sistema de cultivo convencional e os dados utilizados foram obtidos e validados através de visitas técnicas a empresa, bem como, coletados diretamente do banco de dados da empresa.

3. 3 Definição do objetivo e escopo

Com a realização do estudo objetivou-se avaliar os impactos ambientais causados do berço ao portão da fábrica (*cradle-to-gate*) e apontar qual etapa da produção de palma de óleo exerceu maior contribuição com os impactos ambientais e com o consumo energético.

3. 4 Unidade funcional

A unidade funcional utilizada foi de uma tonelada de cacho fresco. Para a elaboração do estudo foi estabelecido como função do sistema produzir cachos frescos.

3. 5 Limites e características do sistema

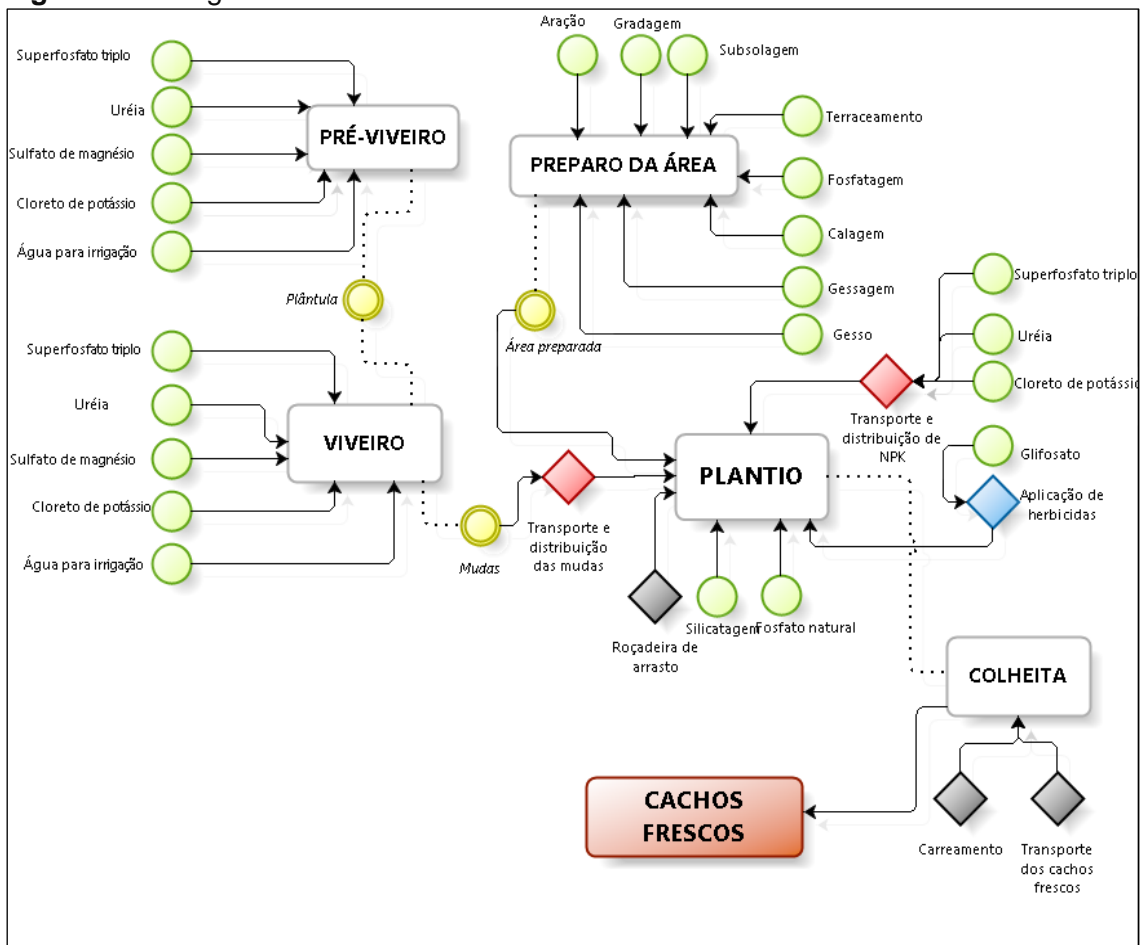
Este estudo de ACV foi desenvolvido considerando a fase agrícola da produção de Cachos Frescos (CF) de palma de óleo seguindo uma abordagem do berço ao portão (*cradle-to-gate*) iniciando no ano de 2009, seguido dos anos de produção de cachos frescos, de 2013 a 2019. O sistema inclui os processos vindos da esfera tecnológica como os pesticidas, transporte, fertilizantes e diesel.

A produção de CF foi dividida em quatro etapas referentes a fase agrícola:

- **Pré-viveiro:** esta etapa refere-se à produção de mudas, a partir da chegada das sementes pré-germinadas, preparo do substrato, enchimento dos sacos e adubação.
- **Viveiro:** referente ao transporte das mudas para o campo para aclimação, transplântio e adubação.
- **Plantio em campo:** refere-se ao transporte das mudas do viveiro para a área de plantio, aplicação de pesticidas e adubação.
- **Colheita:** esta etapa refere-se a colheita dos CF e transporte até os portões da fábrica, precisamente, 34km.

A Figura 2 apresenta o fluxograma simplificado, identificando as principais entradas e saídas do sistema de produção de óleo de palma, delimitando a fronteira desse estudo da fase agrícola até o portão da frabrica onde o óleo de palma será processado.

Figura 2. Fluxograma referente às entradas e saídas do sistema.



Fonte: Martins (2016).

3. 6 Itens excluídos do estudo

Foram excluídos do estudo itens que não haviam dados disponíveis, tais como, edifícios, iluminação viária, trabalhadores, anos de produção (2010, 2011 e 2012) e descarte de sacos de polietileno do pré-viveiro e viveiro, presumindo-se que, os sacos plásticos de polietileno utilizados nas etapas de pré-viveiro e viveiro foram coletados e repassados para a fábrica de reciclagem (HASHIM *et al.*, 2010).

3. 7 Análise do inventário do ciclo de vida (ICV)

Os dados de entrada para a realização da ACV das etapas de pré-viveiro, viveiro, plantio e colheita foram coletados e validados por visitas ao local nos meses de março e outubro de 2019, conversas e e-mails trocados com a

empresa. Todos os dados de entrada foram referentes aos insumos utilizados durante a fase agrícola da empresa P-Telapa, precisamente, a quantidade utilizada para cultivar um hectare de 170 plantas/ha com a variedade Compacta x Ghana. A área possui uma média de produção de 20 toneladas de cachos frescos por hectare/ano, os dados referentes aos insumos podem ser observados na tabela 1.

Essa etapa visa atender ao propósito e ao objetivo estabelecido durante o levantamento de dados, os quais irão possibilitar a quantificação das entradas e saídas do sistema como as emissões de resíduos para o ar, água e solo. É uma fase dinâmica, e ao passo que os dados são coletados o conhecimento sobre o sistema torna-se mais amplo, certos requisitos ou limitações podem passar por mudanças para satisfazer os objetivos do trabalho.

Tabela 1. Insumos utilizados na fase agrícola da produção de Palma de óleo.
(continua)

<i>Inputs</i>	<i>Unidade</i>	<i>Valor</i>
Pré-viveiro		
		170 plantas/ha
Fosforo (P ₂ O ₅)	kg/ha	0,089
Nitrogênio (N)	kg/ha	0,089
Potássio (K ₂ O)	kg/ha	0,089
Pesticidas	l/ha	*
Diesel	l/ha	*
Viveiro		
Fosforo (P ₂ O ₅)	kg/ha	5,1
Nitrogênio (N)	kg/ha	*
Potássio (K ₂ O)	kg/ha	*
Pesticidas	l/ha	*
Diesel	l/ha	17
Plantio		
Área preparada, tratos culturais, plantio	Ha	1
Fosforo (P ₂ O ₅)	kg/ha	15,87
Nitrogênio (N)	kg/ha	15,87
Potássio (K ₂ O)	kg/ha	15,87
Pesticidas	l/ha	3,5
Diesel	l/ha	35
Colheita		
	ton	20
Caminhão, do plantio para a usina	tkm	100
Fosforo (P ₂ O ₅)	kg/ha	25,23
Nitrogênio (N)	kg/ha	16,67
Potássio (K ₂ O)	kg/ha	65,68
Pesticidas	l/ha	8,03

Tabela 2. Insumos utilizados na fase agrícola da produção de Palma de óleo. (conclusão)

<i>Inputs</i>	<i>Unidade</i>	<i>Valor</i>
Diesel	l/ha	40,76
Emissões para o ar	Unidade	Valor
Óxido de nitrogênio	Kg	0,00611
Amônia	Kg	0,04626
Monóxido de nitrogênio	Kg	0,00613
Glyphosate	Kg	1,238
Emissões para a água	Unidade	Valor
Nitrato	Kg	0,00766
Emissões para o solo	Unidade	Valor
Arsênico	Kg	3E-04
Cádmio	Kg	0,000009

Fonte: Rodrigues (2022).

Como pode ser observado na tabela 1, eram poucos ou inexistentes os tratamentos culturais referentes à adubação ou ao uso de pesticidas realizados nos plantios de palma de óleo da empresa avaliada, visto que, na época acreditava-se que a palma de óleo era uma planta rústica e que independentemente da adubação produziria bem, fato que estava começando a mudar com a ajuda dos técnicos responsáveis pelos plantios.

Na etapa de pré-viveiro as sementes foram semeadas em ambiente protegido para evitar danos às plântulas durante as primeiras etapas do desenvolvimento causados pela incidência direta de radiação solar e pelas altas temperaturas. O sombreamento inicial foi de 40 a 50% feito com palhas de palmeira (Inajá) e pé direito de 2,0 metros. Nesta etapa foi realizada uma única adubação por muda utilizando N-P-K.

As mudas foram retiradas do pré-viveiro três meses após a semeadura com 3 a 4 folhas e transplantadas para o viveiro em sacos plásticos de 40cm x 40cm, espessura de 0,25 mm, o enchimento foi realizado com solo dos primeiros 10cm da área que o viveiro foi instalado para aclimatação, permanecendo nessa etapa por aproximadamente 9 meses. Foi realizada a adubação fosfatada por muda durante o transplante e o diesel contabilizado nessa etapa foi referente ao transporte das mudas do pré-viveiro para o viveiro.

Na etapa de plantio a adubação foi realizada por cova com aplicação de N-P-K quando era de extrema necessidade. Além disso, após o plantio foi realizada uma capina química utilizando o glifosato (Roundup®) na dosagem de

3.5 L/ha quando o técnico julgou necessário, aplicado com “chapéu de Napoleão” nas barras e bicos com indução de ar (Jacto AVI-11002) com o objetivo de evitar deriva. O diesel gasto nessa etapa foi referente ao transporte das mudas do viveiro para o local de plantio definitivo.

Na etapa de colheita os dados relacionados a adubação, uso de pesticidas e diesel foram referentes a média dos anos de 2013 a 2019, além dos tratamentos culturais básicos realizados durante essa etapa, também eram realizadas periodicamente a poda das folhas basais, bem como a colheita manual, onde os cachos eram colhidos manualmente e levados até a estrada de acesso mais próxima para posteriormente serem transportados em caminhões até o portão da fábrica.

3. 8 Avaliação do impacto do impacto ambiental e balanço energético

Nessa fase as problemáticas devem ser identificadas e deve haver sugestões para a minimização e/ou mitigação relacionados a avaliação que está sendo realizada, mas por ser uma etapa totalmente dependente das outras pode ser necessário realizar a análise do inventário e dos objetivos para saber se os resultados atenderam ao que foi proposto anteriormente ou se houve incoerência entre as entradas e saídas.

É uma etapa essencial para a realização da avaliação do ciclo de vida elaborado com o auxílio do software SimaPro, versão 8.1©, metodologia ReCiPe Midpoint(H) e Cumulative Energy Demand V1.09 (CED). A partir do método ReCiPe foram avaliadas as categorias de impacto: mudanças climáticas, acidificação terrestre, ocupação de solos agrícolas e depleção do ozônio (tabela 2), já o CED é um método desenvolvido pela PréConsultants, publicado pelo Ecoinvent que analisa a quantidade de energia demandada na produção de uma unidade funcional e é usado como base para o balanço energético.

Tabela 3. Categorias de impacto ambiental relacionadas a esse estudo

CATEGORIAS DE IMPACTO	
MUDANÇAS CLIMÁTICAS	Relativo ao aumento da temperatura média do planeta devido a emissões antrópicas de gases de efeito estufa. Ocasiona o derretimento das geleiras, aumento dos níveis dos oceanos, mudanças dos eventos climáticos, como precipitação, temperatura, etc. É o potencial de aquecimento global. A unidade é kg de CO ₂ -eq. (Ex: CH ₄ = 21 x CO ₂).
ACIDIFICAÇÃO	Esse fenômeno está ligado à precipitação de três tipos de compostos poluentes: dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio e amoníaco que ocasionam a chuva ácida e conseqüentemente causam a degradação de florestas, lagos, construções, dentre outros. Está relacionado á agricultura, ao transporte e ao consumo de energia. O impacto é local/regional. A unidade funcional é dada em Kg SO ₂ -eq.
DEPLEÇÃO DO OZÔNIO	Conversão do ozônio em oxigênio pela reação com moléculas de origem antrópica (CFC, CH ₃ Cl, CH ₃ Br, N ₂ O, etc.). Ocasiona o aumento de raios ultravioleta (UV-B), câncer de pele e o impacto é global. A unidade funcional é dada em Kg CFC-11-eq.
OCUPAÇÃO DE SOLOS AGRÍCOLAS	Está relacionado as conseqüências da utilização e mudanças antrópicas do solo, tais como, a perda da biodiversidade, competição pelo uso do solo e funções do suporte para a vida. Ocasiona impactos locais/regionais. A unidade funcional é dada em m ² .

Fonte: PRÉ CONSULTANTS, 2014.

Diversas técnicas foram desenvolvidas ao longo do tempo com o proposito de calcular o consumo energético primário e a metodologia mais disseminada atualmente é a Demanda Acumulada de Energia (Cumulative Energy Demand – CED) que calcula a demanda total de energia primária do ciclo de vida de materiais (PIMENTA; NEVES; SILVA, 2019). A equação utilizada para calcular o CED está descrita abaixo:

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

Em que:

CED = Cumulative Energy Demand;

Einput = Somatória das energias de entrada.

Portanto, CED é a quantidade de energia suficiente para a produção da unidade funcional do produto final vinda tanto de fontes renováveis como de fontes não-renováveis. Ou seja, é a energia necessária para a produção de uma tonelada de cacho fresco de dendê no Estado do Pará, na Malásia e na Tailândia. Nesse trabalho, apenas os recursos energéticos das entradas de energia (E_{input}) e saídas (E_{output}) referentes à fase agrícola foram avaliados.

A análise da eficiência energética será realizada através do balanço energético líquido (NEB) e da relação energética líquida (NER) onde NEB é a diferença entre as saídas e entradas de energia e NER é a razão entre a produção total de energia e a entrada total de energia. NEB e NER serão usados como indicadores para investigar os resultados desta análise.

3. 8. 1 Ferramenta computacional utilizada e limitações do estudo

O software SimaPro[®] foi escolhido para a condução do estudo por ser o líder em ACV, utilizado por indústrias, institutos de pesquisa e consultores em mais de 80 países, desenvolvido pela empresa PréConsultants, que possui experiência de mais de 20 anos no ramo das ACV's. Ele permite modelar produtos e sistemas a partir de uma perspectiva de ciclo de vida, construir modelos complexos de forma sistemática e transparente e acessar bibliotecas de inventário do ciclo de vida, como o ecoinvent. Pode ser utilizado para realizar o cálculo da pegada de carbono, declarações Ambientais de Produtos, avaliação do impacto ambiental de produtos ou serviços, determinação de indicadores de desempenho, dentre outros. A versão utilizada foi a 8.1 e a base de dados utilizada foi a Ecoinvent, versão 3.2.

As limitações referem-se principalmente aos dados secundários obtidos da base de dados EcoInvent 3.2. O principal questionamento gira entorno dos dados da produção do insumos agrícolas e combustíveis por referirem à fabricação dos mesmos em países desenvolvidos ou por serem dados resultantes das médias mundiais, que na maioria das vezes não se adequam perfeitamente à realidade brasileira.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Palma de óleo

Os três países líderes na produção de óleo de palma no ano de 2021 detêm 88% de toda a produção mundial, a Indonésia em primeiro lugar com 58% da produção mundial, a Malásia em segundo lugar com 26% e a Tailândia em terceiro lugar com 4%. O Brasil ocupa a décima posição com 1% da produção mundial, 550 toneladas de óleo por ano (USDA, 2021). Na tabela 3 estão descritos os principais países produtores de óleo de palma e suas contribuições.

Tabela 4: Principais Países e suas respectivas produções de óleo de Palma.

País	Toneladas	%
1º Indonésia	44.500	58
2º Malásia	19.700	26
3º Tailândia	3.120	4
4º Colômbia	1.650	2
5º Nigéria	1.400	2
6º Guatemala	880	1
7º Honduras	600	1
8º Papua-Nova Guiné	565	1
9º Equador	564	1
10º Brasil	550	1
TOTAL	73.529	

Fonte: USDA, 2021.

A palma de óleo é uma cultura de alto valor econômico podendo ser produzida em determinadas zonas climáticas que se encontram entre as latitudes 10-20° para o norte ou para o sul da linha do equador (SUBRAMANIAM, 2016).

O óleo de palma tem uma ampla aplicação, sendo utilizado para vários fins, desde óleo de cozinha a produção de biodiesel. A produção do biodiesel da palma de óleo possui um maior ciclo de vida, sendo preferido pelo mercado se

comparado a produção de óleo de cozinha de palma. Essa preferência se dá em parte pelas políticas de incentivo para a produção de biodiesel e sua importância na substituição do diesel fóssil (ADHITIYA; ASTUTI, 2019).

O plantio de palma de óleo realizado pela agricultura familiar no município de Mojú e cidades próximas, no Estado do Pará, foi um projeto que integrou sítios camponeses que dedicam 10 hectares de sua propriedade ao plantio da palma de óleo, assim como agricultores que receberam 10 hectares do governo para que pudessem realizar o cultivo da palma. A empresa Biopalma localizada no município de Mojú no interior do Estado do Pará, possui 106 contratos de projetos de integração com agricultores familiares (SANTOS NAHUMB; BASTOS DOS SANTOS, 2018).

4. 1. 1 Fase agrícola da palma de óleo

A fase agrícola da palma de óleo pode ser dividida em etapas diferentes dependendo da pesquisa, assim como pode variar de pesquisa para pesquisa. (ANTONINI; OLIVEIRA, 2021) em seu trabalho agrupou as etapas obtenção das sementes, pré-viveiro, viveiro e plantio em uma mesma etapa, a etapa de produção de mudas.

O limite do sistema para produção de óleo de palma inicia-se na etapa de produção de mudas e vai até a produção do óleo bruto, sendo a etapa de viveiro e plantio no campo as etapas que mais contribuem para as emissões GEE, contribuição essa que chega a 394,19 kg de CO² eq/t de óleo de palmiste produzido, sendo os fertilizantes e os pesticidas grandes colaboradores para o aumento das emissões GEE (SUBRAMANIAM, 2016).

Segundo Arshad *et al* (2017) um dos fatores que contribui com as altas emissões globais de GEE é o processo de carregamento dos cachos de palma de óleo da plantação para a indústria e da indústria para a refinaria, e quanto maior for essa distância entre as etapas, maiores serão as contribuições globais de GEE. Foi observado também que o transporte das mudas para o campo teve a menor contribuição em relação as emissão GEE se comparado com o transporte das demais etapas (ARSHAD *et al.*, 2017).

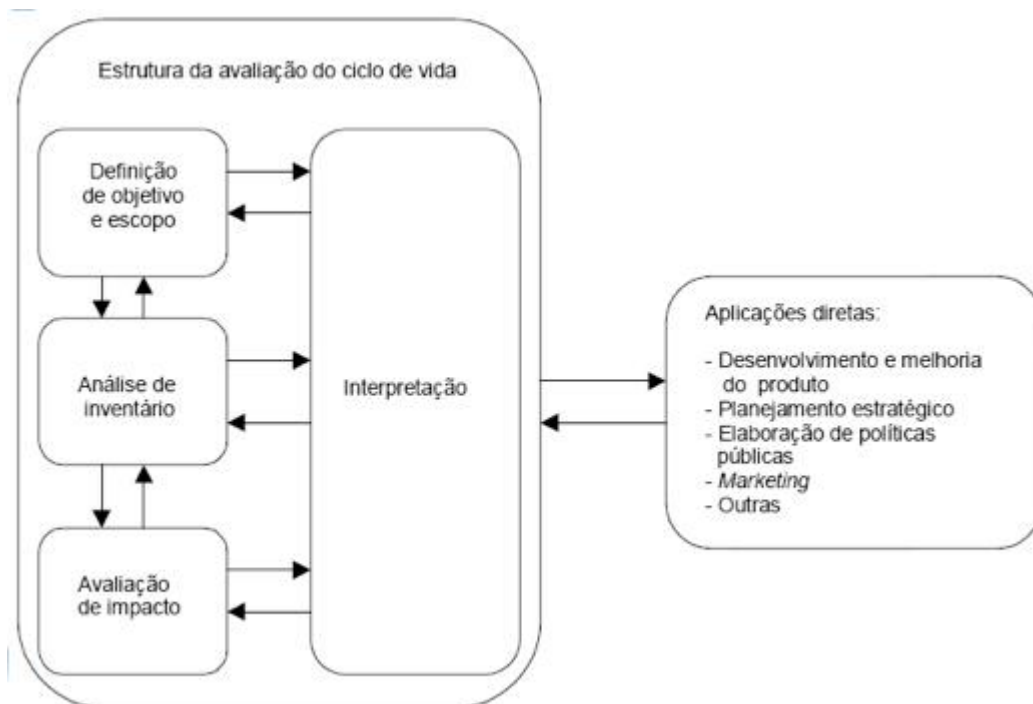
Arshad *et al* (2017) dizem que melhorias em todo o sistema de transporte pode ter impacto positivo em relação ao melhor desempenho ambiental, levando

em conta, que o transporte foi a etapa que causou um dos maiores impactos ambientais no trabalho realizado por eles. O desmatamento para plantios de palma de óleo não é uma opção a ser considerada, pois quando se avalia a sustentabilidade do processo de produção de biodiesel de palma vindos de áreas desmatadas para o plantio, o mesmo emite uma quantidade maior de CO² se comparado ao diesel convencional (PRAPASPONGSA; MUSIKAVONG; GHEEWALA, 2017).

4. 1. 2 Avaliação do Ciclo de Vida

A metodologia utilizada para a realização da ACV é normatizada pela ISO 14040 (ABNT, 2009). Essa metodologia inclui quatro diferentes fases: definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impacto e interpretação conforme mostra a figura 3.

Figura 3: Fases da avaliação do ciclo de vida



Fonte: ISO 14040 (ABNT, 2009).

Para uma avaliação eficiente do ciclo de vida da palma de óleo é necessário analisar todo o sistema de produção desde a produção de mudas até

a produção de óleo, sendo necessário avaliar cada etapa separadamente para evitar alterações nos resultados do estudo (SUBRAMANIAM, 2016).

A avaliação do ciclo de vida é um método reconhecido internacionalmente muito utilizado na avaliação do desempenho ambiental da produção do biodiesel produzido a partir de palma de óleo (ARCHER; MURPHY; STEINBERGER, 2018). A discussão dos resultados deve ser relacionada com os objetivos e escopo do projeto para garantir a delimitação do sistema avaliado e a correta análise dos dados sendo os resultados validos apenas para a área onde foi realizado o estudo (ARCHER; MURPHY; STEINBERGER, 2018).

A unidade funcional da avaliação do ciclo de vida deve ser referente as entradas e saídas do sistema de produção para que essa avaliação possa ser comparada com os resultados obtidos na ACV. A criação do inventário do ciclo de vida é a etapa mais intensiva e demorada de todo o processo de avaliação (ARSHAD *et al.*, 2017).

As avaliações do ciclo de vida de vários estudos sobre os sistemas de produção de palma de óleo possuem muitas lacunas devido à falta de dados disponíveis para realização dessa avaliação, sendo que atualmente obter dados sobre práticas de manejo das plantações e no processo de extração de óleo nas fabricas tornou-se uma tarefa quase impossível (ARCHER; MURPHY; STEINBERGER, 2018).

As categorias de impactos são frequentemente determinadas indiretamente pela escolha do método para avaliação de impacto. Entretanto, devem ser reconhecidas categorias de impacto que são particularmente importantes para o produto em estudo e que podem estar ausentes nos métodos tradicionais de avaliação de impacto de ciclo de vida (TAKEDA , 2008).

Os métodos de avaliação de impacto de ciclo de vida podem variar, empregando uma abordagem *Midpoint* (ponto medio) ou *Endpoint* (ponto final). A abordagem *Midpoint* utiliza métodos como, *EDIP*, *CML II*, *ReCiPe* e o *Endpoint* utiliza métodos como, *Eco Indicador 99*, *IMPACT 2002+*. Através destes métodos os dados de emissões e admissões são tratados, caracterizados e categorizados em impactos ambientais, conforme as normas da série ISO 14040 (MENDES, 2004).

O método *ReCiPe* (tabela 4) tem esse nome porque fornece uma “receita” (em inglês, *ReCiPe*), para calcular os indicadores de impacto do ciclo

de vida e também para representar as iniciais dos institutos que foram seus principais colaboradores (RIVM, a *Radboud University Nijmegen*, o centro de pesquisa CML da Universidade de Leiden e a empresa *Pré Consultants*) (ALVARENGA, 2010).

Tabela 5: Caracterização do método ReCiPe.

MÉTODO	CATEGORIA DE IMPACTO	NÍVEL DE AVALIAÇÃO DE IMPACTO	ABRANGÊNCIA DE APLICAÇÃO	NORMALIZAÇÃO	PONDERAÇÃO
RECIPE	MUDANÇA CLIMÁTICA	COMBINADO	GLOBAL	DADOS DE NORMALIZAÇÃO DISPONÍVEIS PARA EUROPA E PARA O MUNDO EM 2000. DADOS DE NORMALIZAÇÃO PARA TRANSFORMAÇÃO DO SOLO E ESGOTAMENTO DA ÁGUA DOCE NÃO ESTÃO INCLuíDOS	TRÊS OPÇÕES DE PONDERAÇÃO FORAM DESENVOLVIDAS: 1) PARA CATEGORIAS ENDPOINT UM MANUAL ESTÁ DISPONÍVEL MAS NENHUM CONJUNTO DE PONDERAÇÃO OPERACIONAL GENÉRICO FOI DESENVOLVIDO 2) PARA CATEGORIAS MIDPOINT UM MÉTODO DE MONETIZAÇÃO COM BASE EM CUSTOS DE PREVENÇÃO É FORNECIDO 3) PARA CATEGORIAS ENDPOINT UM MÉTODO DE MONETIZAÇÃO COM BASE EM CUSTOS DE DANOS É FORNECIDO
	DEPLEÇÃO DE OZÔNIO		GLOBAL		
	ACIDIFICAÇÃO TERRESTRE		EUROPA		
	EUTROFIZAÇÃO DA ÁGUA DOCE		EUROPA		
	EUTROFIZAÇÃO MARINHA		EUROPA		
	TOXICIDADE HUMANA		EUROPA		
	FORMAÇÃO DE OXIDANTES FOTOQUÍMICOS		EUROPA		
	FORMAÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO		EUROPA		
	ECOTOXICIDADE TERRESTRE		EUROPA		
	ECOTOXICIDADE ÁGUA DOCE		EUROPA		
	ECOTOXICIDADE MARINHA		EUROPA		
	RADIAÇÃO IONIZANTE		EUROPA		
	USO DA TERRA AGRÍCOLA		EUROPA		
	USO DA TERRA URBANA		EUROPA		
	TRANSFORMAÇÃO DA TERRA NATURAL		EUROPA		
	ESGOTAMENTO DE RECURSOS FÓSSEIS		GLOBAL		
ESGOTAMENTO DE RECURSOS MINERAIS	GLOBAL				
ESGOTAMENTO DE RECURSOS DE ÁGUA DOCE	GLOBAL				

Fonte: PRÉ CONSULTANTS, 2014.

O *SimaPro* é um software que foi desenvolvido pela empresa holandesa *Pré Consultants*, é uma ferramenta profissional que serve para coletar, analisar e monitorar o desempenho ambiental de produtos, processos e serviços permitindo modelar e analisar dos mais simples aos mais complexos ciclos de vida, de maneira simples, seguindo as recomendações da série ISO 14040 (PRÉ CONSULTANTS, 2014).

A organização das informações em projetos podem incluir diferentes ciclos de vida podendo ter um ou vários produtos e seus processos podem ser

obtidos das bases de dados do *software SimaPro*. Depois de definida a unidade funcional e o Ciclo de Vida, o *software* calcula a soma das inúmeras intervenções ambientais (ZAPPAROLI, 2011). O *Simapro* disponibiliza alguns bancos de dados gratuitos, como o *Ecoinvent*© 3, *Agri- Footprint*, *ELCD*, *Input Output*, *USLCI* e alguns métodos de avaliação de impacto (PRÉ CONSULTANTS, 2014).

Ele permite modelar produtos e sistemas a partir de uma perspectiva de ciclo de vida, podendo ser utilizado para o cálculo da pegada de carbono, *design* de produto e *design* ecológico, declarações de produtos ambientais, impacto ambiental de produtos ou serviços, relatórios ambientais e determinação de indicadores de desempenho (LASSIO, 2013).

Em Taiwan foi realizado um estudo o qual demonstrou que a categoria de impacto com maior contribuição em relação as emissões de GEE foi a categoria mudanças no uso da terra, com 80% do valor total da ACV, e a etapa de plantio no campo consumiu 55% de toda a energia do sistema. Serão necessários 14 anos para florestas tropicais e 95 anos para turfa superarem o impacto inicial potencial do aquecimento global e do desmatamento causados pelo plantio de palma de óleo em Taiwan (MAHARJAN; WANG; TEAH, 2017).

A categoria de impacto mudança no uso da terra é responsável pelos resultados das emissões de carbono, não exercendo efeito algum sobre a ecotoxicidade terrestre, impactando mais o ecossistema do que a saúde humana. Obaideen *et al.* (2019) dizem em seu trabalho que os resultados por ele obtidos podem ser usados para tomadas de decisões, com o objetivo de reduzir os danos ao ecossistema e a saúde humana, neste estudo os principais causadores de impactos são os fertilizantes e os pesticidas (OBAIDEEN *et al.*, 2019)

A mudança no uso da terra é fator primordial para o cálculo de estoque de carbono, uma vez que a palma de óleo por ser uma cultura perene sequestra um quantitativo maior de CO₂ atmosférico se comparado com culturas anuais e até mesmo com culturas plantadas anteriormente ao plantio da palma de óleo (CASTANHEIRA; FREIRE, 2017).

O estudo realizado por Obaideen *et al* (2019) cobriu 16 categorias de impacto o que possibilitou uma visão abrangente de muitos impactos ambientais, evitando erros ao tentar reduzir uma categoria e acabar aumentando outra. O

transporte quando comparado a outras entradas causadoras de impactos ambientais pode causar menor impacto.

A acidificação terrestre e a eutrofização marinha ocorrem devido a emissão de amônia e nitrato que podem ser emitidos para o meio ambiente devido a utilização em excesso desses fertilizantes nitrogenados. Ao substituir produtos marginais por subprodutos derivados da produção de biodiesel de palma de óleo evita-se mudanças no uso da terra, tendo assim, um processo mais sustentável (PRAPASPONGSA; MUSIKAVONG; GHEEWALA, 2017).

4. 2 Avaliação ambiental

De acordo com as normas da ISO (2006), o impacto ambiental é calculado levando-se em consideração cada categoria selecionada devendo a mesma refletir um extenso aglomerado de questões ambientais elencando ao sistema do produto estudado para que o objetivo(s) do estudo seja atingido e a avaliação qualitativa do produto final seja alcançada.

Um estudo realizado na Tailândia mostrou que a palma de óleo é um importante sumidouro de carbono e quando comparado com a seringueira ou outras culturas a palma de óleo sequestra um maior quantitativo de carbono devido a quantidade de biomassa acima do solo que a palma produz, tendo assim, efeito positivo em relação aos impactos causados pelas mudanças climáticas (PRAPASPONGSA; MUSIKAVONG; GHEEWALA, 2017).

É notadamente grande o número de empresas que se comprometem a comprar e produzir produtos sustentáveis (CARLSON *et al.*, 2018) e a certificação realizada pela Mesa Redonda do Óleo de Palma Sustentável (RSPO) é uma ferramenta muito utilizada para certificar a sustentabilidade da produção do óleo de palma. Cerca de 20% de toda a produção mundial de palma de óleo recebeu essa certificação de sustentabilidade no ano de 2017 (CARLSON *et al.*, 2018).

Foi constatado na Indonésia que a certificação RSPO conseguiu reduzir o desmatamento, mas não conseguiu diminuir os incêndios entre as plantações participantes. A certificação na Indonésia foi dada principalmente em plantios antigos que tinham poucas áreas de florestas remanescentes, sendo necessária a adoção dessa certificação por produtores de palma de óleo em plantios mais

novos para que o impacto em relação ao desmatamento para o plantio da palma de óleo possa ser quantificado (CARLSON *et al.*, 2018).

4.3 Avaliação energética

O balanço energético do óleo de palma pode ser definido, de forma simplificada, como a relação entre a quantidade de energia contida no óleo de palma e a quantidade de energia consumida no seu processo de produção, os gastos energéticos na fase de produção agrícola (FERNANDES, 2009).

A produção de óleo de palma precisa apresentar uma relação favorável entre a energia investida na sua produção (*Input*) e a energia obtida com o seu consumo (*Output*). Sob outra perspectiva, levando em conta as limitações e o uso concorrente de áreas agrícolas, o saldo energético, ou seja, a energia obtida menos a energia investida, por unidade de área agrícola, aparece como um indicador relevante para avaliar diferentes alternativas para a produção de óleo de palma (FERNANDES, 2009).

Nos estudos sobre ACV, principalmente para produção de energia, o balanço energético é considerado como um indicador inicial permitindo quantificar o saldo energético e a combinação entre as saídas e as entradas na produção de um determinado produto ou serviço (OLIVEIRA, 2017).

Espera-se que a utilização do biodiesel seja vantajosa do ponto de vista energético e ambiental no que diz respeito ao seu concorrente fóssil, o diesel, ocasionando redução no consumo de recursos naturais não-renováveis e nas emissões de poluentes, com destaque para os gases causadores do efeito estufa (OLIVEIRA, 2017).

A produção de bioenergia a partir da palma de óleo deve ser orientada seguindo os três pilares da sustentabilidade, o social, ambiental e o econômico. Projetos focados em apenas um desses pilares provavelmente sofrerão muitos problemas futuros (PAPILO; HAMBALI; SITANGGANG, 2018).

Foram recomendados três aspectos considerados adequados para o desenvolvimento da bioenergia na Indonésia, no aspecto ambiental foi a ACV das emissões e gerenciamento de resíduos dos GEE para uma produção mais limpa, no âmbito social foi o acréscimo na renda das famílias e os empregos gerados pelo setor de agroenergia, já no aspecto econômico foi recomendado

produtividade, balanceamento de energia líquida, logística de distribuição de energia e outros (PAPILO; HAMBALI; SITANGGANG, 2018).

Portanto, para o desenvolvimento de qualquer projeto de bioenergia se faz necessário pensar primeiramente nos três pilares, social, ambiental e econômico, para que de fato se possa realizar uma produção realmente sustentável. Para a realização de pesquisas futuras será necessário obter dados mais precisos através de pesquisas mais detalhadas sobre cada processo no desenvolvimento da bioenergia (PAPILO; HAMBALI; SITANGGANG, 2018).

4. 4 Software de ACV

Existe uma ampla gama de softwares que realizam a avaliação do ciclo de vida, como SimaPro, GaBi, Umberto e OpenLCA (OLIVEIRA, 2017; SILVA; NUNES; PIEKARSKI; SILVA MORIS *et al.*, 2019), essa avaliação quantitativa necessita de uma alta quantidade de dados o que demanda tempo (SILVA *et al.*, 2017). Softwares para realizar a ACV foram desenvolvidos para facilitar esse trabalho, muitos dos quais já têm associados bancos de dados e métodos de avaliação de impacto como é o caso do SimaPro (SIMAPRO, 2022a).

4. 4. 1 SimaPro

O SimaPro é software de ACV presente no mercado a mais de 30 anos, utilizado por empresas, consultorias e universidades em mais de 80 países (SIMAPRO, 2022b) sendo o único que permite a adequação completa do estudo à norma série ISO 14044 (OLIVEIRA, 2017). É um software holandês desenvolvido pela empresa PRé Consultants. Podem ser adquiridas licenças para seu uso, a licença educacional (Faculty, Analyst ou PhD) ou a licença comercial (Compact, Analyst ou Developer) podendo ser utilizada por múltiplos usuários simultaneamente (SIMAPRO, 2022b).

O SimaPro é a solução para coletar, monitorar e analisar facilmente o ciclo de vida de produtos e serviços de forma sistemática e transparente atualizado com frequência sua base dados, inclusive para a inclusão de novas bases de dados, é utilizado para auxiliar no manejo e na interpretação das informações (OLIVEIRA, 2017; SIMAPRO, 2022b).

4. 4. 2 GaBi

O software GaBi possui um banco de dados próprio, desenvolvido pela PE international, nas versões: GaBi Envision para ecodesign que permite realização da ACV, da declaração de produto ambiental além de realizar o cálculo da pegada ambiental; o GaBi Server de uso colaborativo permite a colaboração de dois ou mais profissionais utilizando o mesmo banco de dados; GaBi DfX para análise de conformidade de desenvolvimento sustentável de produtos com vistas ao fim da fase de vida, além da versão gratuita GaBi Education para alunos e professores para ensino em sala de aula (GABI, 2020; (OLIVEIRA, 2017).

4. 4. 3 Umberto

Umberto é um software desenvolvido pelo instituto IFU Hamburg da Alemanha, ele pode ser utilizado para aumentar a eficiência dos recursos, realizar ACV, calcular pegadas de carbono ou ainda pode combinar ambas as perspectivas através do custo do ciclo de vida. Essa versão conta com o NXT CO2 utilizado para a pegada de carbono, o NXT LCA para realizar a avaliação de ciclo de vida de produtos, o NXT Universal que avalia a sustentabilidade e produtividade e ainda conta com as versões NXT Efficiency para processos de produtos e NXT MFCA para avaliar a eficiência de materiais (UMBERTO, 2020).

4. 4. 4 OpenLCA

O software OpenLCA possui código aberto, é gratuito criado pela GreenDelta, empresa alemã para realizar a ACV e avaliar a sustentabilidade. Este software é versátil e capaz de atender as necessidades de diferentes grupos de usuários, tais como, indústria, educação consultoria e pesquisa. Ele oferece uma rede de bases de dados onde todos os conjuntos de dados estão disponíveis denominada OpenLCA nexus (ProBas, Psilica, JRC, Okobauldat, USDA, Bioenergiedat, ELCD, Needs, Ecoinvent e o GaBi database) de acesso gratuito ou pago (OpenLCA, 2022).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

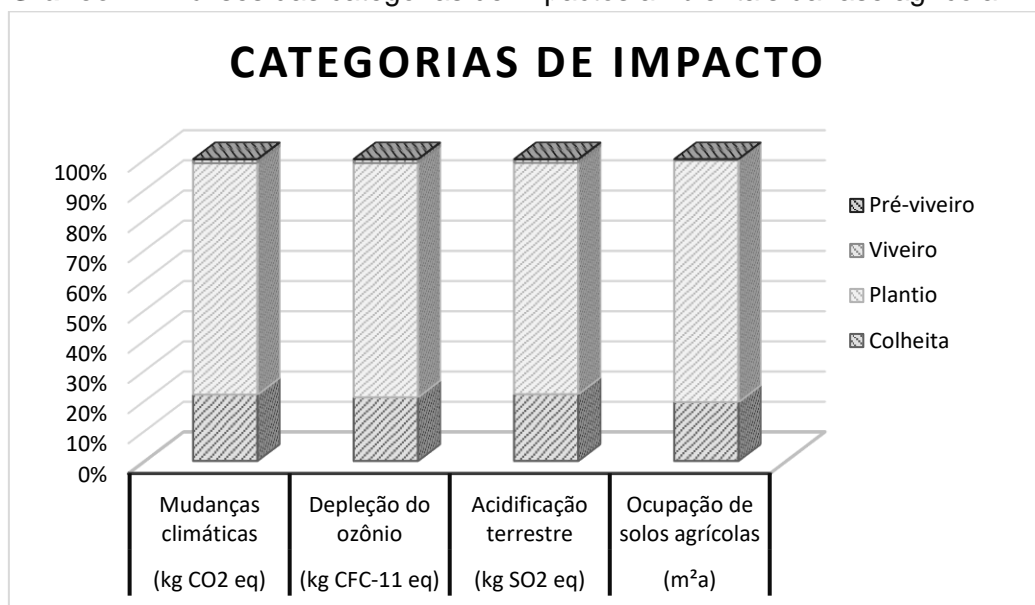
Os resultados apresentados nesse capítulo foram realizados seguindo a abordagem da ACV prevista nas normas da série ISO 14040. As avaliações ambientais e energéticas foram realizadas através do software de avaliação do ciclo de vida SimaPro, versão 8.1©, metodologia ReCiPe Midpoint(H) e Cumulative Energy Demand V1.09 (CED).

A fase agrícola, do berço ao portão da fábrica (*cradle-to-gate*) da produção de óleo de palma foi dividida em quatro etapas: pré-viveiro, viveiro, plantio e colheita para avaliar qual etapa exerceu maior contribuição em relação aos impactos ambientais e ao consumo energético causados durante essa fase. As categorias de impactos ambientais avaliadas foram: mudanças climáticas, depleção do ozônio, acidificação terrestre e ocupação de solos agrícolas.

5.1 Avaliação Ambiental

Esta seção apresenta a avaliação dos impactos ambientais realizados a partir do ciclo de vida da fase agrícola da produção de óleo de palma divididos por etapas: pré-viveiro, viveiro, plantio e colheita, como pode ser observado no gráfico 1.

Gráfico 1: Análises das categorias de impactos ambientais da fase agrícola.



Fonte: Rodrigues (2022).

As análises elaboradas nesta etapa foram realizadas visando a obtenção de 1 tonelada de cachos frescos. As etapas da fase agrícola que contribuíram com os maiores impactos ambientais foram o plantio e a colheita em relação a todas as categorias de impacto avaliadas neste estudo devido a maior utilização de pesticidas, adubação e transporte durante essas etapas. O viveiro e o pré-viveiro influenciaram minimamente quando comparados ao plantio e a colheita como mostra o gráfico 1.

De acordo com Claudini e Talamine (2013) as atividades agrícolas modernas demandam grandes quantidades de insumos naturais, renováveis ou não renováveis, os quais resultam em impactos negativos ao meio ambiente. Além disso, Choo *et al.* (2011) identificaram impactos causados durante o uso e produção dos insumos ocasionaram a contaminação do solo e emissão de gases poluentes para a atmosfera.

Simplesmente pelo fato do dendezeiro ser categorizado como uma cultura perene já resulta em vantagens frente às demais oleaginosas por não requerer preparo anual do solo para o plantio, o que conseqüentemente, ocasiona a diminuição da utilização da mecanização, menor consumo de combustíveis fósseis e maior estoque de carbono, tanto na forma de biomassa aérea como no solo (VIÉGAS E BOTELHO, 2000).

A categoria de impacto “mudanças climáticas” avalia as emissões de CO₂ para atmosfera e outros gases antrópicos causadores do efeito estufa, os quais ocorrem, devido, principalmente, ao consumo de combustível fóssil nas práticas de manejo e no ciclo de vida dos insumos agrícola, levando ao aumento da temperatura média do planeta. Dentro dessa categoria a etapa de plantio foi a principal responsável pelas emissões dos gases, em consequência ao uso de maquinários agrícolas e transporte das mudas do viveiro para a área de plantio. De acordo com MONGOLLÓN (2020) o principal fator que contribui diretamente com as emissões deve-se ao CO₂ liberado durante os diferentes processos, tais como, as instalações e a combustão, e principalmente aos fertilizantes químicos empregados na agricultura.

Para a categoria de impacto “acidificação terrestre”, a etapa da fase agrícola que apresentou maior contribuição foi o plantio com 76,69% do impacto relacionado a essa categoria, seguido da etapa de colheita com 22,1%. Esta categoria refere-se, principalmente, ao transporte e uso de fertilizantes sintéticos

nitrogenados, contribuindo para as emissões de dióxido de enxofre (SO₂), amônia (NH₃) e óxido de nitrogênio (NO_x). Conforme trabalho realizado por Milà i Canals (2007), a amônia originada da volatilização de fertilizantes nitrogenados apresenta-se como o principal contribuinte para a categoria “acidificação terrestre” decorrente de atividades agrícolas, e a minimização desse impacto deve ser realizada ainda durante o processo de adubação.

A categoria de impacto “ocupação de solos agrícolas” avalia as consequências da utilização e mudanças antrópicas do solo, neste estudo a etapa que exerceu maior contribuição com essa categoria foi a etapa de plantio no campo com 80,12% mesmo o plantio de palma de óleo sendo feito apenas em solos já antropizados, utilizados anteriormente como pastagem.

Com relação a categoria de impacto “depleção do ozônio” que possui impacto global e avalia a conversão do ozônio em oxigênio pela reação com moléculas de origem antrópica (CFC, CH₃Cl, CH₃Br, N₂O, etc.) a etapa da fase agrícola com a maior porcentagem em relação a essa categoria de impacto foi a etapa de plantio com 77,75% seguido da colheita com 21,1%. Essa categoria é importante pois avalia o aumento de raios ultravioletas (UV-B).

5. 2 Balanço energético - CED

O balanço energético é uma forma de avaliação que estabelece 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).

Na Tabela 5, estão apresentados valores calculados a partir da produtividade de cada país de acordo com a literatura analisada, sendo 19t/ha para a Malásia (HANSEN; SUMIANI, 2007), 17t/ha para a Tailândia (PLEANJAI; GHEEWALA, 2009) e para o Brasil foi realizada a média dos anos de produção de 2013 a 2019, sendo 20t/ha conforme dados repassados pela empresa P-TELAPA empreendimento e validados por visitas ao local da variedade Compacta X Ghana.

Os co-produtos analisados como componetes da produtividade de cada país seguiram os valores de porcentagens descritos por Borges *et al* (2008), óleo

bruto 22%, casca 5%, fibras 12% e torta 3,5%. Ainda segundo os autores, para cada tonelada de cachos produzidos são obtidos 220kg de óleo, 120kg de fibras, 50kg de cascas e 35kg de torta.

Os valores relacionados ao poder calorífico seguiram os valores descritos por Borges *et al.* (2008) de 9.000kcal para o óleo de palma, 4.420kcal para casca e fibras e 4.000kcal para torta de palmiste como pode ser observado na tabela 5. Esses valores foram utilizados na realização do balanço energético, para fins de comparação dos resultados entre os três países, sendo consideradas como input todas as entradas de energia de fontes não-renováveis (tabela 6) e *output* não apenas do óleo, mas também o valor dos co-produtos resultantes da extração, Tabela 5.

Tabela 6: Produção de energia.

Produtos e Coprodutos	Unidade	Poder calorífero	Malásia (MJ)	Tailândia (MJ)	Brasil (MJ)
Óleo	Kg	9000	37620	33600	39600
Casca	Kg	4420	4199	3757	4420
Fibras	Kg	4420	10077,6	9016,8	10608
Torta de palmiste	Kg	4000	2660	2380	2800
Total	MJ/ha	21840	54556,6	48753,8	57428

Para a obtenção das estimativas dos valores referentes a produção de energia da Malásia, Tailândia e Brasil utilizou-se a produtividade média dos mesmos com as respectivas porcentagens de produtos e co-produtos. A Malásia produziu em média 4.180 kg de óleo por hectare, a Tailândia produziu 3.740 kg de óleo/ha e o Brasil produziu 4.400 kg de óleo por hectare. Posteriormente multiplicou-se os valores referentes a produção de óleo por hectare por seus respectivos coeficientes energéticos.

O Brasil foi o país com a maior produtividade de óleo por hectare, bem como a maior produtividade de cachos frescos por hectare (20t/ha) e conseqüentemente obteve a maior produção de energia, 57.428 MJ/ha, em segundo lugar aparece a Malásia com 54.556,6 MJ/ha e em terceiro lugar a Tailândia com 48.753,8 MJ/ha.

5. 2.1 Comparativo com outros países

A quantificação de energia foi baseada no inventário de insumos utilizados na fase agrícola, tais como, nitrogênio, fósforo, potássio, pesticidas e combustível, tabela 6. Os valores referentes as entradas de energia de todos os países foram ajustados para um hectare e posteriormente foram multiplicados por suas respectivas intensidades de energia segundo os coeficientes energéticos da etapa de produção agrícola reportado e adaptado por Costa *et al.* (2006).

O consumo energético total da fase agrícola na Malásia foi de 21,33 GJ/ha, para a Tailândia essa entrada foi de 18,1 GJ/ha e o Brasil apresentou um consumo de 10,03 GJ/ha (Tabela 6). Para a Malásia e Tailândia os maiores responsáveis pelas entradas energéticas foram em primeiro lugar os fertilizantes, em segundo lugar o combustível e em terceiro lugar os pesticidas. No Brasil o maior responsável pelas entradas energéticas é o combustível, em segundo lugar os fertilizantes e em terceiro lugar os pesticidas, esse, bem como os fertilizantes eram utilizados esporadicamente.

Tabela 7: *Inputs* da Malásia, Tailândia e Brasil.

Fase agrícola	Malásia ¹	Tailândia ²	Brasil/Pará
*	<i>Inputs</i>	<i>Inputs</i>	<i>Inputs</i>
*	GJ/ha/ano	GJ/ha/ano	GJ/ha/ano
1. Fase Agrícola			
1.1 Fertilizantes			
Nitrogênio (N)	6,49	7,61	2,0
Fósforo (P ₂ O ₅)	0,97	0,01	1,6
Potássio (K ₂ O)	1,66	1,67	0,79
Total	9,12	9,29	4,39
1.2 Pesticidas			
Total	3,25	1,72	0,62
1.3 Combustível			
Total	8,96	7,09	5,02

¹(HANSEN AND SUMIANI, 2007); ²(PLEANJAI; GHEEWALA, 2009).

Conforme a tabela 6 a taxa de aplicação de nitrogênio foi cerca de 3,5 vezes maior na Malásia e na Tailândia, correspondendo a aproximadamente 42% para este e 30% para aquele do consumo total da fase agrícola, ou seja, 6,49 GJ/ha para a Malásia e 7,61 GJ/ha para a Tailândia enquanto no Brasil esta taxa é de aproximadamente 19% ou 2 GJ/ha. Esta diferença nas taxas de aplicação de nitrogênio da fase agrícola entre os países analisados e o Brasil se deu devido à baixa utilização de fertilizantes nos plantios de palma de óleo da empresa P-TELAPA, aplicados nos anos de produção de 2013 a 2018.

A aplicação de potássio (K_2O) representou aproximadamente 7,8% (1,66 GJ/ha/ano) das entradas de energia da fase agrícola na Malásia e 9,2% (1,67 GJ/ha/ano) na Tailândia e no Brasil 7,88% (0,79 GJ/ha/ano). Mesmo com porcentagens aproximadas em relação as entradas de potássio e o consumo total da fase agrícola, tanto a Malásia quanto a Tailândia aplicaram cerca de 2 vezes mais desse fertilizante que o Brasil. As maiores aplicações potássicas no Brasil ocorreram nos anos de produção de cachos de frescos.

O fósforo (P_2O_5) foi o macronutriente com a segunda maior porcentagem de aplicação realizado pela empresa P-TELAPA, responsável por 15,9% (1,6 GJ/ha/ano) do consumo total da fase agrícola no Brasil, enquanto na Malásia o fósforo representou 4,5% (0,97 GJ/ha/ano) do total da fase agrícola e na Tailândia 0,05% (0,01 GJ/ha/ano). Todas as etapas da fase agrícola apresentaram consumo de fósforo o que justifica a maior utilização desse macronutriente no Brasil.

Tendo em vista o exposto e corroborando com Fernandes (2009) que fala em seu trabalho da baixa fertilidade dos solos onde são cultivadas a palma de óleo no Brasil, foi observado neste trabalho que a área onde foi realizado o plantio da palma de óleo da empresa P-TELAPA possuía baixos teores de fósforo necessitando de periódicas aplicações de fosfato por muda para assegurar o desenvolvimento vegetativo das plantas, bem como a produtividade.

Os pesticidas incluem herbicida e inseticidas. Eles apresentaram baixas porcentagens em relação ao consumo energético total da fase agrícola com 15,2% (3,25 GJ/ha/ano) para a Malásia, 9,5% (1,72 GJ/ha/ano) para a Tailândia e 6,2% (0,62 GJ/ha/ano) para o Brasil. A baixa utilização de pesticidas, principalmente na etapa de plantio em campo e esporadicamente nas outras etapas da fase agrícola, fez com que o Brasil apresentasse a menor

porcentagem quando comparado ao uso desses mesmos produtos pela Malásia e Tailândia, países que também não os utilizam em grandes quantidades como pode ser observado na tabela 6.

A entrada de energia para o Brasil relacionada ao combustível utilizado no transporte de mudas do pré-viveiro para o viveiro e dos cachos frescos do campo para a indústria foi responsável por consumir 50% de toda a energia gasta na fase agrícola, ou seja, 5,02 GJ/ha, a maior taxa de entrada de energia da fase agrícola (tabela 6). A etapa de colheita foi a maior responsável por esse valor, sendo o transporte de cachos realizado em sua totalidade através da utilização de caminhões, onde os trabalhadores carregam os cachos de dentro da parcela até a estrada de acesso mais próxima para serem posteriormente carregados em caminhões e transportados por 34km para as unidades de processamento.

Na Malásia o consumo de combustível foi responsável por 42% (8,96 GJ/ha) do gasto total da fase agrícola, sendo apontado por Hansen e Yusoff (2007) o uso de caminhões de transporte malconservados na Malásia, já para a Tailândia segundo o trabalho realizado por Pleanjai e Gheewala. (2009), essa entrada de energia foi de 39,2% (7,09 GJ/ha), nesse país a fábrica de óleo de palma está localizada próximo as áreas de plantio. A variação entre os três países se deu principalmente devido as diferenças nos sistemas de transporte, modelo e conservação do caminhão utilizado, e a distância do plantio para as fábricas de processamento do óleo.

Conforme os dados da tabela 7, estima-se que o valor de entrada de energia na fase agrícola para o Brasil seja de 5.010 MJ/ha, de 12.370 MJ/ha para a Malásia e 11.010 MJ/ha para a Tailândia. Esses valores de entrada foram obtidos multiplicando as entradas da fase agrícola (tabela 6) por seus respectivos coeficientes energéticos.

Tabela 8: Balanço energético da fase agrícola para 1 tonelada de cachos frescos.

Entradas de energia	Unidade	Malásia¹	Tailândia²	Pará/Brasil
CED (Total de <i>Inputs</i>)	MJ	12.370	11.010	5.010
CED fóssil	MJ	9.120	9.290	4.390
*	*	*	*	*
Total de Outputs para cachos frescos de dendê	MJ	54.556,6	48.753,8	57.428
*	*	*	*	*
Balanço energético (<i>Output/Inputs</i>) (NER)	MJ	1:4,41	1:4,28	1:11,46
Produção de Energia líquida (<i>Output - Input</i>) (NEB)	MJ	42.186,6	37.743,8	52.418,0

Fonte: ¹(YUSOFF AND HANSEN, 2007); ²(PLEANJAI; GHEEWALA, 2009). CED: consumo total de energia na fase agrícola; *Input*: total de entrada de energia; *Output*: total de energia gerada.

Considerando como balanço energético a razão entre a energia consumida e a energia gerada, para os três países o Relação Energética Líquida NER foi maior que 1, ou seja, para cada unidade de energia consumida na fase agrícola foram geradas 11,46 unidades de energia renovável para o Brasil, 4,41 unidades de energia renovável para a Malásia e 4,28 unidades de energia renovável para a Tailândia, apresentando portanto, balanço energético positivo para os três países avaliados.

Do mesmo modo, o Balanço Energético Líquido NEB (*output – input*), foi positivo para os três países, entretanto, a estimativa relacionada a Tailândia apresentou o pior resultado em relação a Malásia e ao Brasil, tanto para o balanço energético, como para a energia líquida. O NEB para o Brasil foi de 52.418,0 MJ, para a Malásia 42.186,6 MJ e para a Tailândia 37.743,8 MJ.

Os balanços energéticos positivos indicam que foi necessário menos energia fóssil (CED fóssil) na fase agrícola para produzir 1 tonelada de cachos frescos do que a quantidade de energia obtida com a produção do óleo e dos subprodutos. O consumo total de energia fóssil da fase agrícola foi de 9.120 MJ para a Malásia, 9.290 MJ para a Tailândia e 4.390 MJ para o Brasil, como mostra a tabela 7.

O balanço energético foi mais favorável para o Brasil quando comparados aos plantios da Malásia e da Tailândia, sendo valido ressaltar que os valores para os países avaliados foram estimados com base na literatura existente previamente apresentada durante a condução do trabalho e adaptada quanto a unidade utilizada.

6 SUGESTÕES

Para melhorar o desempenho ambiental e energético da fase agrícola da produção de óleo de palma recomenda-se melhorar as variáveis agrícolas, tais como, otimizar o uso dos resíduos gerados durante a etapa de processamento do óleo bruto na indústria, utilizar transportes mais eficientes com manutenções adequadas com o objetivo de reduzir as emissões de gases causadores do efeito estufa para ar (CO, CO₂, NO_x, SO_x, etc.).

Os resíduos do processo de extração, como, cachos de frutos vazios, cascas, fibras e folhas podem ser utilizados para organofertilização após o processo de compostagem para diminuir o uso de adubos sintéticos e consequentemente reduzir as emissões de CO₂ para o ar.

Aproveitar o efluente da usina “POME” para a geração de biogás como fazem algumas empresas produtoras de óleo de palma, sendo relatado no trabalho realizado MONGOLLÓN (2020) que a média do consumo total de energia da usina no ano de 2018 foi de 30.1 kWh/ t de cachos frescos dos quais 57% são gerados com o biogás (17 kWh/ t de cachos frescos).

Tendo em vista o exposto, a área avaliada nesse estudo pode deixar seu sistema de produção de óleo de palma ainda mais eficiente, podendo diminuir os impactos ambientais gerados a partir do melhor aproveitamento dos resíduos.

7 CONCLUSÃO

A avaliação ambiental e energética da fase agrícola da produção de cachos frescos da empresa P-Telapa produtora de óleo de palma no município de Mojú interior do estado do Pará possibilitou analisar as etapas da fase agrícola que contribuíram com os maiores impactos ambientais, sendo identificadas as etapas de plantio e colheita como os principais contribuintes com os impactos percebidos durante a fase agrícola, no entanto, os impactos ambientais foram baixos devido a pequena entrada de insumos na fase agrícola.

Diante do exposto, pode-se concluir que a fase agrícola da produção de óleo de palma pode ser considerada ambientalmente favorável por ser uma planta perene que produz um quantitativo significativo de biomassa acima do solo, sequestrando carbono por 25 anos ou mais, devendo ser considerados alguns aspectos relevantes de manejo, tais como, o uso de transporte, fertilizantes, pesticidas, bem como, o desmatamento e uso adequado do solo.

Este trabalho realizado no município de Mojú, estado do Pará, Brasil referente aos anos de 2009, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 e 2019 apresentou dentre os estudos analisados realizados na Malásia em 2007 e na Tailândia em 2009 o melhor saldo energético da fase agrícola, e devido a produção de energia líquida, NEB (O-I) por unidade de área a fase agrícola da produção de cachos frescos pode atuar no sequestro de carbono atmosférico, no reflorestamento de áreas degradadas, anteriormente utilizadas como pastagens, bem como, na preservação do solo através do quantitativo significativo de palhada acima do solo que a palma de óleo produz.

8 REFERÊNCIAS

ABNT. NBR ISO 14040: Gestão Ambiental – **Avaliação do Ciclo de Vida** – Princípios e Estrutura. Rio de Janeiro, 2009a.

ADHITIYA, L.; ASTUTI, R. D. Understanding the Palm Oil Utilization Preference: A Literature Review and Preference Measurement. **IPTEK Journal of Proceedings Series**, n. 5, p. 203-209, 2019.

ARCHER, S. A.; MURPHY, R. J.; STEINBERGER-WILCKENS, R. Methodological analysis of palm oil biodiesel life cycle studies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 94, p. 694-704, 2018.

ARSHAD, F.; TAN, Y.; YUSOFF, S. A Cradle-To-Gate Study of GHG Emissions from the Transportation of Palm Oil, Palm Olein and Palm Stearin Using The Life Cycle Assessment Approach. **Journal of Oil Palm Research**, 29, n. 1, p. 120-129, 2017.

ALVARENGA, RODRIGO AUGUSTO FREITAS DE. **Avaliação de métodos de AICV: um estudo de caso de quatro cenários de ração para frangos de corte**. Tese (Doutorado)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Florianópolis, 2010.

ANTONINI, J. d. A.; DE OLIVEIRA, A. Potencial de cultivo da palma de óleo irrigada nas condições do Cerrado. **Embrapa Cerrados-Documentos (INFOTECA-E)**, 2021.

BORGES, J.; FELICI, P. H. N.; ÁVILA, M.; GAZZONI, D. **Balço energético na cultura do dendê para produção de biodiesel-Parte agrícola**. Jornada acadêmica da EMBRAPA soja, 3. Londrina. 2008.

ponderados de LCA mostraram maiores impactos ambientais

BRASIL, M. d. A., Pecuária e Abastecimento Diagnóstico da produção sustentável da palma de óleo no Brasil. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**, Brasília: Mapa/ACE, 2018.

CARLSON, K. M.; HEILMAYR, R.; GIBBS, H. K.; NOOJIPADY, P. *et al.* Effect of oil palm sustainability certification on deforestation and fire in Indonesia. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 115, n. 1, p. 121-126, 2018.

Carbon Brief. **looks at national responsibility for historical emissions of CO2 from 1850-2021**. updating analysis published in 2019. Publicado em: <https://www.carbonbrief.org/analysis-which-countries-are-historically-responsible-for-climate-change>. Pesquisado em 06 de março de 2022.

CASTANHEIRA, E. G.; FREIRE, F. Environmental life cycle assessment of biodiesel produced with palm oil from Colombia. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, 22, n. 4, p. 587-600, 2017.

COSTA, R. E.; LORA, E. E. S.; YÁÑEZ, E. **Balanço energético preliminar da produção do biodiesel de óleo de palma para as condições do Brasil e da Colômbia**. Proceedings of the 6. Encontro de Energia no Meio Rural, 2006.

CONAMA. **Conselho Nacional de Meio Ambiente**. Resolução n. 1, de 17 de fevereiro de 86. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para o Relatório de Impacto Ambiental – RIMA. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 17 fev. 1986.

CHOO, Y. M.; MUHAMAD, H.; HASHIM, Z.; SUBRAMANIAM, V.; PUACH, C. W.; TAN, Y. Determination of GHG contributions by subsystems in the oil palm supply chain using the LCA approach **Int J Life Cycle Assess**, v. 16, p. 669–681, 2011.

CLAUDINI, E. S.; TALAMINI, E. Análise do Ciclo de Vida (ACV) aplicada ao agronegócio - Uma revisão de literatura **Revista Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.17, n.1, p.77–85, 2013.

DOTTO, M. C. **ESTOQUE CARBONO EM SISTEMAS DE CULTIVOS DE PALMA ÓLEO (*Elaeis guineensis*), NA AMAZÔNIA ORIENTAL**. Tese, Capítulo 2. Universidade Federal do Tocantins. 2017.

FERNANDES, I. **Avaliação energética e ambiental da produção de óleo de dendê para biodiesel na Região do Baixo Sul, Bahia. 2009. 151f.** 2009. Dissertação –UESC, Ilhéus. 2009.

FILHO, Osmar C.; JUNIOR, Nilo L S.; LUEDEMANN, Gustavo. **A AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA COMO FERRAMENTA PARA A FORMULAÇÃO DE POLÍTICAS PÚBLICAS NO BRASIL**. Texto para discussão. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – ipea. 2016. Publicado em: http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/6685/1/td_2205.pdf. Pesquisado em: 08/03/2022.

FURLAN JÚNIOR, JOSÉ. **Dendê: manejo e uso dos subprodutos e dos resíduos**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2006.

GABI, PE International. **Desempenho e sustentabilidade do produto**. 2020. Publicado em: <http://www.gabi-software.com/international/index>. Pesquisado em 28 de fevereiro de 2022.

HASHIM, Z.; MUHAMMAD, H.; CHAN, K.; MAY, C. Y. et al. Life cycle assessment for oil palm fresh fruit bunch production from continued land use for oil palm planted on mineral soil (Part 2). **Journal of Oil Palm Research**, 22, p. 887-894, 2010.

HANSEN, S.; SUMIANI, Y. Feasibility study of performing an life cycle assessment on crude palm oil production in Malaysia (9 pp). **International Journal of Life Cycle Assessment** 12, 50-58, 2007. <https://doi.org/10.1065/1ca2005.08.226>

ISO - International Organization for Standardization. 2006a. Environmental Management — Life Cycle Assessment — Principles and Framework. **ISO 14040**. Genebra, Suíça: ISO.

ISO - International Organization for Standardization. 2006b. Environmental Management — Life Cycle Assessment — Principles and Framework. **ISO 14044**. Genebra, Suíça: ISO.

LASSIO, J. G. G. **Aplicação do Programa Simapro 8.1© na Avaliação dos Ciclos de Vida dos Materiais da Construção Civil: estudo de caso para um conjunto habitacional**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

MARTINS, T. S. **AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL E ENERGÉTICO DA FASE AGRÍCOLA DA PRODUÇÃO DE CACHOS FRESCOS DE DENDÊ NO ESTADO DO PARÁ**. Universidade Federal do Tocantins. 2016.

MAHARJAN, S.; WANG, W.-C.; TEAH, H. Y. Life cycle assessment of palm-derived biodiesel in Taiwan. **Clean Technologies and Environmental Policy**, 19, n. 4, p. 959-969, 2017.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Diagnóstico da Produção Sustentável da Palma de Óleo no Brasil**. Brasília: Mapa/ACE, 2018. Publicado em: https://aprobio.com.br/novosite/wp-content/uploads/2018/08/Diagn%C3%B3stico-Prod-Sust-da-Palma-de-%C3%93leo_MAPA_2018.pdf. Pesquisado em 06 de março de 2022.

MENDES, ALESSANDRO. **Prêmio Ecodesign- Caso Sacolas Natura**. 2004. Disponível em: <http://www2.natura.net/Web/Br/ForYou/Hotsites/Premios/download/case_ecodesign_2004.pdf>. Acesso em: 22 de outubro de 2021.

MILÀ i CANALS L; ROMANYÀ, J.; COWELL, S. J. Method for assessing impacts on life support functions (LSF) related to the use of 'fertile land' in Life Cycle Assessment (LCA). **Journal of Cleaner Production**, v. 15, p. 1426-1440, 2007.

MIRANDA, C.; ROSA, L.; BONITO, J.; JÚNIOR, A. *et al.* **Uso e qualidade da água na microbacia hidrográfica do rio Parafuso (Moju, Pará, Brasil)**. 2017.

MONGOLLÓN, D. I. N. **Avaliação comparativa do ciclo de vida do biodiesel de óleo de palma a partir de dois genótipos, Elaeis Guineensis Jacq. vs Híbrido Interespecífico, estudo de caso na Colômbia: impactos ambientais e balanço energético**. 2020.

OBAIDEEN, K.; TAN, Y. C.; YAP, P. S.; AWANG, M. *et al.* **Analysis of the human health damage and ecosystem quality impact of the palm oil plantation using the life cycle assessment approach**. IOP Publishing. 2019.

OLIVEIRA, M. C. B. R. **AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA DE EMBALAGENS PLÁSTICAS DE ÓLEO LUBRIFICANTE: UM ESTUDO DE CASO**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2017.

OpenLCA, **GreenDelta 2022**. Publicado em: <https://www.openlca.org> Pesquisado em 28 de fevereiro de 2022.

PAPILO, P.; HAMBALI, E.; SITANGGANG, I. S. Sustainability index assessment of palm oil-based bioenergy in Indonesia. **Journal of Cleaner Production**, 196, p. 808-820, 2018.

PIMENTA, R. G.; NEVES, L. d. O.; SILVA, V. G. d. **Avaliação de energia operacional versus energia incorporada em saletas comerciais: impacto de elementos de proteção solar na fachada**. 2019.

PRAPASPONGSA, T.; MUSIKAVONG, C.; GHEEWALA, S. H. **Life cycle assessment of palm biodiesel production in Thailand: impacts from modelling choices, co-product utilisation, improvement technologies, and land use change**. **Journal of Cleaner Production**, 153, p. 435-447, 2017.

PANORAMA AGRÍCOLA DO PARÁ- DENDÊ. Governo do Estado do Pará. **Cacho de coco**. 2018.

PRÉ CONSULTANTS, 2014. PRE. **Simapro 8.1© Database Manual**. 2014.

PLEANJAI, S.; GHEEWALA, S. H. Full chain energy analysis of biodiesel production from palm oil in Thailand. **Applied energy**, 86, p. S209-S214, 2009.

RAUL, L. **Dendê: símbolo e sabor da Bahia**. Editora Senac São Paulo, 2019.

SANTOS NAHUMB, J.; BASTOS DOS SANTOS, C. Agricultura familiar e dendeicultura no município de Moju, na Amazônia paraense. **Cuadernos de Geografia**, 27, n. 1, 2018.

SANTOS, P. d.; SILVA, J. d.; SILVA, B. d.; SANTOS, R. d. *et al.* Levantamento semidetalhado dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras para culturas de dendê e seringueira. **Projeto Moju, Pará: relatório técnico**. Rio de Janeiro: Embrapa/SNLCS, p. 192, 1985.

SILVA, D.; NUNES, A. O.; MORIS, A. d. S.; MORO, C. *et al.* **How important is the LCA software tool you choose Comparative results from GaBi, openLCA, SimaPro and Umberto**. 10-15. 2017.

SILVA, D. A. L.; NUNES, A. O.; PIEKARSKI, C. M.; SILVA MORIS, V. A. d. *et al.* Why using different Life Cycle Assessment software tools can generate different results for the same product system? A cause-effect analysis of the problem. **Sustainable Production and Consumption**, 20, p. 304-315, 2019.

SILVA, A. d. B. P. **Produção sustentável de óleo de palma: estudo de caso da Denpasa**. 2022.

SIMAPRO. **Estudos de avaliação do ciclo de vida com SimaPro**. Publicado em: <https://simapro.com/business/life-cycle-assessments>. Pesquisado em 28 de fevereiro de 2022a.

SIMAPRO. **Estudos de avaliação do ciclo de vida com SimaPro**. Publicado em: <https://simapro.com/about/>. Pesquisado em 28 de fevereiro de 2022b.

SUBRAMANIAM, V. QUANTIFICATION OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS FOR THE PRODUCTION OF CRUDE PALM KERNEL OIL—A CRADLE TO GATE STUDY. **Journal of Oil Palm Research**, 28, n. 3, p. 359-365, 2016.

TAKEDA, Adriane. **Levantamento de métodos de avaliação de impacto de ciclo de vida (AICV) e análise comparativa dos métodos mais utilizados**. 2008. 129 f. Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Departamento de Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

UMBERTO, **IFU hanburg**. 2020. Publicado em: <https://www.ifu.com/en/umberto/lca-software>. Pesquisado em 28 de fevereiro de 2022.

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

USDA – United States **Department of Agriculture**, 2021. Disponível em: <https://www.usda.gov> Acesso em: 07 de janeiro de 2022.

VENTURA; GARCIA; ANDRADE. O Potencial das tecnologias sociais de convivência com o semiárido para a geração de sinergia entre mitigação e adaptação às mudanças climáticas: um caso ilustrativo. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 50, n. 1, p. 65-83, 2019.

VIÉGAS, I. DE. J. M.; BOTELHO, S. M. Nutrição e adubação do dendzeiro. In: VIÉGAS, I. de. J. M.; MÜLLER, A. A. A cultura do dendzeiro na Amazônia Brasileira. Belém: EMBRAPA Amazônia Oriental/Manaus: **Embrapa Amazônia Ocidental**. p. 229-273. 2000.

ZAPPAROLI, I. D.; DA SILVA, S. S. **Desenho da Metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) do Etanol Combustível pelo Método CML 2000 com Simapro 8.1©**. São Paulo, 2011.