



Universidade Federal do Rio de Janeiro

Escola de Química



A SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL DA PRODUÇÃO  
DE BIODIESEL NO BRASIL – UMA REVISÃO DE ESTUDOS DE  
AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA.

Julianne Rodrigues Coelho Moreira

Trabalho de Conclusão do  
Curso de Engenharia Química da  
Universidade Federal do Rio de  
Janeiro

Orientador:

Bettina Susanne Hoffmann

Rio de Janeiro

2021

A sustentabilidade ambiental da produção  
de biodiesel no Brasil – uma revisão de estudos de avaliação de ciclo de vida

Julianne Rodrigues Coelho Moreira

Trabalho de Conclusão do Curso submetido ao Corpo Docente da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau em Engenharia Química.

Aprovado por:

---

Fábio de Almeida Oroski

---

Marcelo Mendes Viana

Orientado por:

---

Bettina Susanne Hoffmann

Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Novembro/2021

## Agradecimentos

### Agradeço

... a minha família pelo apoio e pela paciência dispostos.

... aos meus amigos (João Ricardo, Filipe, Michel, Yuri, Victor, Ricardo, Vinícius, Luíza, Fernanda) que compartilharam anos de suas vidas e tornaram os anos de graduação mais leves.

... aos amigos, colegas e professores do LabTech pelas orientações e pelo tempo que passei, principalmente ao João e a Isabelle por compartilharem suas tardes de reações comigo.

... ao meu orientador Luiz Fernando Lopes por ser o ótimo professor e orientador que é. Capaz de me entender e aconselhar em momentos difíceis.

... ao meu namorado Renan por esses 2 anos de amizade, compreensão e carinho incondicionais.

... e, finalmente, a minha maravilhosa e paciente orientadora Susanne por seu gentil e persistente trabalho.

## Resumo

Com os avanços tecnológicos, tanto o estilo de vida como a qualidade de vida mudaram. A melhora substancial trouxe para o mundo uma vertiginosa demanda crescente de energia. Em resposta a isso, a produção de energia aumentou com base principalmente nos combustíveis fósseis: petróleo, carvão e gás natural. Porém, isso acabou resultando no acúmulo exagerado de gases de efeito estufa (GEEs), causando o aquecimento global e as atuais mudanças climáticas. Para resolver esse problema, os governos de países e organizações se reuniram gerando protocolos e acordos, sendo um dos mais importantes e recentes o Acordo de Paris. Nele, os países assinantes, incluindo o Brasil, comprometeram-se em reduzir as emissões de GEEs. Em busca disso, o Brasil resolveu apostar nos biocombustíveis para o seu desenvolvimento sustentável. Graças ao sucesso do programa do Proálcool, o governo, então, criou o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB). O programa visa implementar de forma sustentável a produção do biodiesel com objetivo principal de promover a inclusão social e de gerar renda no meio rural. Para fomentar a demanda, o uso do biodiesel misturado no combustível diesel se tornou obrigatório e, com o passar do tempo, sua percentagem teve um progressivo aumento, elevando com urgência a demanda. O Brasil se tornou um dos maiores produtores de biodiesel no mundo, usando a soja e o sebo bovino como suas matérias-primas mais relevantes. Visto que isso não cumpre o proposto pelo PNPB, muitos estudos dispõem-se em trazer soluções tecnológicas para a implementação de novas matérias-primas e promover o desenvolvimento territorial. Com o objetivo de entender o cenário geral brasileiro da sustentabilidade do biodiesel, alguns artigos que buscaram analisar a sustentabilidade e os impactos do biodiesel a partir da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) foram reunidos. De forma geral, os resultados analisados estavam muito dispersos. Pode-se ver uma melhor performance do sebo bovino em relação ao óleo de soja e que há um foco no óleo de palma para substituir a soja.

## Índice de Tabelas

Tabela 1 - Categorias de Impacto. Fonte: Adaptado de US EPA 2006. ....	14
Tabela 2 - Exemplos de indicadores de categoria. Fonte: Adaptado de ISO/TR 14047:2003.....	15
Tabela 3 - Quantidade de Usinas por Região. Fonte: Petry, 2020. ....	23
Tabela 4 - Principais matérias-primas usadas na produção de biodiesel no mundo. Fonte: Adaptado de OECD/FAO, 2020.....	28
Tabela 5 - Propriedades das principais culturas com potencial para a produção de biodiesel. Fonte: (Laviola, Alves, 2011) .....	48
Tabela 6 - Artigos selecionados sobre a sustentabilidade ambiental e uso de biodiesel no Brasil. Fonte: de autoria própria. ....	49
Tabela 7 - Emissões de CO <sub>2</sub> eq/ha utilizado. Fonte: (Esteves et al, 2018) .....	58
Tabela 8 - Emissões de CO <sub>2</sub> eq/kg biodiesel produzido. Fonte: (Esteves et al, 2018).....	59
Tabela 9 - Emissões incluindo a mudança de uso da terra em MgCO <sub>2</sub> eq ha <sup>-1</sup> y <sup>-1</sup> . Fonte: (Souza, Simone Pereira; de Ávila, Márcio Turra; Pacca, Sérgio; 2012).....	63
Tabela 10 - Energia para produzir 1 ha de palma no Pará. Fonte: (Queiroz, A.G.; França, L.; Ponte, M.X.; 2012).....	67
Tabela 11 - Energia para produzir 1 t de óleo de palma no Pará. Fonte: (Queiroz, A.G.; França, L.; Ponte, M.X.; 2012).....	68
Tabela 12 - Energia para produzir 1 t de biodiesel no Pará. Fonte: (Queiroz, A.G.; França, L.; Ponte, M.X.; 2012).....	69
Tabela 13 - Resultados dos Artigos I e VII das emissões de GEEs. Fonte: (Esteves, V.P.P. et al, 2016) e (Esteves et al, 2017) .....	73
Tabela 14 - Resultados das emissões de GEEs do artigo III. Fonte: (Esteves et al, 2018).....	73

## Índice de Figuras

Figura 1 - Consumo de energia no mundo e seu aumento relativo. Fonte: Adaptado de BP Statistical Review of World Energy 2019 .....	1
Figura 2 - Gráficos De Consumo de Energia Primária Mundial por fonte (a) 2018; (b) 2000; (c) 1990. Fonte: Our World in Data, colaboração entre Universidade de Oxford e a ONG Global Change Data Lab. ....	3
Figura 3 – Gráfico Temporal da Demanda Mundial por Petróleo de 1960 até 2018. Fonte: Site Oficial da OPEP - <a href="https://www.opec.org/">https://www.opec.org/</a> .....	4
Figura 4 – Gráfico Temporal da Produção de Petróleo Bruto no mundo de 1960 até 2018. Fonte: Site Oficial da OPEP - <a href="https://www.opec.org/">https://www.opec.org/</a> .....	4
Figura 5 – Histórico da concentração de CO <sub>2</sub> no mundo. Fonte: Site Oficial da NASA - <a href="https://www.nasa.gov/">https://www.nasa.gov/</a> .....	5
Figura 6 – Gráfico da temperatura média global. Fonte: Site Oficial da NASA - <a href="https://www.nasa.gov/">https://www.nasa.gov/</a> ..	6
Figura 7 – Metas do Brasil para redução das emissões de carbono. Fonte: Site do Ministério do Meio Ambiente.....	8
Figura 8 – Evolução do uso obrigatório do biodiesel implementado até 2018. Fonte: Adaptado de EPE e UBRABIO.....	9
Figura 9 – Evolução do percentual de adição do biodiesel ao diesel planejado para 2023. Fonte: EPE, 2018. ....	9
Figura 10 – Exemplo de sistemas e suas fronteiras. Fonte: de autoria própria. ....	10
Figura 11 – Visão geral de um ciclo de vida de um produto. Fonte: Life Cycle Assessment: Quantitative Approaches for Decisions that Matter, 2014.....	11
Figura 12 – Fases e estruturas iterativas da ACV Fonte: ISO NBR 14040:2009 .....	12
Figura 13 – Tripé da sustentabilidade. Fonte: de autoria própria. ....	17
Figura 14 - Ações que englobam os aspectos do tripé Fonte: <a href="http://www.significados.com.br/sustentabilidade">www.significados.com.br/sustentabilidade</a> Acesso em: 04/03/2021 .....	18
Figura 15 – Estratégia do MDA dentro do PNPB. Fonte: Cartilha do PNPB, 2010.....	20
Figura 16 – Total de unidades produtoras de biodiesel. Fonte: Cartilha do PNPB, 2010.....	21
Figura 17 - Evolução das aquisições de matéria-prima. Fonte: Cartilha do PNPB, 2010.....	21
Figura 18 – Estrutura Geral do Projeto Polos de Biodiesel. Fonte: Cartilha do PNPB, 2010.....	22
Figura 19 – Número de famílias participantes do PNPB. Fonte: De Souza, 2015.....	24
Figura 20 – Panorama da Produção dos Biocombustíveis em 2018. Fonte: IEA,2019. ....	26
Figura 21 – Produção Global de Biodiesel e Diesel Verde. Fonte: IEA, 2019.....	27

Figura 22 - Panorama das matérias-primas da produção de biodiesel de 2018 na UE. Fonte: adaptado de Gain Report: EU Biofuels Annual 2019. ....	30
Figura 23 – Matriz Energética do Brasil por fonte do ano de 2018. Fonte: EPE/MME, 2019. ....	31
Figura 24 – Maiores produtores de biocombustíveis em 2018. Fonte: APROBIO.....	32
Figura 25 - Gráfico de Exportação do biodiesel em valor FOB. Fonte: COMEXSTAT .....	33
Figura 26 – Peso total de biodiesel comprado por país. Fonte: COMEXSTAT. ....	33
Figura 27 - Gráfico do Volume de biodiesel nos leilões. Fonte: (MME/EPE, 2019) .....	34
Figura 28 – Valor do biodiesel no mercado interno. Fonte: (MME/EPE, 2019) .....	35
Figura 29 – Gráfico da capacidade de produção nacional e consumo nacional de biodiesel. Fonte: (MME/EPE, 2019) .....	35
Figura 30 – Reação de transesterificação. Fonte: Knothe, 2006.....	37
Figura 31 – Processo para produção de biodiesel. Fonte: Knothe, 2006. ....	37
Figura 32 – Pré-Tratamento para matérias-primas ricas em AGL. Fonte: Knothe, 2006. ....	39
Figura 33 – Esterificação dos AGL. Fonte: Knothe, 2006.....	39
Figura 34 – Produtos feitos a partir do glicerol. Fonte: Rodrigues, 2011. ....	41
Figura 35 – Número de exportações e receita da glicerina bruta e purificada no Brasil. Fonte: EPE, 2019. ....	42
Figura 36 – Contribuição de cada matéria-prima para a produção nacional de biodiesel. Fonte: EPE, 2019. ....	43
Figura 37 – Mercado óleo de soja de 2008 a 2018. Fonte: EPE, 2019. ....	44
Figura 38 – Gráfico de importação de metanol usado na produção de biodiesel de 2010 a 2018. Fonte: EPE, 2019. ....	46
Figura 39 - Tabela de especificações para comercialização do biodiesel. Fonte: Adaptado de Menezes, 2019. ....	47
Figura 40 – Sistema do produto estudado no Artigo I e suas fronteiras. Fonte: Adaptado de (Esteves et al, 2017) .....	51
Figura 41 - Sistema do produto do artigo II e suas fronteiras. Fonte: (Moecke et al, 2016).....	53
Figura 42 - Sistema do produto do artigo III. Fonte: (Esteves et al, 2018).....	55
Figura 43 – Sistema de cultivo da Fazenda 1. Fonte: (Esteves et al, 2018).....	56
Figura 44 - Sistema de cultivo da Fazenda 2. Fonte: (Esteves et al, 2018).....	56
Figura 45 - Sistema de cultivo da Fazenda 3. Fonte: (Esteves et al, 2018).....	57
Figura 46 - Sistema de cultivo das Fazendas 4 e 5. Fonte: (Esteves et al, 2018).....	57
Figura 47 – Subsistemas agrícolas para o ciclo de vida do sistema tradicional. Fonte: (Souza, Simone Pereira; de Ávila, Márcio Turra; Pacca, Sérgio; 2012).....	61

Figura 48 – Subsistemas industriais para o ciclo de vida do sistema tradicional. Fonte: (Souza, Simone Pereira; de Ávila, Márcio Turra; Pacca, Sérgio; 2012).....	61
Figura 49 - Sistema do produto do Sistema em conjunto lavoura-pecuária do artigo IV. Fonte: (Souza, Simone Pereira; de Ávila, Márcio Turra; Pacca, Sérgio; 2012).....	62
Figura 50 - Sistema do produto e suas Fronteiras do artigo V. Fonte: (Delivand, Mitra Kami; Gnansounou, Edgard; 2013) .....	64
Figura 51 - Sistema do produto do artigo VI. Fonte: (Queiroz, A.G.; França, L.; Ponte, M.X.; 2012).....	67
Figura 52 - Sistema do produto do artigo VII. Fonte: (Esteves, V.P.P. et al, 2016).....	71

## Sumário

1. Introdução .....	1
1.1. Motivação .....	1
1.2. Objetivo.....	9
2. Revisão Bibliográfica.....	10
2.1. Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) .....	10
2.1.1. Ciclo de Vida .....	10
2.1.2. Complexidade de um Ciclo de Vida .....	10
2.1.3. A Metodologia de ACV .....	11
2.2. Sustentabilidade .....	16
2.2.1. Sustentabilidade no Brasil.....	19
2.3. Biocombustíveis / Biodiesel.....	25
2.3.1. Global.....	25
2.3.2. Estados Unidos.....	28
2.3.3. União Europeia .....	29
2.3.4. Brasil.....	31
2.4. Rotas Tecnológicas para a obtenção de biodiesel .....	36
2.4.1. Transesterificação .....	36
2.4.2. Produção Industrial .....	37
2.4.3. Glicerol .....	40
2.4.3.1. Atuais usos do glicerol bruto .....	41
2.4.4. Matérias-primas usadas em no âmbito nacional .....	42
2.4.5.1. Soja .....	43
2.4.5.2. Gordura Bovina.....	44
2.4.5.3. Metanol ou Etanol?.....	45
2.4.5. Matérias-primas promissoras no âmbito nacional.....	46
2.4.5.1. Palma (Dendê).....	48
2.4.5.2. Mamona .....	48
2.4.5.3. Algodão.....	49
3. Análise comparativa de estudos de ACV para o contexto regional do Brasil.....	49
3.1. Visão geral .....	49
3.2. Produção de biodiesel a partir do sebo bovino.....	50
3.3. Produção do Biodiesel a partir do óleo de cozinha .....	52
3.4. Produção do Biodiesel em sistemas de integração lavoura - pecuária.....	54
3.5. Produção do biodiesel de palma em combinação com a produção de etanol.....	60

3.6.	Produção de biodiesel de palma e coprodutos numa biorrefinaria.....	63
3.7.	Produção de Biodiesel de palma na Amazônia .....	66
3.8.	Produção de biodiesel de soja na região Centro-Oeste .....	70
3.9.	Discussão .....	72
4.	Conclusão.....	74
5.	Referências Bibliográficas .....	76

# 1. Introdução

## 1.1. Motivação

A humanidade sempre mostrou um grande poder de transformação e criação (CASTELLS, 2000). Devido ao desenvolvimento tecnológico, com as revoluções industriais, houve fortes mudanças sociais, políticas e, principalmente, econômicas. O desenvolvimento tecnológico, decorrente do crescimento econômico da sociedade, proporcionou à humanidade recursos e benefícios imprevisíveis. As novas descobertas e a melhoria na qualidade de vida criaram necessidades mais complexas e exigentes.

Com o aumento populacional proporcionado pelo avanço tecnológico, o crescimento do consumo de energia se tornou inevitável. Até os dias de hoje, a inclusão e crescimento populacional levam a um crescimento contínuo da demanda por energia. Dados publicados pela British Petroleum (BP) mostram um acréscimo de 2,9% em 2018, sendo a maior taxa desde 2010 (BP, 2019). **Erro! Fonte de referência não encontrada.** Na Figura 1, são apresentados o consumo de energia em milhões de toneladas equivalentes de petróleo (mtoe) dos anos de 2008 a 2018 e o aumento relativo do consumo dentro do mesmo período.

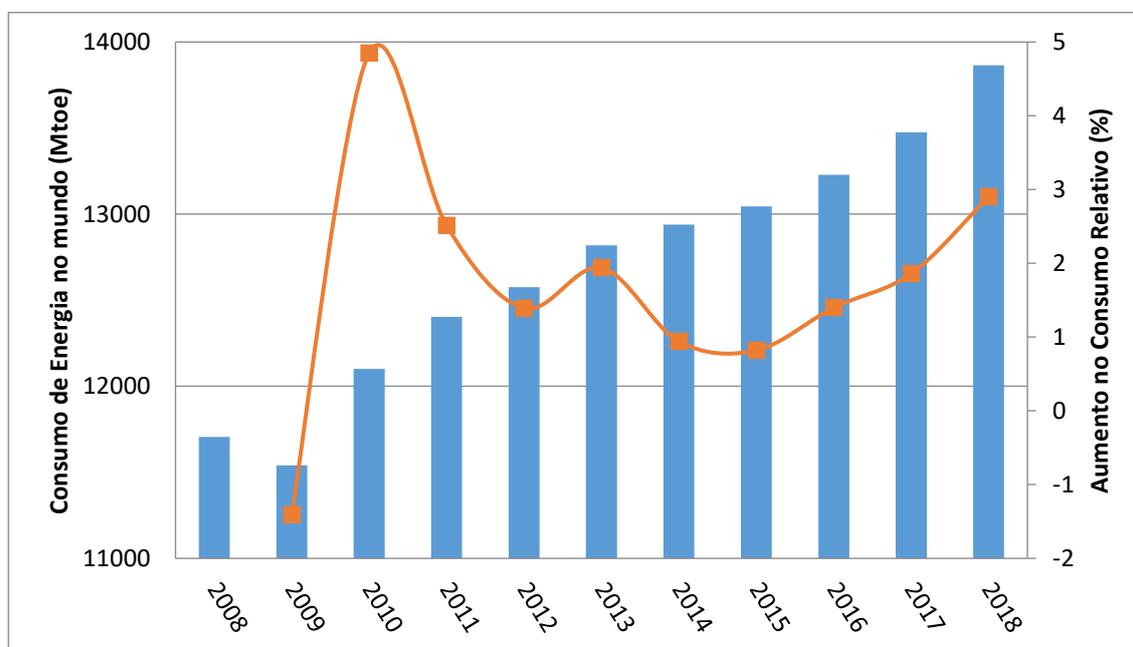
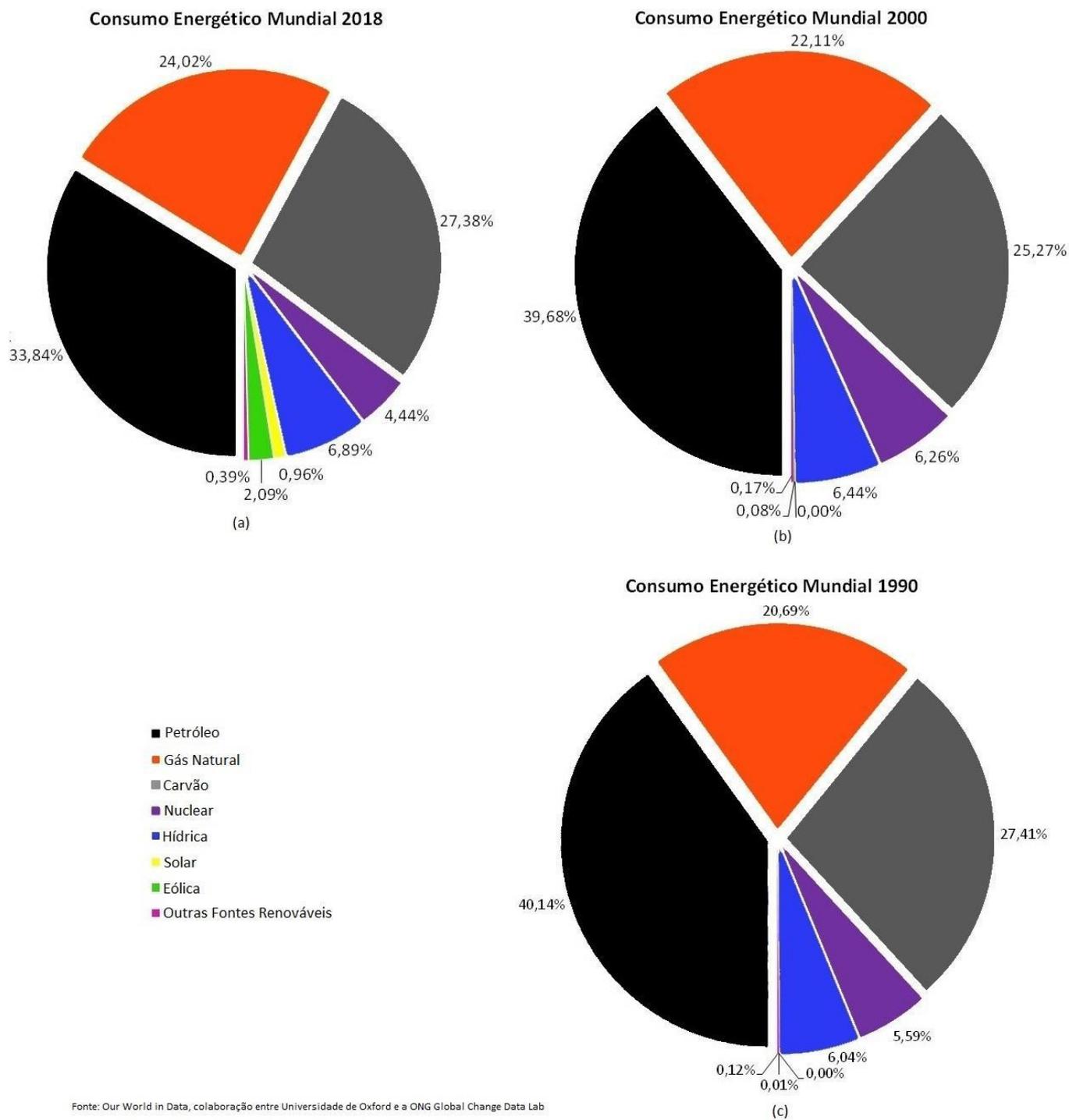


Figura 1 - Consumo de energia no mundo e seu aumento relativo.

Fonte: Adaptado de BP Statistical Review of World Energy 2019

O Petróleo, o carvão e o gás natural, também chamados de combustíveis fósseis, são as principais fontes de energia utilizadas no mundo. Observa-se que a matriz de energia primária mundial se modificou pouco ao longo das últimas décadas. Essas poucas mudanças se concentraram na substituição do consumo de petróleo pelo de gás natural e de carvão para gerar a energia necessária. Apesar da parcela total das fontes renováveis se manter bem similar, em todos os anos, elas mostraram as maiores taxas de crescimento individual que só foram possíveis em consequência dos recentes investimentos. A Figura 2 apresenta gráficos com o perfil do consumo energético do mundo por fonte nos anos 1990, 2000 e 2018 (OPEC, 2019). Um resumo feito pela BP comenta que as fontes renováveis não-hídricas tiveram um crescimento de 14%, enquanto a hídrica de 3,1%.



**Figura 2 - Gráficos De Consumo de Energia Primária Mundial por fonte (a) 2018; (b) 2000; (c) 1990.**  
 Fonte: Our World in Data, colaboração entre Universidade de Oxford e a ONG Global Change Data Lab.

A Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP) divulgou que, em 2018, a demanda por petróleo subiu para 98,82 milhões de barris por dia e que, nos próximos anos, passaria dos 100 mb/d (OPEC, 2019). É evidente que a demanda mais que quadruplicou desde a

criação da OPEP. A Figura 3 apresenta o gráfico da demanda mundial de petróleo por dia no período de 1960 a 2018 (OPEP, 2019). A produção de petróleo, com um aumento quase proporcional à demanda, chegou próximo de 80 mb/d. A Figura 4 mostra o crescimento da produção de petróleo bruto no mundo no período de 1960 a 2018. Mesmo com a produção crescente, em 2018, a OPEP estimou que existiam ainda aproximadamente 1,5 trilhões de barris em reservas comprovadas de petróleo.

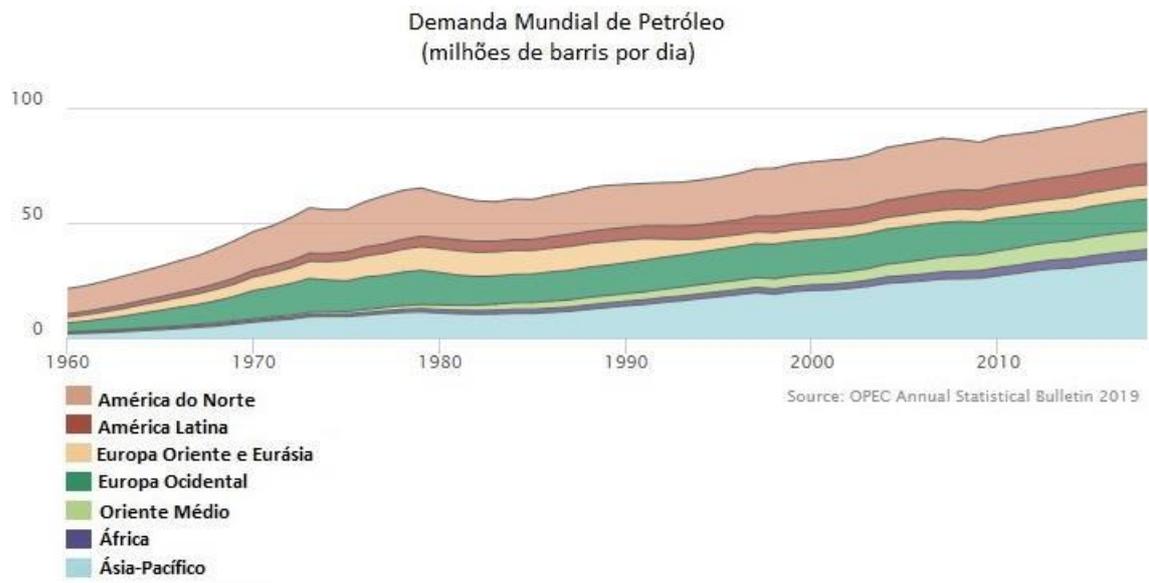


Figura 3 – Gráfico Temporal da Demanda Mundial por Petróleo de 1960 até 2018.

Fonte: Site Oficial da OPEP - <https://www.opec.org/>

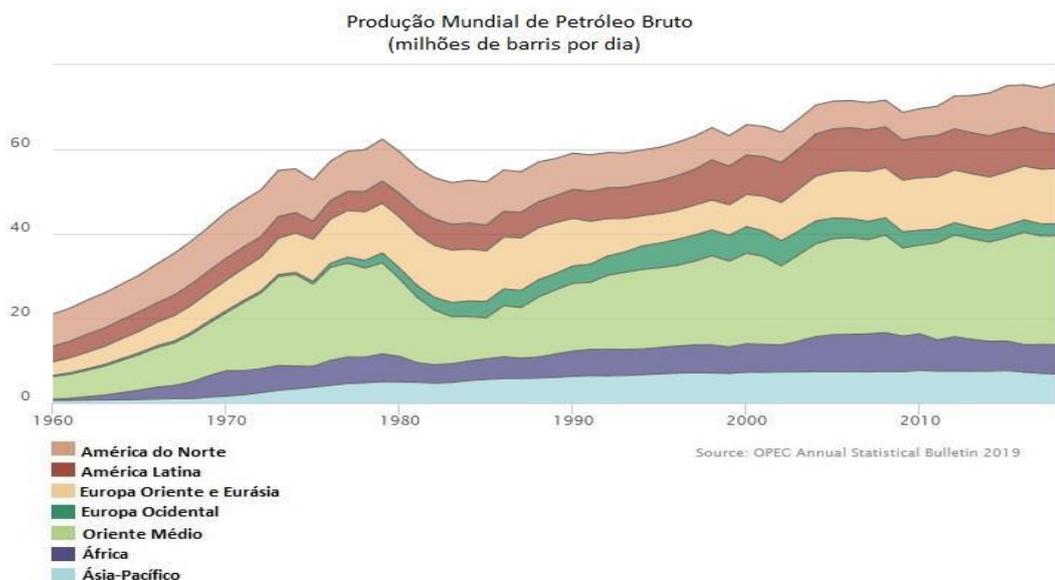


Figura 4 – Gráfico Temporal da Produção de Petróleo Bruto no mundo de 1960 até 2018.

Fonte: Site Oficial da OPEP - <https://www.opec.org/>

O consumo de combustíveis fósseis é responsável por um imenso volume das emissões de carbono, principalmente o gás carbônico (CO<sub>2</sub>), um dos gases mais relevantes que agravam o efeito estufa. Com dados atualizados da Administração Nacional Oceânica e Atmosférica (NOAA), a Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço (NASA) apresentou graficamente a quantidade de CO<sub>2</sub> em partes por milhão (ppm) em uma longa linha temporária, mostrada na Figura 5 (NASA, 2016). A partir dele, pode-se observar que esse aumento recente da concentração de CO<sub>2</sub> não é comum e concluir que as atividades humanas são as maiores responsáveis. Sendo as principais, as extrações e queimas de combustíveis fósseis e o desflorestamento.

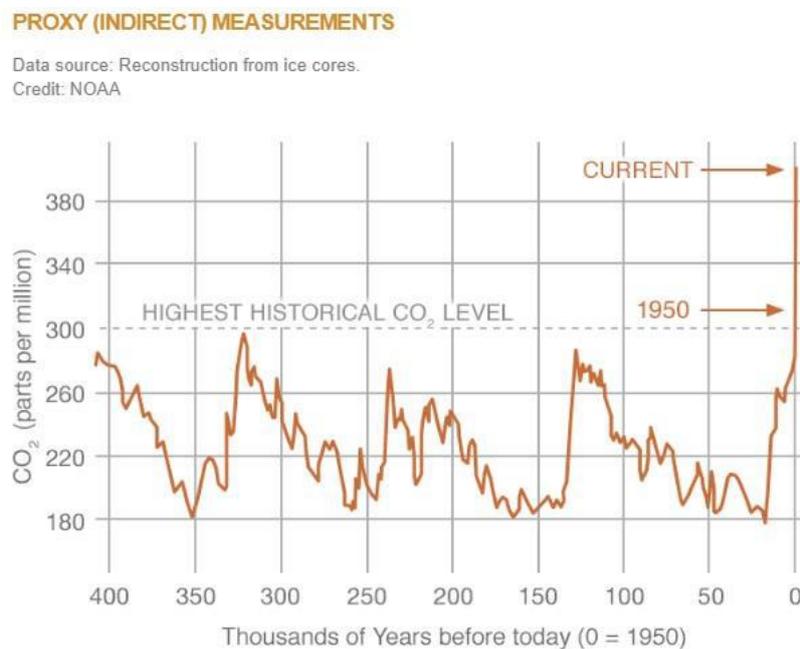


Figura 5 – Histórico da concentração de CO<sub>2</sub> no mundo. Fonte: Site Oficial da NASA - <https://www.nasa.gov/>

Diferentes organizações buscaram o comportamento padrão da temperatura média global. Os dados também mostraram que a temperatura média global subiu de forma direta com o aumento da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera. Na Figura 6, apresenta-se um gráfico de temperatura relativa à temperatura média dos anos de 1951 até 1980 com 5 diferentes origens (NASA, 2020). Os resultados estão muito próximos e evidenciam o aumento da temperatura média. De forma curiosa, os anos 2016 e 2019 foram registrados como os mais quentes desde o início das medições.

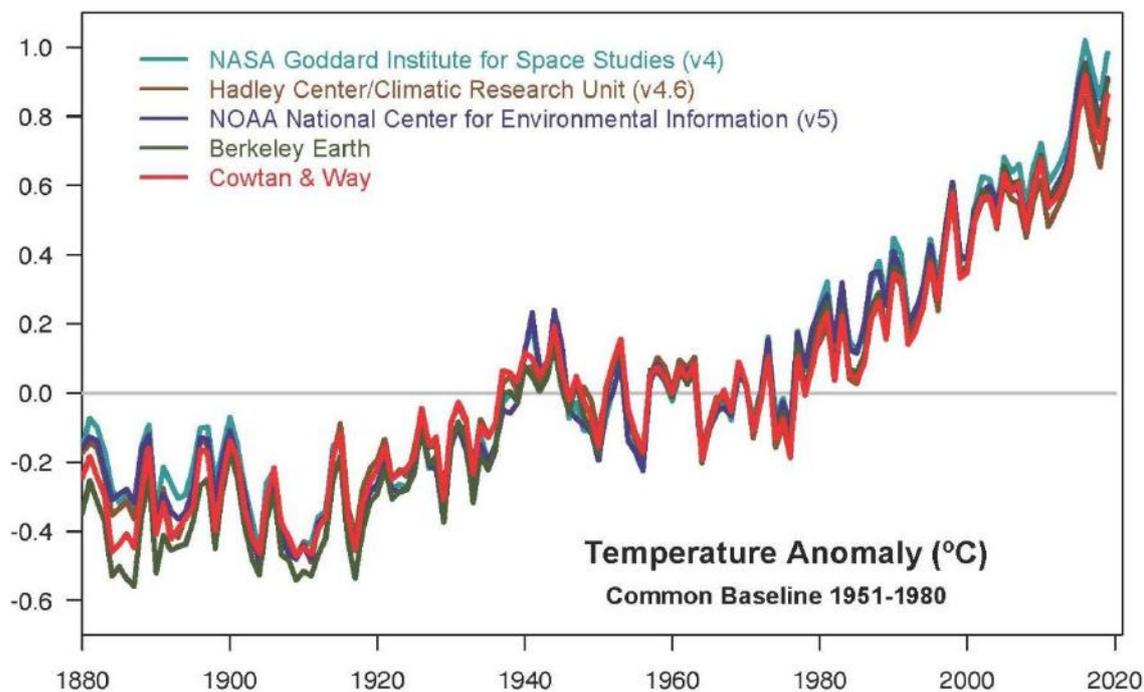


Figura 6 – Gráfico da temperatura média global. Fonte: Site Oficial da NASA - <https://www.nasa.gov/>

O *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), criado em 1988, reporta dados, resumos do que já é conhecido cientificamente, os impactos gerados e os riscos futuros. Ele é uma grande colaboração de cientistas e colaboradores do mundo inteiro, trazendo muita confiabilidade. Além de influenciar leis e acordos políticos de muitos países, traz algumas possíveis soluções para limitar as consequências geradas. Dentre os impactos documentados, observou-se: (IPCC, 2019)

- Aumento da temperatura superficial do Ártico e da Antártica, causando diminuição da espessura e quebra da cobertura de gelo do mar ártico e antártico; desprendimentos de icebergs, colapsos de geleiras e avalanches mais frequentes, em geral; declínio da camada de neve de forma generalizada; mudança de salinidade e aumento no nível médio do oceano.
- Desprendimento de Metano ( $\text{CH}_4$ ) e  $\text{CO}_2$ , intensificando o efeito estufa; aumento da temperatura e da taxa de aquecimento do oceano; aumento na captação de  $\text{CO}_2$  da superfície do oceano, causando a sua acidificação; perda de oxigênio( $\text{O}_2$ ) do oceano; estratificação do oceano, por mudança de densidade das águas mais superficiais em relação a águas mais profundas.
- Mudança extrema na altura das ondas, contribuindo em mudanças extremas no nível do mar, na erosão costeira e inundações;

- Intensificação de climas locais; aumento na ocorrência, intensidade e periodicidade de eventos relacionados ao clima; variação das chuvas, dos ventos e eventos extremos como ciclones tropicais que causam outros eventos por efeito em cascata; aumento na intensidade, extensão, duração e frequência de ondas de calor marinhas; intensificações dos eventos El Niño e La Niña.

O fator antropogênico está impactando mais do que o meio ambiente negativamente. As situações citadas anteriormente estão destruindo aos poucos os ecossistemas do planeta. As mudanças do meio em que se vive estão muito rápidas, a fauna e a flora não estão conseguindo se adaptar no mesmo ritmo, por isso muitas espécies estão entrando em extinção. Isso pode incluir o ser humano.

A conciliação entre o desenvolvimento econômico e o uso dos recursos naturais teve que ser admitida e o conceito de desenvolvimento sustentável teve que ser discutido (CNSEG, 2015). Na Rio-92, foi acordado que os países em desenvolvimento deveriam receber apoio financeiro e tecnológico a fim de atingir um modelo de desenvolvimento sustentável. Além de elaborar um tratado internacional chamado de Convenção – Quadro das Nações Unidas sobre mudança do clima (UNFCCC) (MMA; ALMEIDA, RODRIGUES, SANTANA, 2014). A Rio-92 foi extremamente importante no cenário para trazer à discussão toda comunidade internacional, atraindo inclusive Organizações Não-Governamentais (ONGs) que denunciam e cobram as medidas de sustentabilidade.

A UNFCCC tinha como objetivo visar a estabilização da concentração dos gases de efeito estufa (GEEs) na atmosfera em um nível não-alarmante para o sistema climático. Para complementar este tratado, em 1997, criou-se o Protocolo de Quioto, onde se definiu metas para as reduções das emissões dos GEEs para os países que seriam os principais responsáveis pela mudança climática (MMA; ALMEIDA, RODRIGUES, SANTANA, 2014). Ratificado pelo Brasil em 2002 por meio do Decreto Legislativo nº 144 de 2002, entrou em vigor em 16 de fevereiro de 2005.

Em 2015, ocorreu a 21ª Conferência das Partes da UNFCCC em Paris (CEBDS, 2018; MMA). Um novo acordo foi adotado e tinha como objetivo trazer à tona novamente a necessidade de um desenvolvimento responsável e sustentável, buscando o comprometimento dos países a reduzirem a emissão dos GEEs. O Acordo de Paris começou a vigorar em abril de 2017, tendo a ratificação do Brasil em setembro de 2016 com aprovação do Congresso Nacional. As Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs) do Brasil para o acordo visou ampla

redução das emissões de gases como mostrado na Figura 7. Devido a isso, o país se comprometeu a aumentar a participação de energia renovável e sustentável em sua matriz energética, a restaurar e reflorestar a flora brasileira.



Figura 7 – Metas do Brasil para redução das emissões de carbono.

Fonte: Site do Ministério do Meio Ambiente

Dentre as medidas adotadas, como leis ambientais e criações de reservas, o Brasil deu continuidade à redução dos combustíveis fósseis na participação da matriz energética. Com o incentivo do sucesso do Próalcool, em 2004, lança-se o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) com o objetivo de implementar o biodiesel na matriz (EPE, 2018; UBRABIO, 2020; DE SOUZA et al., 2015). Sua mistura no diesel fóssil se tornou obrigatória em 2008 pela lei nº 11097/2005.



Figura 8 – Evolução do uso obrigatório do biodiesel implementado até 2018.

Fonte: Adaptado de EPE e UBRABIO.

No final de 2017, pela Resolução CNPE n° 23, 09 de novembro de 2017, o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) determinou a obrigação da adição de 10% em volume de biodiesel no diesel fóssil, ultrapassando os 9% previstos pela lei 13263 e aumentando a demanda no Brasil (EPE, 2018; UBRABIO, 2020). O aumento gradual é mostrado pela Figura 8. Além disso, em novembro de 2018, a CNPE aprovou um cronograma de expansão da mistura que estabelece que a adição de biodiesel aumente gradualmente até março de 2023, exemplificado pela Figura 9.



Nota: \* A entrada em vigor do percentual de 11% encontra-se adiada.  
Fonte: EPE a partir de (CNPE, 2018).

Figura 9 – Evolução do percentual de adição do biodiesel ao diesel planejado para 2023. Fonte: EPE, 2018.

## 1.2. Objetivo

O trabalho tem como objetivo geral aprofundar o entendimento da sustentabilidade do Biodiesel no contexto nacional. O estudo terá como foco a análise e comparação do desempenho ambiental do biocombustível feito de diferentes matérias-primas, levando em consideração estudos de Análise de Ciclo de Vida (ACV), revisões e a análise de mercado.

## 2. Revisão Bibliográfica

### 2.1. Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

#### 2.1.1. Ciclo de Vida

O ciclo de vida é definido como uma série de mudanças ou estágios na vida de um organismo. Organismo esse que pode ser definido como também produtos, processos físicos ou sistemas. Para estudar o ciclo de vida de um organismo, deve-se observar desde o seu início, seu nascimento, até o seu fim, sua morte. Esse ponto de vista é chamado de “do berço ao túmulo”. A partir daí, podemos usar esse conceito para criar outros segmentos de estudos como “do berço ao portão”, onde se observa o caminho da matéria-prima antes de ser transformada, ou também, no caso de um completo reciclo, “do berço ao berço”, vide Figura 10. (Matthews, Hendrickson, Matthews, 2014)

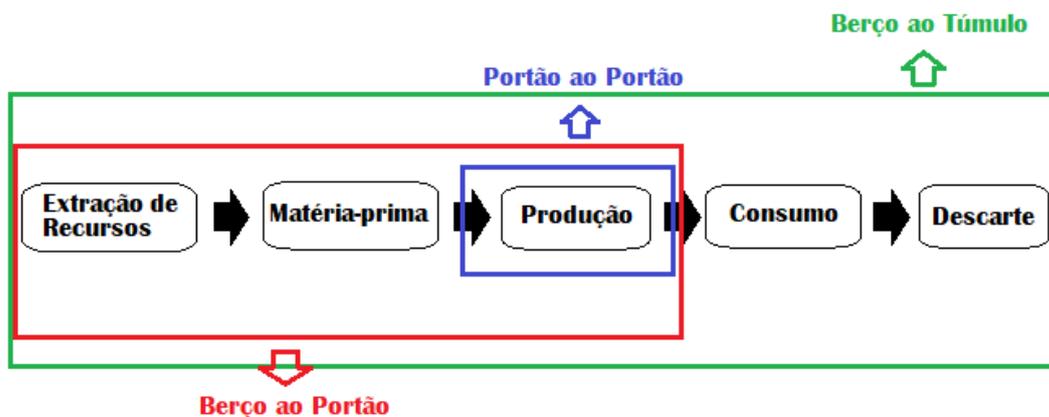


Figura 10 – Exemplo de sistemas e suas fronteiras. Fonte: de autoria própria.

#### 2.1.2 Complexidade de um Ciclo de Vida

Quando se estuda um produto ou processo deve-se ter bem definido o sistema do qual ele faz parte e os seus limites atribuídos. Estudar um sistema completo de produção, vide Figura 11, implica na necessidade do levantamento de uma grande quantidade de dados, uma vez que cada insumo do produto ou processo precisa ser estudado do berço ao túmulo. (Matthews, Hendrickson, Matthews, 2014)

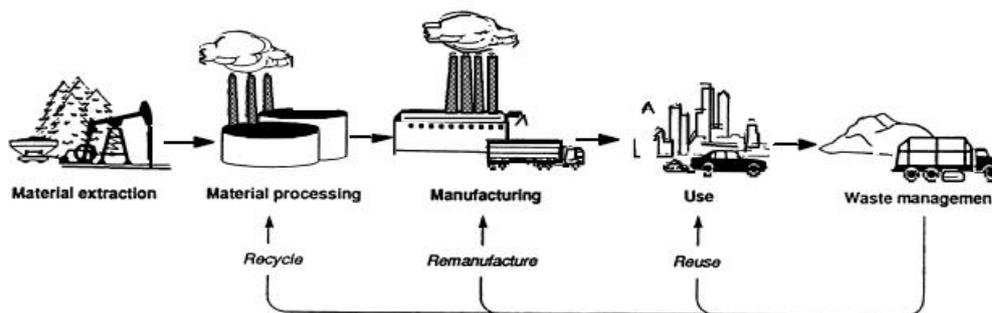


Figura 11 – Visão geral de um ciclo de vida de um produto.

Fonte: Life Cycle Assessment: Quantitative Approaches for Decisions that Matter, 2014

Lembrando que todo processamento necessita de equipamentos apropriados e de energia para ocorrer, tal como de etapas de transporte e armazenamento, torna-se claro o grande grau de complexidade de um estudo ACV. Cada equipamento possui um certo número de materiais para sua confecção. Em cada um desses materiais, também deve-se fazer a mesma engenharia reversa para que se tenha a ACV completa de todo o processo de confecção do clipe de papel, devendo-se nomear todos os recursos necessários. Recursos esses que podem ser desde mão-de-obra humana, uso de recursos naturais até transporte. A energia possui sua própria engenharia reversa, onde sua geração depende da fonte primária usada. (Matthews, Hendrickson, Matthews, 2014)

### 2.1.3 A Metodologia de ACV

Para minimizar as subjetividades, a metodologia da ACV foi regularizada pela norma ISO 14040:2009. A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) deve possuir uma estrutura com quatro fases iterativas (vide Figura 12) consistidas por: Definição do objetivo e escopo, Análise de inventário, Análise de impacto e Interpretação de resultados. Devido a seu caráter iterativo, pode ser necessário ajustar o escopo durante o aprofundamento do estudo.

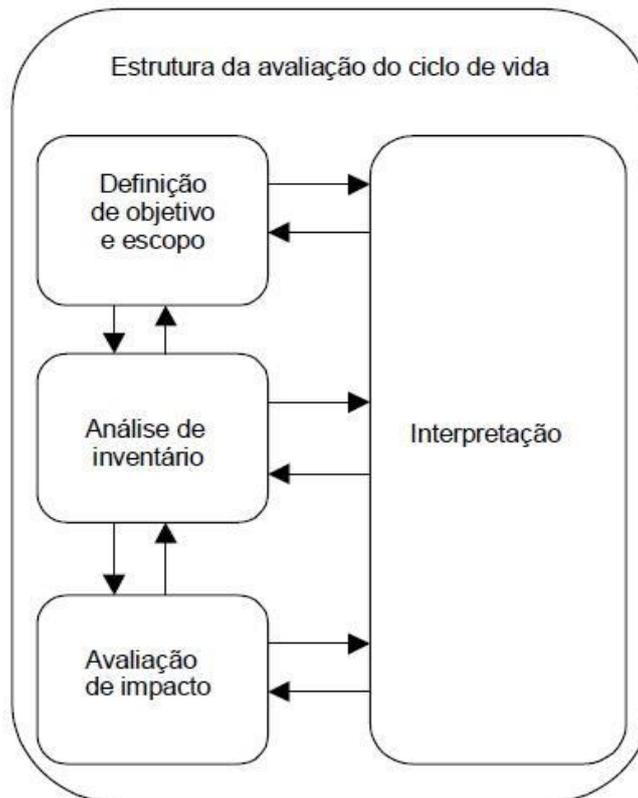


Figura 12 – Fases e estruturas iterativas da ACV

Fonte: ISO NBR 14040:2009

### 1º Passo - Definição do objetivo e escopo

Deve-se definir primeiro o objetivo do estudo. Estará contido nele a aplicação pretendida, o porquê de se conduzir esse estudo, o público-alvo e se será dado de forma descritiva ou comparativa. Apesar de parecer simples, essa é uma etapa muito importante que irá direcionar a definição do escopo do estudo.

Definido o objetivo, o escopo é determinado. Pela norma ISO 14040:2009, há uma lista de considerações bem definidas para se conduzir o estudo que serão melhor abordadas. São elas: o sistema e as suas funções; as fronteiras do sistema; a unidade funcional; os procedimentos de alocação; as categorias de impacto e sua metodologia de avaliação; requisitos de dados; pressupostos; limitações; requisitos da qualidade dos dados iniciais; tipo de análise crítica, caso necessário; tipo e formato de relatório requerido para o estudo. A seguir, estão definidos elementos essenciais para o estudo, entre outros:

- Sistema de produto – Conjunto de processos conectados material e energeticamente que realiza um ou mais funções definidas.

- Funções do sistema – Características de desempenho
- Unidade Funcional – Quantificação do desempenho de um sistema como uma unidade de referência, deve ser uma medida explícita e quantitativa com relação às entradas e às saídas do sistema estudado.
- Fronteiras do sistema – são os limites definidos para o sistema de produto do estudo. Marcam o início e o término do sistema.

#### 2º Passo - Análise de Inventário

Com o objetivo e o escopo definidos, o próximo passo é a Análise de Inventário de Ciclo de Vida (ICV). Nessa etapa, deve-se nomear todos os processos unitários elementares dentro do sistema com suas descrições, funções e todos os seus fluxos de entradas e saídas. No intenso processo de coleta de dados, deve-se considerar todos os recursos e variáveis importantes como uso de energia, matéria-prima, uso e descarte de água, produto, coprodutos e emissões. Em seguida, precisa-se realizar a validação dos dados, o cálculo dos fluxos e a modelagem da unidade funcional. Deve-se lembrar da iteratividade da técnica e a possível necessidade de se ajustar tanto o objetivo e o escopo quanto o sistema e os dados coletados, caso seja julgado necessário ao longo do estudo

#### 3º Passo - Análise do Impacto do Ciclo de Vida (AICV)

A Análise do Impacto do Ciclo de Vida (AICV) tem como meta analisar os resultados trazidos pelo ICV e avaliar a significância dos potenciais impactos ambientais. A AICV é uma fase composta por elementos obrigatórios e elementos opcionais. Os elementos obrigatórios são nomeados de seleção, classificação e caracterização. Já os elementos opcionais são a normalização, agrupamento e ponderação.

I. Seleção: Essa etapa busca atribuir as categorias de impacto, os indicadores de categoria e os modelos de caracterização que fazem sentido a partir dos resultados do ICV. As categorias de impacto estão relacionadas com quais questões ambientais podem ser atreladas aos resultados da ICV, levando em conta o escopo e o objetivo do trabalho. Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, é apresentado exemplos de categoria de impactos.

Tabela 1 - Categorias de Impacto. Fonte: Adaptado de US EPA 2006.

Categoria de Impacto	Escala	Exemplos de dados para ICV
Mudança Climática	Global	Gás Carbônico (CO <sub>2</sub> ); Óxido Nitroso (N <sub>2</sub> O); Metano (CH <sub>4</sub> ); Clorofluorcarbonos (CFCs); Hidroclorofluorcarbonos (HCFCs); Brometo de Metila (CH <sub>3</sub> Br)
Destruição da Camada de Ozônio	Global	Clorofluorcarbonos (CFCs); Hidroclorofluorcarbonos (HCFCs); Hidrocarboneto Halogenado; Brometo de Metila (CH <sub>3</sub> Br)
Acidificação	Regional, Local	Óxidos de Enxofre (SO <sub>x</sub> ); Óxidos de Nitrogênio (NO <sub>x</sub> ); Ácido Clorídrico (HCl); Ácido Fluorídrico (HF); Amônia (NH <sub>4</sub> )
Eutrofização	Local	Fosfato (PO <sub>4</sub> ); Monóxido de Nitrogênio (NO); Dióxido de Nitrogênio (NO <sub>2</sub> ); Nitratos; Amônia (NH <sub>4</sub> )
Smog Fotoquímico	Local	Hidrocarbonetos, exceto Metano (CH <sub>4</sub> )
Toxicidade Terrestre	Local	Químicos tóxicos com concentração letal comprovada para roedores
Toxicidade Aquática	Local	Químicos tóxicos com concentração letal comprovada para peixes
Saúde Humana	Global, Regional, Local	Emissões totais para o ar, para a água e para o solo
Esgotamento de Recursos	Global, Regional, Local	Quantidade de minerais usados; Quantidade de combustíveis fósseis usados
Uso do Solo	Global, Regional, Local	Quantidade descartada em um aterro ou outras mudanças de uso da terra
Uso da água	Regional, Local	Água consumida ou usada

Já os indicadores de categoria devem ser relacionados pelo menos qualitativamente aos resultados da ICV. Demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), compostos orgânicos halogenados absorvíveis (AOX), teor total de halogênios, compostos orgânicos voláteis (COV) são alguns exemplos de indicadores. As opções de indicadores são divididas em 2 categorias, como mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 - Exemplos de indicadores de categoria. Fonte: Adaptado de ISO/TR 14047:2003

Categoria de Impacto	Escolha de nível de indicadores	
	Exemplos de variáveis intermediárias	Exemplo de categoria endpoints
Mudança Climática	Radiação Infravermelha, Temperatura, Nível do Mar	Expectativa de Vida Humana, Recife de Corais, Vegetação Natural, Florestas, Cultivos, Edifícios
Destruição da Camada de Ozônio	Radiação UV-B	Pele Humana, Biodiversidade Oceânica, Cultivos
Acidificação	Liberção de prótons, pH, Capacidade de troca catiônica, Razão Al/Ca	Biodiversidade de Florestas, Produção de Madeira, População de Peixes, Materiais(?)
Nutrição	Concentração de macronutrientes (Nitrogênio, Fósforo)	Biodiversidade de ecossistemas terrestres e aquáticos
Toxicidade Humana	Concentração de substâncias tóxicas no ambiente, Exposição humana	Aspectos da Saúde Humana (funcionamento de órgãos, Expectativa de vida humana, Número de dias doente)
Ecotoxicidade	Concentração ou biodisponibilidade de substâncias tóxicas no ambiente	Populações de espécies de animais e plantas

Os modelos de caracterização são os modelos matemáticos que relacionam os indicadores de categoria com os resultados da ICV. Normalmente, são divididos em dois métodos, métodos com atribuição de impacto orientada a ponto médio (midpoint) e métodos, orientada a ponto final (endpoints).

## II. Classificação

Nessa etapa, será feita a devida correlação de cada um dos resultados da ICV à sua categoria de impacto, podendo ser atribuída a mais de uma e aos indicadores de categoria relevantes para o trabalho.

## III. Caracterização

Nessa etapa, serão feitos os cálculos necessários e a obtenção dos resultados de cada indicador de categoria e seus fatores, ou seja, será usada a metodologia mais adequada para o objetivo do trabalho. Sendo os métodos CML 2001 e EDIP97 exemplos de abordagem midpoint e os métodos Eco-Indicador 99 e EPS 2000 bons exemplos de abordagem endpoint. Também há

algumas metodologias que tentam integrar as duas abordagens como a ReCiPe 2008 e a Impact 2002+. (FLORINDO et al, 2015)

#### 4º Passo - Interpretação de resultados

Na fase de interpretação, os resultados das análises de inventário e de impacto são comparados. Deve oferecer resultados consistentes com o objetivo e o escopo escolhidos, levar a conclusões, explicar limitações e oferecer recomendações.

## 2.2. Sustentabilidade

Sustentabilidade é um conceito formado, em geral, por um conjunto de ideias, estratégias e demais atitudes que sejam ecologicamente corretas, economicamente viáveis, socialmente justas e culturalmente diversas e se relaciona diretamente com desenvolvimento sustentável. Atualmente, com o incentivo da necessidade de otimizar o uso de recursos e minimizar as consequências disso, foram criadas definições para alguns tipos de sustentabilidade. (BRASIL, 2004)

- Sustentabilidade ambiental tem como objetivo criar uma harmonia entre o meio ambiente e a sociedade, mantendo o seu padrão de vida, os ecossistemas e sem comprometer as próximas gerações.
- Sustentabilidade social busca promover o equilíbrio e o bem-estar da sociedade por meio de iniciativas com o objetivo de diminuir a desigualdade.
- Sustentabilidade econômica prevê o desenvolvimento econômico sem que haja impactos ambientais ou deterioração da qualidade de vida das pessoas.

A ideia de desenvolvimento sustentável surgiu, em 1972, durante a Primeira Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento em Estocolmo, Suécia. A Conferência foi motivada pelas mudanças climáticas que ocorreram pelo uso exacerbado de recursos naturais. (SÃO PAULO, 1997)

Para melhor visualização e melhor uso do conceito de sustentabilidade no meio empresarial, o tripé da sustentabilidade foi criado em 1990 por John Elkington, cofundador da ONG SustainAbility (UNEP, SUSTAINABILITY, 1994; ELKINGTON, 2004). John Elkington

previa uma mudança no modelo de negócios que começaria a considerar a performance ambiental e social, além da econômica, tornando-se uma das autoridades na área. O tripé é sustentado pelos aspectos ambientais, sociais e econômicos e somente quando os três aspectos são respeitados, pode-se dizer que algo é completamente sustentável (FERREIRA, 2019). O tripé da sustentabilidade está representado Figura 13.

Porém, para realizar as ações necessárias, é necessário entender o conceito por completo. Para que algo seja ecologicamente correto, não pode haver qualquer tipo de impacto negativo no meio ambiente. Já, para que algo seja economicamente viável, deve-se promover o lucro para que haja desenvolvimento econômico. Finalmente, para que algo seja socialmente justo, deve-se haver igualdade, ética, transparência e solidariedade. Na Figura 14, é apresentado uma tabela com exemplos de ações que englobam os aspectos do tripé da sustentabilidade, podendo elas ser individuais, locais ou globais.

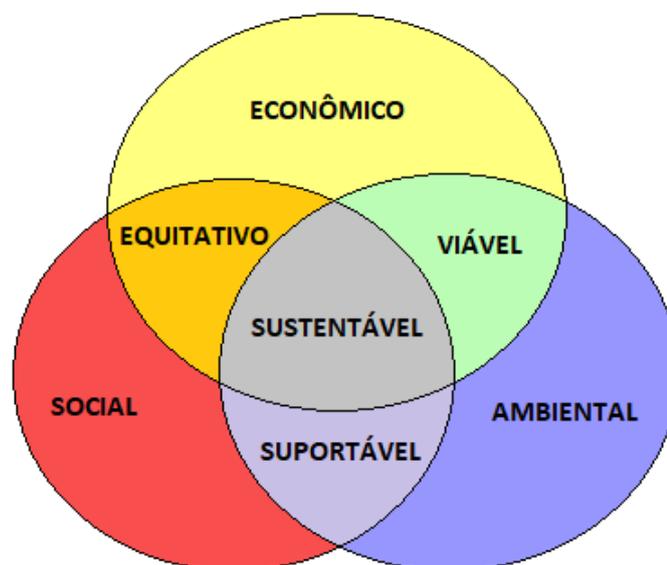


Figura 13 – Tripé da sustentabilidade. Fonte: de autoria própria.

Dimensão Ambiental	Dimensão Social	Dimensão Econômica
Educação ambiental	Valorização Direitos Humanos	Competitividade de mercado
Conservação dos recursos naturais	Envolvimento comunitário	Transparência
Redução do desperdício	Valorização do bem-estar social	Prosperidade econômica
Uso de energia limpa e renovável	Bases éticas	Criar laços de respeito com funcionários, fornecedores e sociedade
Biodiversidade	Investimento em políticas públicas e de inclusão social	Estratégias de crescimento com base na preservação ambiental e bem-estar social
Eliminar impactos ambientais		

Figura 14 - Ações que englobam os aspectos do tripé

Fonte: [www.significados.com.br/sustentabilidade](http://www.significados.com.br/sustentabilidade) Acesso em: 04/03/2021

Em 1992, com a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento que ocorreu no Rio de Janeiro, mais conhecida como Rio-92 ou Eco-92, governos do mundo todo se comprometeram a seguir a Agenda 21, um documento que estabelecia o comprometimento de seus pares em buscar soluções para problemas socioambientais. Cada país deveria desenvolver sua própria Agenda 21 e usar como um instrumento para criar estratégias locais de desenvolvimento econômico sem que elas causem problemas globais. (SÃO PAULO, 1997; ALMEIDA, RODRIGUES, SANTANA, 2014)

Em busca de uma forma técnica para definir o que é sustentável ou não, métodos foram criados para definir indicadores e índices de sustentabilidade. Visando a demanda, Herman Daly e John Cobb desenvolvem o Índice de Bem-Estar Econômico Sustentável (IBES ou ISEW em inglês) em 1989. Outros indicadores como a Pegada Ecológica foram aparecendo nesse primeiro momento. Porém, com novas informações e novos estudos, pesquisadores da Universidade de

Yale e da Universidade de Columbia desenvolveram o Índice de Sustentabilidade Ambiental (ISA ou ESI em inglês) durante o início do século 21. (Mikhailova, 2004)

O ISA tem como objetivo avaliar a sustentabilidade relativa entre os países, proporcionando uma classificação que vai do país mais sustentável ao país menos sustentável e foi usado de 1999 a 2005. Em 2006, foi publicado o relatório do Índice de Desempenho Ambiental Piloto. Esse novo índice, desenvolvido também por pesquisadores das Universidades de Yale e Columbia, objetiva medir quantitativamente 25 indicadores que compõe 10 categorias que estão dentro dos objetivos políticos, saúde ambiental e vitalidade dos ecossistemas. (Mikhailova, 2004)

Como já evidenciado, buscar ações cada vez mais sustentáveis é bastante complexo e necessita de um pensamento não-linear. Com o objetivo de seguir esse novo modelo, é essencial pensar na perspectiva de sistemas ou no conceito de ciclo de vida. Mesmo que seja quase impossível chegar a um mundo sem poluição, o uso do conceito do ciclo de vida para gestão ambiental pode ampliar as opções e dar novas escolhas para chegarmos a soluções em estágios prévios. (Matthews, Hendrickson, Matthews, 2014)

### **2.2.1. Sustentabilidade no Brasil**

Além da preocupação ambiental, o PNPB foi criado, visando a inclusão social, a geração de emprego e a distribuição de renda entre agricultores familiares produtores de matéria-prima. Como dito na cartilha do PNPB, o programa trabalha com metodologia própria para cada região do país e com projetos e parcerias, induzindo o desenvolvimento territorial. (MDA, 2019)

O Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA) é responsável de projetar e operacionalizar a estratégia social do programa, atuando de duas maneiras. De um lado, identifica os produtores de biodiesel que se adequam aos critérios do programa para conceder e gerir o Selo Combustível Social. O selo comprova que o produtor trabalha para aumentar a inclusão social dos agricultores familiares dentro do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF). Por outro, planeja e implementa a metodologia de organização de base chamada Projeto Polos de Biodiesel. Por meio desse projeto, ele objetiva articular a base produtiva da agricultura familiar e os diversos atores estaduais e territoriais, facilitando o acesso às políticas públicas, às tecnologias e à capacitação adequada. A Figura 15 resume bem o trabalho feito pelo MDA. (MDA, 2019)

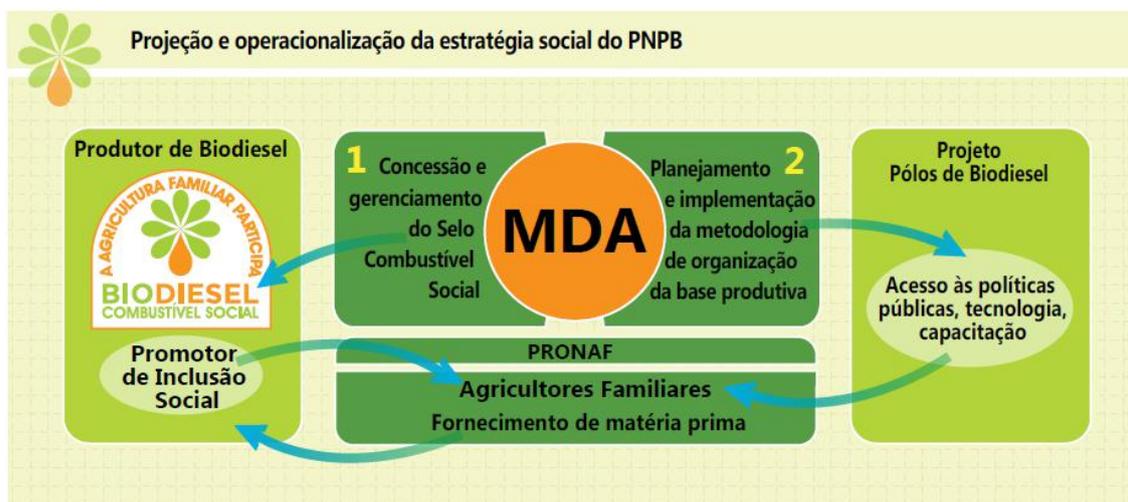


Figura 15 – Estratégia do MDA dentro do PNPB. Fonte: Cartilha do PNPB, 2010.

A iniciativa juntou o interesse de muitos produtores de biodiesel com a necessidade de muitas famílias agrícolas. Apesar das várias obrigações que os produtores possuem para adquirir o Selo Combustível Social, com ele vem outras várias vantagens. Durante os primeiros anos, o programa já se mostrou ser um grande sucesso, apresentando uma ascensão tanto no número de produtores de biodiesel com o selo quanto na aquisição de matéria-prima vinda da agricultura familiar, divulgado pelo MDA em 2010, evidenciado nas Figura 16 e Figura 17. Desde então, como mostrado no PNE 30, o uso das diversas oleaginosas para produção de biodiesel vem crescendo vertiginosamente. (MDA, 2019)



Figura 16 – Total de unidades produtoras de biodiesel. Fonte: Cartilha do PNPB, 2010

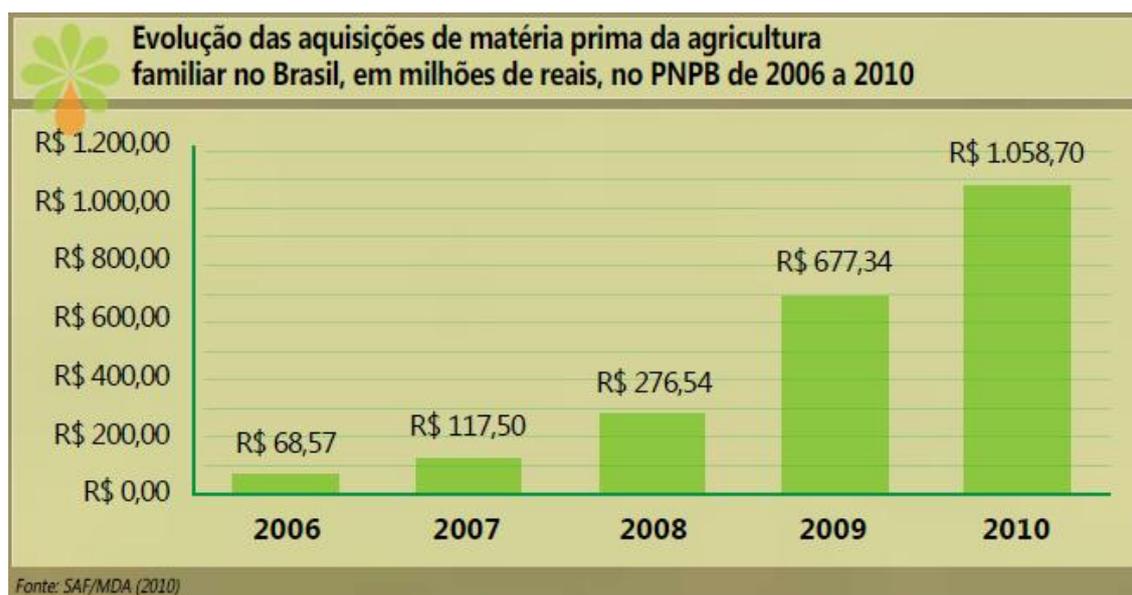


Figura 17 - Evolução das aquisições de matéria-prima. Fonte: Cartilha do PNPB, 2010

A criação do programa incentivou a formação de novos laços comerciais, fortalecendo o cooperativismo entre os agricultores familiares. As cooperativas trouxeram algumas vantagens. A venda coletiva torna possível melhor negociação de preços e diminuição de custo de transporte. Por meio da cooperativa, é possível comprar equipamentos de beneficiamento de grãos. A cooperativa ajuda em negociações, pesquisas de mercado e estudos técnicos

aprofundados. Ajuda com assistência técnica. O cooperativismo fortalece o relacionamento do agricultor com o mercado de forma geral. (MDA, 2019)

A partir de 2006, o MDA começou a implementar uma metodologia organizacional chamada Projeto Polos de Biodiesel. De forma microrregional ou territorial, ela contribui na promoção da inclusão social de agricultores familiares na cadeia produtiva do biodiesel, por meio da produção de oleaginosas. Os Polos de Produção de Biodiesel são espaços geográficos compostos por diversos municípios com a presença de todos os atores envolvidos no PNPB. A Figura 18 mostra as relações interligadas pelo projeto. (MDA, 2019)

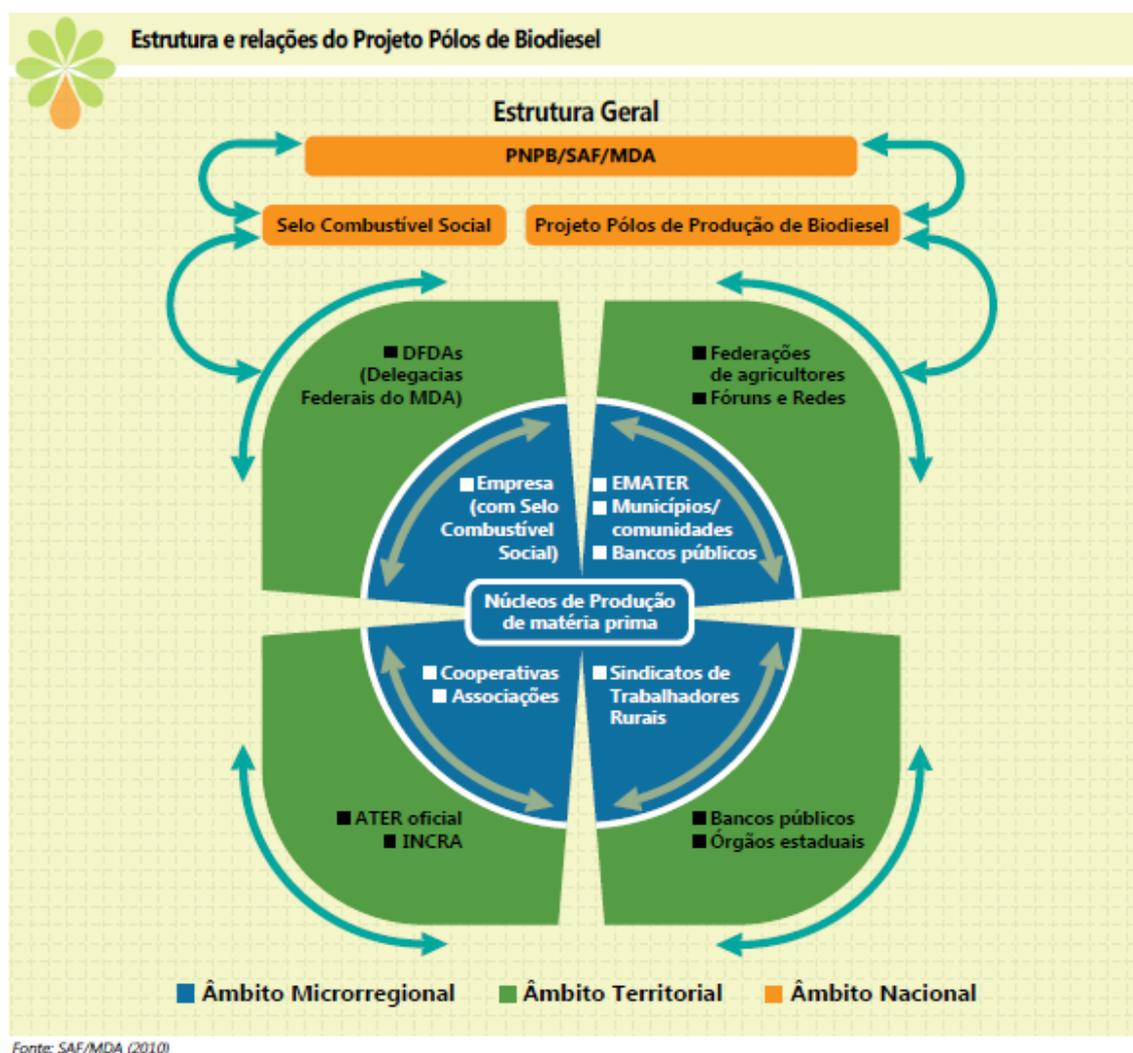


Figura 18 – Estrutura Geral do Projeto Polos de Biodiesel. Fonte: Cartilha do PNPB, 2010

Apesar do foco inicial e do crescimento da produção do biodiesel após o início do programa (MME, 2021), esse desenvolvimento se configurou a partir, principalmente, da ampliação de grandes empresas de processamento de soja, ou seja, do favorecimento de produtores monocultores de soja. (EMBRAPA, 2015; PETRY, 2020) Esse desenvolvimento acontece em detrimento das usinas de pequeno porte e prejudica um dos principais métodos para a inclusão social, a diversificação de matéria-prima. Durante o período de 2008 a 2018, pode-se observar que as regiões privilegiadas foram a Centro-Oeste e a Sul, vide Tabela 3, saindo do pretendido, já que as regiões mais visadas eram a Norte e a Nordeste. (PETRY, 2020) Além de tudo, a falta de infraestrutura e logística, de pesquisa em tecnologias de informação e inovação, de mecanização do campo e cursos profissionalizantes ajudou no desfavorecimento das famílias agricultoras em relação ao grande império da soja, que já possui tecnologia consolidada, e na evacuação dessas famílias do programa. A Figura 19 mostra o número de famílias agricultoras no PNPB pelo período de 2005 a 2014. (DE SOUZA et al, 2015) De forma geral, os produtores de soja aproveitaram do investimento do programa, mesmo que já estivessem estabelecidos, e cresceram, tornando a produção de matéria-prima mais centralizada, mais concentrada e monocultora.

**Tabela 3 - Quantidade de Usinas por Região. Fonte: Petry, 2020.**

Regiões	Número de Usinas			
	Ano	2009	2014	2018
Norte		7	3	3
Nordeste		5	3	3
Centro-Oeste		30	27	24
Sudeste		14	11	8
Sul		7	14	13

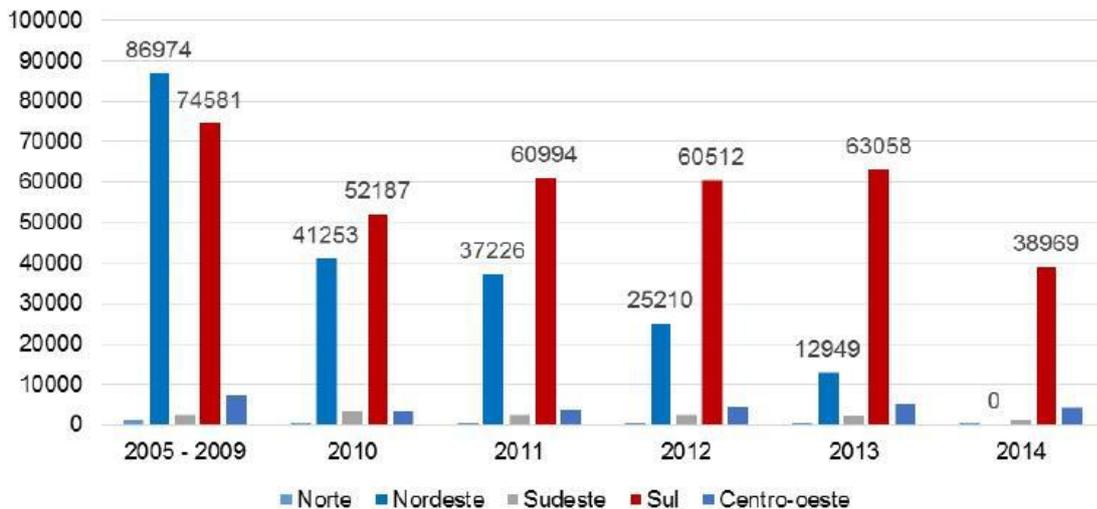


Figura 19 – Número de famílias participantes do PNPB. Fonte: De Souza, 2015.

Mesmo com os pontos negativos, o programa gerou alguns bons resultados. Dentre eles, o auxílio com a criação de cooperativas. Mesmo que com dificuldade, a cooperativa apresenta maior grau de organização, dando maior força para negociações. Um dos casos é a Cooperativa de Produção e Comercialização da Agricultura Familiar do Estado da Bahia (COOPAF). Em 2005, a COOPAF, umas das pioneiras no ramo, foi fundada com o objetivo para formar uma ligação entre os agricultores familiares e os produtores de biodiesel. Em 2006, ficou muito conhecida por sua parceria com a Brasil Ecodiesel. Seus principais produtos foram a semente de mamona e a de girassol. Em 2007, passou por mudanças estruturais e financeiras para diversificar suas atividades na cadeia de produção do biodiesel. (FAO, 2016)

Outro grande exemplo foi a integração entre os pequenos produtores de dendezeiro da Comunidade do Arauaí, Município de Moju no estado do Pará, e a Agropalma. A parceria que começou em 2002 apresentou bons resultados como garantia de mercado, boas práticas produtivas, satisfação dos pequenos produtores e melhoria da qualidade de vida. (HOMMA et al, 2014)

Ainda no Pará, no começo da década de 2010, outros grupos se interessaram em formar novos projetos para o processamento da palma em integração com a agricultura familiar. Destacam-se as empresas Vale (Biopalma), Petrobras Biocombustível (Belém Bioenergia Brasil S.A) e ADM do Brasil cujo principal objetivo seria a produção de biodiesel. (MONTEIRO et al, 2013)

Em busca de mais casos de sucesso, em 2019, a ministra Tereza Cristina decidiu que todos os agricultores familiares têm direito ao selo combustível social concedido aos produtores de biodiesel. Além de visar o incentivo e a inclusão das cooperativas no programa, agricultores familiares sem conexões diretas com cooperativas também serão inseridos. Contanto que tenham a Declaração de Aptidão ao Pronaf (DAP) e que estejam habilitados como fornecedores de matéria-prima para produtores de biodiesel, essa desburocratização permitirá a inclusão de pelo menos 40 mil famílias agricultoras. (BRASIL, 2019)

## **2.3 Biocombustíveis / Biodiesel**

### **2.3.1 Global**

Desde o início dos anos 2000, as políticas ambientais têm norteado o desenvolvimento do mercado global de biocombustíveis. O suporte para a indústria de biocombustíveis vem por meio de políticas públicas de incentivos como misturas obrigatórias, isenção de taxas e investimento. O mercado de biocombustíveis também se beneficia de critérios de sustentabilidade, padrão de qualidade de combustível e as taxas de importação do etanol e do biodiesel. (OECD, 2017)

Do ponto de vista internacional, o mercado de biocombustíveis tem se estabilizado. A preocupação ambiental e a busca por fontes de energia garantidas estimularam a produção e o uso de biocombustíveis. A produção aumentou 10 bilhões de litros em 2018, chegando a 154 bilhões de litros. O crescimento de 7%, em 2018, foi o maior em 5 anos. A produção já representa um décimo do fornecimento de energia global, com grande participação do setor de transportes. Os maiores produtores são Brasil, EUA e União Europeia, como mostrado na Figura 20. Sob condições de mercado mais favoráveis e políticas públicas, a produção global, que tem previsão de aumentar 25%, chegando a 190 bilhões de litros em 2024, pode chegar até 225 bilhões de litros. (IEA, 2018; IEA, 2019)

## Production, 2018

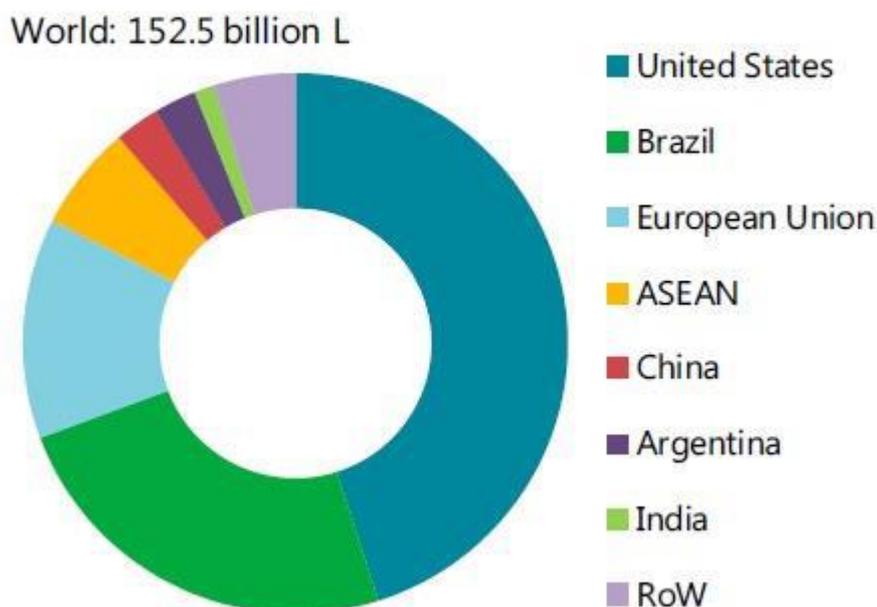


Figura 20 – Panorama da Produção dos Biocombustíveis em 2018. Fonte: IEA,2019.

Brasil e os EUA foram os maiores produtores como evidenciado na Figura 20. Os 2 países juntos representam 40% da previsão de crescimento de saída de biocombustíveis, providenciando cerca de 1/3 da produção global em 2024. Já os países asiáticos são os que vão ter maior crescimento até 2024, devido a cada vez mais adoções de mandatos para consumo de biocombustíveis produzidos nacionalmente pelo potencial de reforçar a segurança de energia enquanto aumenta a demanda por commodities agrícolas e melhora a qualidade do ar. (IEA, 2019) Porém, como a produção global de biocombustíveis é vinculada, principalmente, a políticas para o mercado interno, o volume do mercado internacional é relativamente baixo e a tendência é que a produção cresça mais lentamente nos próximos anos. (OECD/FAO, 2020)

A produção de biodiesel e diesel verde aumentou 9%, chegando a 43 bilhões de litros em 2018. Para 2024, há previsão de uma expansão de 1/3 com a produção de 57 bilhões de litros. O gráfico apresentado na Figura 21 mostra o panorama atual e a previsão da produção de biodiesel e diesel verde no mundo. (IEA, 2019) Em 2018, Noruega e Suécia mostraram interesse no setor por reservar um percentual considerável do PIB para investimentos no setor de biocombustíveis

em pesquisa e desenvolvimento (P&D) de 0,0062 e 0,0045, respectivamente, representando em torno de 23 milhões de euros. (EurObservER, 2019)

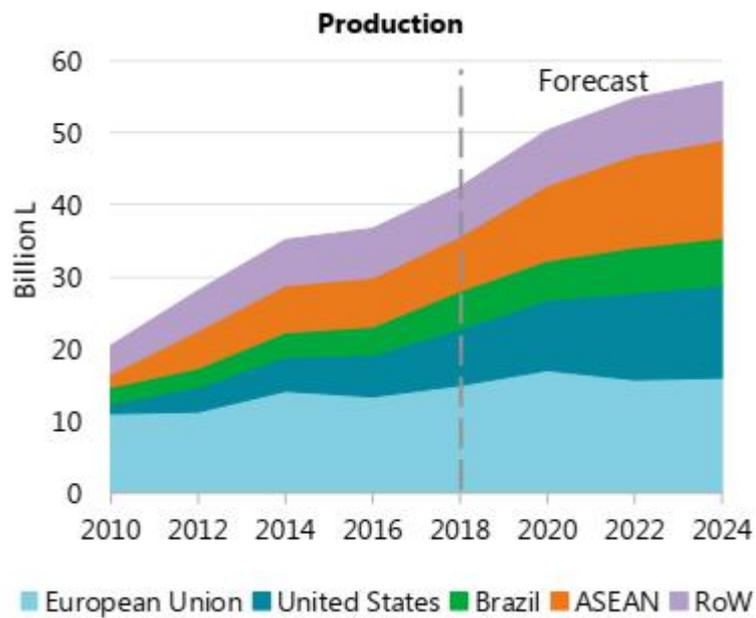


Figura 21 – Produção Global de Biodiesel e Diesel Verde. Fonte: IEA, 2019.

A variedade de matéria-prima usada na produção de biodiesel pelo mundo é extensa, porém restrita pela proximidade e diversidade das fontes de matéria-prima. Em grandes volumes, quase todo biodiesel produzido no mundo é feito a partir de óleos vegetais (óleo de colza, óleo de soja e óleo de palma) e óleo de cozinha usado. Na Tabela 4, são apresentadas as principais matérias-primas usadas no mundo. (OECD/FAO, 2020)

Tabela 4 - Principais matérias-primas usadas na produção de biodiesel no mundo. Fonte: Adaptado de OECD/FAO, 2020.

Região	Matéria-Prima	Região	Matéria-Prima
África	Óleo de Mamona	EUA	Óleo de Soja
Brasil	Óleo de Soja	Filipinas	Óleo de Coco
Canadá	Óleo de Canola	Grécia	Óleo de Algodão
China	Óleo de cozinha usado	Índia	Óleo de Mamona
Espanha	Linhaça	Malásia e Indonésia	Óleo de Palma

### 2.3.2 Estados Unidos

Apesar de existir uma conscientização ambiental pública, chegando na criação da Agência de Proteção ao Meio Ambiente (EPA, em inglês) em 1970, é nos anos 2000s que se iniciam os investimentos pela busca por fontes de energias renováveis. Em 2005, o Congresso americano criou o Programa de Padronização de Combustível Renovável (RFS, em inglês). Programa que foi expandido em 2007 com o Ato de Segurança e Independência Energética (EISA, em inglês), visando reduzir expressivamente as emissões de gases de efeito estufa. (EPA, 2021; OECD/FAO, 2017)

Em 2018, os EUA foram o maior produtor de biocombustíveis, sendo o maior produtor de etanol e o segundo maior produtor de biodiesel, produzindo respectivamente 60,1 bilhões de litros e 7,8 bilhões de litros. Em 2018, houve um investimento público de quase 200 milhões de euros e é dito que, devido ao RFS, o biodiesel e o diesel verde serão as principais fontes de energias usadas para chegar ao objetivo do programa até 2022. Em resultado, em 2018, a produção de biodiesel e diesel verde cresceu em 30% (EurObserver, 2019; IEA, 2019). As principais matérias-primas usadas na produção de biodiesel são o óleo de soja e o óleo de canola. O óleo de cozinha usado vem ganhando bastante importância nos últimos anos. (EIA, 2018)

Com a obrigatoriedade do uso de energia renovável trazida pelo RFS, a demanda por biocombustíveis também aumentou. Desde 2018, as importações de biodiesel vêm aumentando, chegando a um acréscimo de 12% em 2020, vindos principalmente de Singapura e Canadá. Já as exportações também vêm crescendo, chegando a um acréscimo de 29% em 2020, sendo o principal parceiro comercial o Canadá. (EIA, 2021)

### **2.3.3 União Europeia**

Na tentativa de liderar a busca por energia renovável, a UE começou a se preocupar com a sustentabilidade rapidamente. Devido a isso, o Parlamento Europeu e o Conselho da UE tomaram medidas importantes conhecidas como diretivas para energia renovável (Renewable Energy Directive). Desde 2001, com a diretiva 2001/77/EC, a UE tem como objetivo aumentar o percentual das fontes de energia renovável em sua matriz energética, diminuir o consumo de energia e aumentar a eficiência energética, objetivando cumprir o Protocolo de Kyoto.

Em 2003, com a diretiva 2003/30/EC, foi promovido o uso de biocombustíveis e outros combustíveis renováveis no setor de transporte por ser um grande consumidor de combustíveis fósseis, estabelecendo 2% para 2005 e 5,75% para 2010. Já, em 2009, a diretiva 2009/28/EC (RED) foi mais ambiciosa e fixou, para 2020, que 10% da energia consumida pelo setor de transporte teria que ser de fonte renovável, principalmente de biocombustíveis. Além de obrigar os Estados membros a elaborar um Plano de Ação Renovável Nacional (CANSINO, 2012). Em 2018, com o êxito do programa, o objetivo passou a ser 14% e uma nova diretiva 2018/2001 (RED II) foi criada e espera a ser implementada até 2030. (OECD/FAO, 2020)

Além da UE ter sido o terceiro maior produtor de biocombustíveis em 2018, foi responsável por 41% das exportações. Exportações essas que se deram inclusive entre os países participante da UE para o próprio consumo. Houve um crescimento de 10% no consumo de biocombustíveis no geral e, especificadamente, de 12,2% de no setor de transporte em 2018, dado principalmente pelo consumo de biodiesel. As contribuições de consumo de biodiesel, bioetanol e biogás é 81%, 17,9% e 1,1%, respectivamente. Isso fez com que o biodiesel fosse a 3ª maior energia renovável responsável por gerar empregos. (EurObserver, 2019)

Em 2018, Reino Unido, França e Alemanha foram responsáveis por mais de 50% da produção de bioetanol. A França foi o maior consumidor de biocombustíveis da Europa. Sendo França, Alemanha, Espanha, Suécia e Itália os maiores consumidores de biodiesel, contando com 63% do consumo total. Mesmo assim, os países com mais empregados no setor de

biocombustíveis foram Polônia e Romênia, devido a suas grandes áreas agricultoras. O setor de biocombustível foi o segundo setor que mais recebeu investimentos para P&D dentro do setor de energias renováveis no valor de 160 milhões de euros em 2018. (EurObservER, 2019)

Como a UE tem a participação de muitos países diferentes, as matérias-primas usadas na produção de biodiesel acaba sendo um pouco mais diversa como apresentado na Figura 22. Em 2018, o óleo de colza continua sendo a matéria-prima dominante com 39% do total. Apesar disso, vêm reduzindo desde seu pico em 2008 com 72%, devido ao aumento no uso do óleo de palma e do óleo de cozinha usado. (FAS/USDA, 2019)

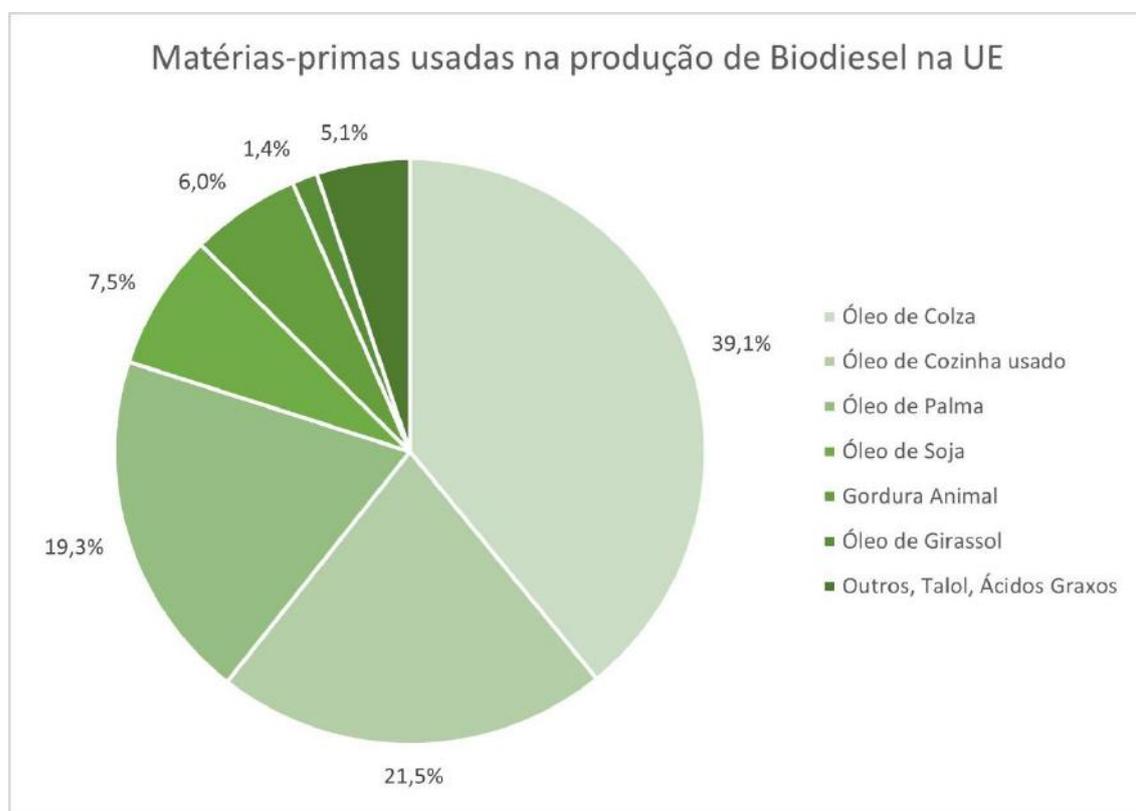


Figura 22 - Panorama das matérias-primas da produção de biodiesel de 2018 na UE. Fonte: adaptado de Gain Report: EU Biofuels Annual 2019.

### 2.3.4 Brasil

Devido à busca de uma produção de energia estável e sustentável, o Brasil tem grande potencial para se favorecer e se fortalecer economicamente. O Brasil é conhecido pela sua diversidade de recursos para produção de energia e pela extensa disponibilidade de terra. Suas condições climáticas e corpos hídricos, possibilitam uma matriz energética diversificada e renovável, vide Figura 23. (EPE/MME, 2019)

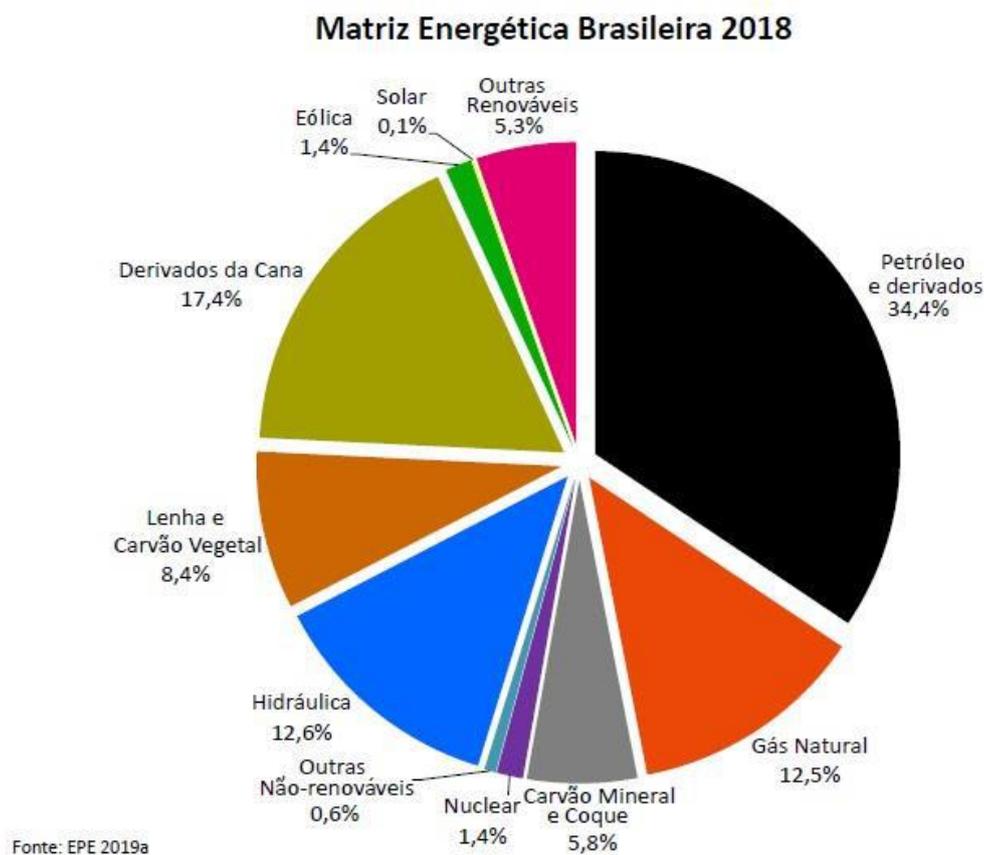


Figura 23 – Matriz Energética do Brasil por fonte do ano de 2018. Fonte: EPE/MME, 2019.

Em busca de uma menor dependência do petróleo, o Brasil se tornou pioneiro na produção e no uso de biocombustíveis, justificando o seu lugar de segundo maior produtor de biocombustíveis do mundo, como apresentado na Figura 24. Nos últimos anos, a taxa de aumento da produção de biocombustíveis no Brasil foi de mais de 4%aa.



Figura 24 – Maiores produtores de biocombustíveis em 2018. Fonte: APROBIO

Fomentado pela criação do Programa Nacional do Álcool (Proálcool) na década de 1970 e pela implementação dos carros com motores flex fuel no mercado interno nos anos 2000, o etanol foi uma aposta certa e tem sido mantido no mercado de forma estratégica como fonte renovável capaz de proporcionar o desenvolvimento sustentável ao país. Tanto que, do período de 2008-2018, foi estimado que a produção do etanol diminuiu a importação de gasolina A em 218 bilhões de litros. (EPE/MME, 2019)

Apesar da produção de etanol ser responsável por grande parte dessas estatísticas, a produção de biodiesel segue o mesmo caminho, aumentando a sua produção todos os anos e se tornando um dos biocombustíveis mais usados no Brasil. Com o êxito do Proálcool, o Governo Federal criou o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) para a implementação de forma sustentável da produção e uso do Biodiesel, buscando a inclusão social e o desenvolvimento regional. (MDA, 2019)

Os maiores importadores do biodiesel brasileiro são a Espanha, a Holanda e a Bélgica, como indicado na Figura 26, porém esse volume é distribuído principalmente pelos anos de 2013, 2014 e 2015, vide Figura 25. Em 2018 e 2019, o responsável pela quase totalidade das exportações foram os EUA. As importações de biodiesel feitas pelo Brasil foram irrisórias, sendo a Alemanha, a Bélgica e a França os exportadores. (COMEXSTAT, 2021)

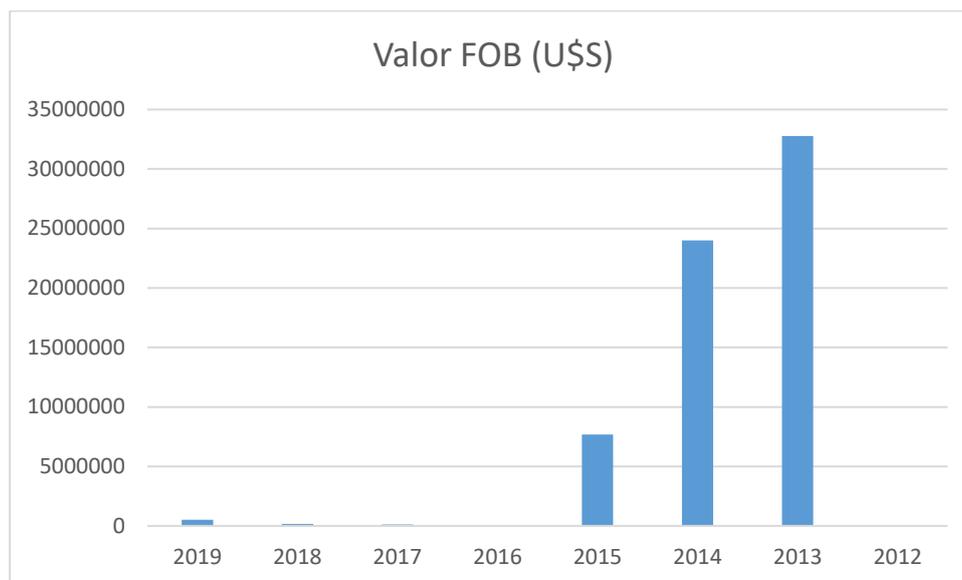


Figura 25 - Gráfico de Exportação do biodiesel em valor FOB. Fonte: COMEXSTAT

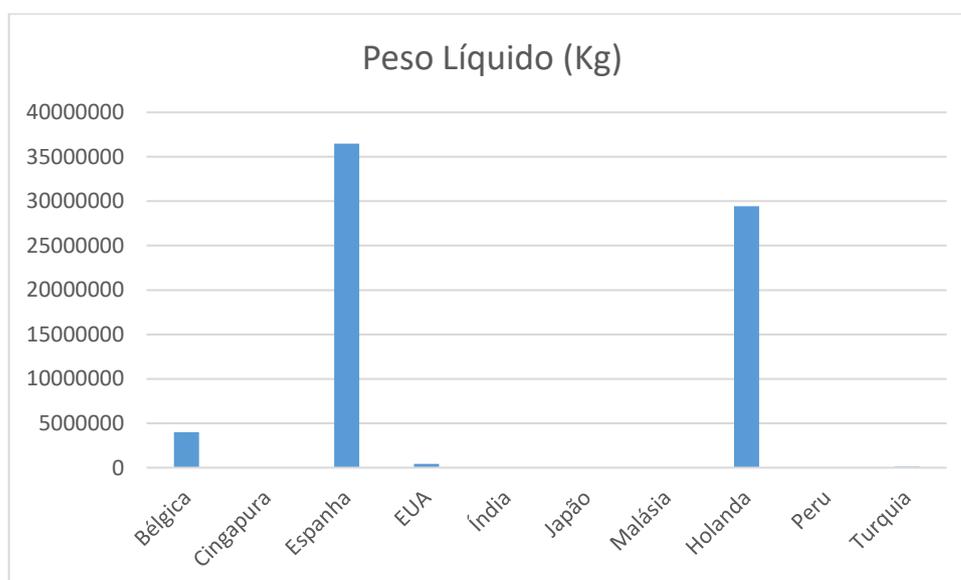


Figura 26 – Peso total de biodiesel comprado por país. Fonte: COMEXSTAT.

A adição do biodiesel à composição do diesel combustível estimulou o aumento da sua produção e do seu consumo pelo mercado interno. A comercialização do biodiesel normalmente é feita a partir dos leilões realizados pela ANP. Observa-se que a procura do biodiesel teve aumento de aproximadamente 27% no volume arrematado de 2017 para 2018, como se evidencia na Figura 27. Uma das razões é o aumento da quantidade obrigatória de biodiesel na mistura. Outra razão provavelmente é aproximação do valor do biodiesel para o valor do diesel no mesmo período, facilitando a substituição do combustível pela sua versão mais sustentável, como o gráfico da Figura 28 apresenta. Em decorrência da maior procura, durante a última década, a capacidade instalada para produção do biodiesel aumentou vertiginosamente, o que é evidenciado no gráfico apresentado na Figura 29. O CNPE estima que, com o aumento aprovado no período de 2018-2023, a produção passe de 5,4 para mais de 10 bilhões de litros anuais. Divulgado na Análise de Conjuntura, a EPE estima que o uso do biodiesel evitou a importação de 27 bilhões de litros de diesel A de 2008 a 2018. (EPE, 2019)

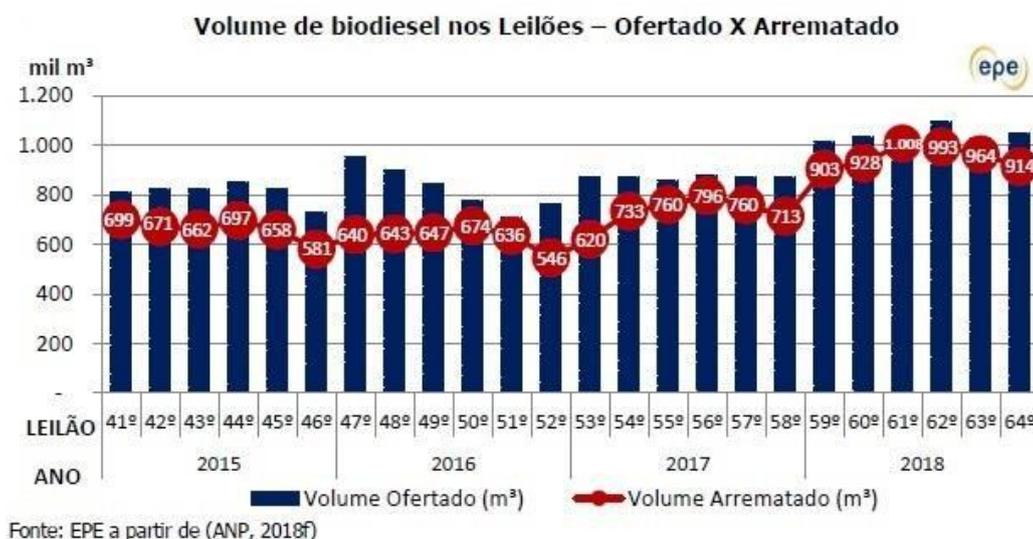


Figura 27 - Gráfico do Volume de biodiesel nos leilões. Fonte: (MME/EPE, 2019)

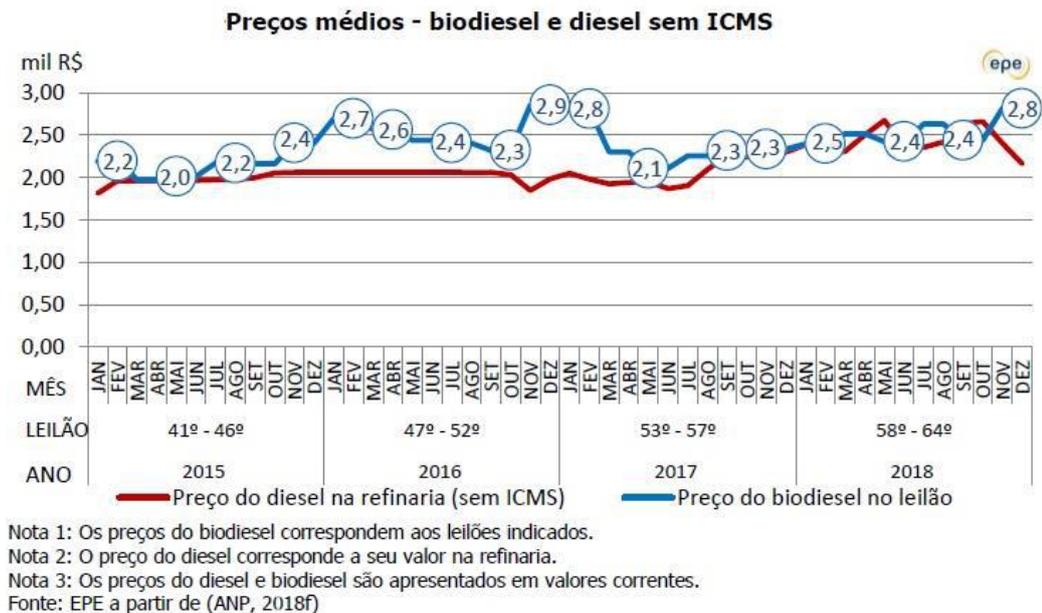


Figura 28 – Valor do biodiesel no mercado interno. Fonte: (MME/EPE, 2019)

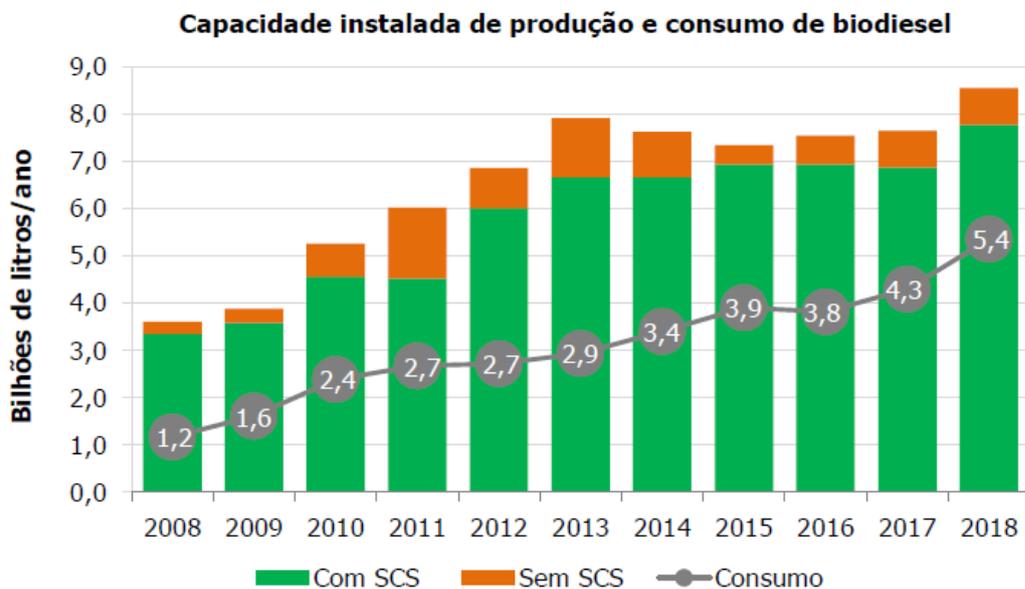


Figura 29 – Gráfico da capacidade de produção nacional e consumo nacional de biodiesel. Fonte: (MME/EPE, 2019)

Com base nos dados da ANP, o Brasil atualmente possui um balanço positivo entre a capacidade instalada de produção e o consumo obrigatório de biodiesel. No Plano Decenal de Expansão de Energia de 2017-2027, a EPE prevê um aumento médio de 2,3% aa no consumo final de energia, acompanhado pelo biodiesel que possuirá o maior crescimento dentre os

biocombustíveis com 12,2% aa. O maior responsável por esse aumento será o setor de transporte, devido à evolução percentual do biodiesel ao diesel combustível. (MME/EPE, 2018)

Em 2027, a EPE prevê que o Brasil possua um déficit na capacidade de processamento do biodiesel de 1331 milhões de litros que, aparentemente, não atrapalhará o andamento do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB). Isso seria indício de mais oportunidades para investimentos na área. Junto a isso, é promulgada a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), pela Lei nº 13.576, em 26 de dezembro de 2017, com o propósito de valorizar o potencial de fontes renováveis no país e objetivo de fomentar a expansão da produção e do uso de todos os biocombustíveis na matriz energética brasileira e colaborar com previsibilidade para a participação competitiva dos diferentes biocombustíveis no mercado nacional de combustíveis. (EPE, 2019)

## **2.4 Rotas Tecnológicas para a obtenção de biodiesel**

O biodiesel surge como alternativa ao diesel proveniente do petróleo e tem como matérias-primas principais os óleos vegetais e a gordura animal. Sua produção adota duas rotas principais: a transesterificação e a pirólise. Buscando resolver o problema de excesso de glicerina produzido durante a transesterificação, desenvolveu-se rotas por hidrotratamento e por microalgas. O trabalho dará foco para a transesterificação.

### **2.4.1. Transesterificação**

No processo de transesterificação, ocorre reação entre o Triacilglicerol (TAG), proveniente de óleo vegetal e materiais afins, e o álcool à disposição, resultando na formação de éster alquílicos (biodiesel) e glicerina, como apresentado na Figura 30. (Knothe, 2006)

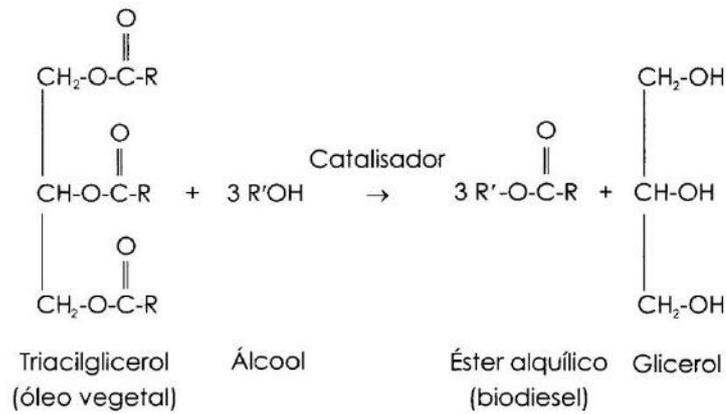


Figura 30 – Reação de transesterificação. Fonte: Knothe, 2006.

## 2.4.2. Produção Industrial

Com base na reação de transesterificação, modelos de produção foram desenvolvidos, levando em conta desde o refino das matérias-primas até a adequação final do biodiesel. A Figura 31 mostra o esquema da produção a partir de matérias-primas com baixo teor de Ácidos Graxos Livres (AGL), muito usadas nos EUA. (Knothe, 2006)

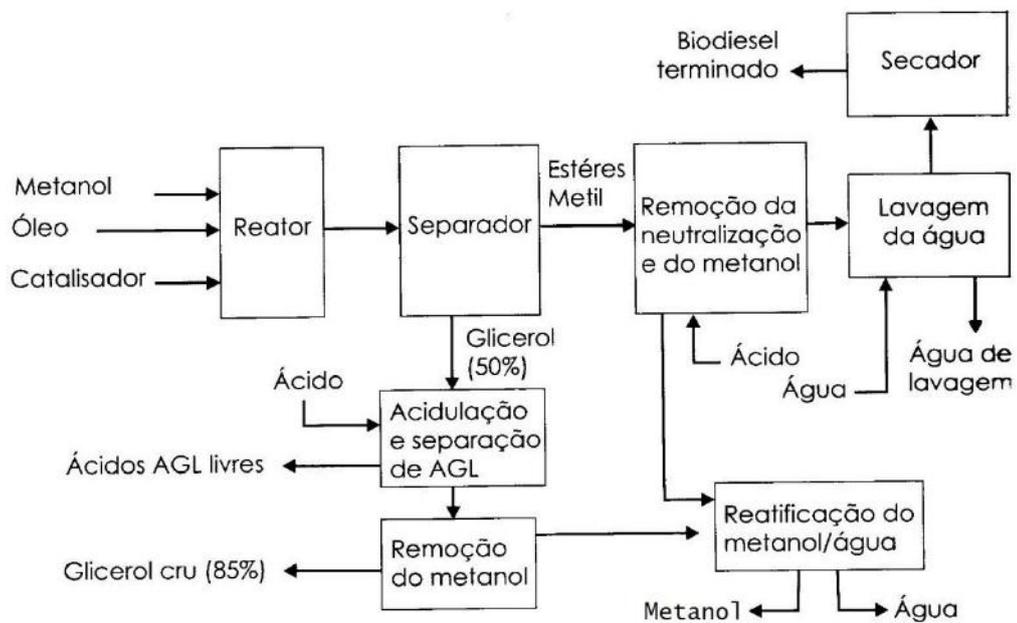


Figura 31 – Processo para produção de biodiesel. Fonte: Knothe, 2006.

A fase inicial do processo é a reação de transesterificação em meio alcalino. Nessa fase, as matérias-primas são adicionadas a reatores e agitadas por 1 hora a 60°C. Reatores estes que podem ser reatores batelada, reatores contínuos de leito agitado ou reatores de fluxo pistonado, dependendo do quão pequeno ou grande for o porte da planta industrial. Muitas vezes, dois reatores em série são utilizados ao invés de um. A reação feita em duas etapas aumenta a conversão de TAG e, por conseguinte, diminui a quantidade de álcool empregado. A mistura é levada a um separador. O Glicerol e os Ésteres são separados usando decantadores ou centrífugas. (Knothe, 2006)

Os ésteres são neutralizados, formando AGL e sais, e separados do metanol presente através de um estripador. Em seguida, é feita uma lavagem aquosa que retira os resíduos do produto, mantendo os AGL presentes no biodiesel. Finalmente, o biodiesel formado passa por um secador para retirada de água residual resultante do processo. (Knothe, 2006)

A fase contendo glicerol é neutralizada, possibilitando a separação dos AGL presentes. Depois de separada, a fase passa por um processo de evaporação que retira o Metanol. Com isso, o Glicerol no final do processo apresenta cerca de 85% de pureza e pode ser comercializado ou refinado. Como última etapa, o Metanol retirado é destilado e retornado ao processo. (Knothe, 2006)

Caso a matéria-prima seja rica em AGL, ela passa por um pré-tratamento, exemplificado na Figura 32. Dependendo da quantidade de ácidos graxos, podem ser usados catalisadores ácidos ou básicos. Se a matéria-prima contiver até 5% de AGL, é possível que se use catalisadores básicos como Hidróxido de Potássio (KOH). Caso seja mais, são usados catalisadores ácidos como Ácido Sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), pois a formação excessiva de sabão inibe o processo. (Knothe, 2006)

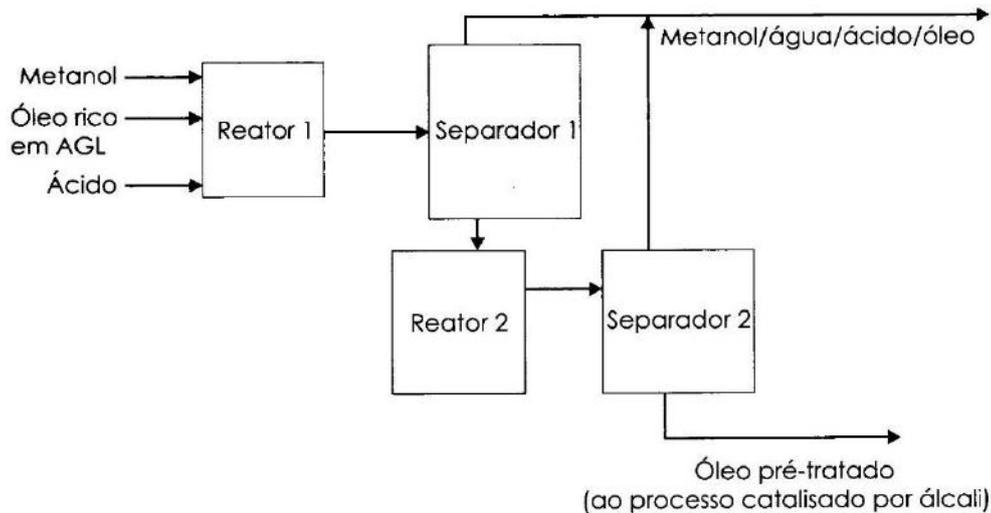


Figura 32 – Pré-Tratamento para matérias-primas ricas em AGL. Fonte: Knothe, 2006.

O pré-tratamento feito é responsável por diminuir o teor de AGL através da esterificação dos ácidos graxos, como mostrado na Figura 33, adequando a matéria-prima ao processo já existente. Após a reação, são separados os ésteres da mistura. (Knothe, 2006)



Figura 33 – Esterificação dos AGL. Fonte: Knothe, 2006.

Ao final do processo, são gerados três resíduos, o glicerol bruto, a água de lavagem e os AGL. O glicerol bruto contém o glicerol formado, grande parte do catalisador empregado, grande parte do sabão formado e resíduo de metanol excedente. A água de lavagem contém quantidades residuais de catalisador, sabões e sais formados durante o processo, metanol residual e glicerina livre residual. Os AGL que são separados do glicerol podem ser reaproveitados no processo após uma etapa de esterificação como é feito com matérias-primas com alto teor de AGL. (Knothe, 2006)

### 2.4.3. Glicerol

Dos resíduos gerados que foram apontados anteriormente, o glicerol é um dos mais relevantes. Para cada 9 kg de biodiesel produzidos, 1 kg de glicerol é formado. Devido ao seu alto volume de produção e à sua saturação no mercado, o glicerol se tornou um problema relevante de grande impacto ambiental. (Knothe, 2006)

A glicerina (>95%), glicerol bruto após o processo de purificação, já possui vários usos como fabricação de remédios, cosméticos, produtos de higiene bucal, resinas sintéticas e borrachas de ésteres. É usada no processamento de espumas de uretano e tabaco, usada como plastificante em embalagens e papéis. É substituto em formulações de sabonetes e detergentes líquidos. Além disso tudo, também é usada como um dos componentes do cimento, de calefação, conservantes, componentes de proteção, componentes de solda, asfalto, cerâmicas, produtos fotográficos e adesivos. (Mota et al, 2009; Knothe et al, 2006)

Apesar de todos esses destinos, a quantidade de glicerol gerada supera em muito a demanda. Por isso, o glicerol se tornou uma matéria-prima relevante para pesquisadores, buscando expandir o seu uso a partir dos seus derivados. Muitas rotas químicas foram pesquisadas como esterificação, desidratação, dimerização, hidrogenação, oxidação e desoxigenação. Ademais, o glicerol também pode ser fermentado a partir de alguns microorganismos específicos em condições variadas. A Figura 34 – Produtos feitos a partir do glicerol mostra rotas químicas e bioquímicas, usando o glicerol como matéria-prima, que resultam em produtos importantes para a biorrefinaria. (Rodrigues, 2011)



Figura 34 – Produtos feitos a partir do glicerol. Fonte: Rodrigues, 2011.

#### 2.4.3.1. Atuais usos do glicerol bruto

Apesar de todas as pesquisas, o método de purificação do glicerol continua caro o que inviabiliza economicamente o seu uso em plantas de menor escala. Assim, o glicerol bruto acaba sendo vendido para refinarias de maior escala para sua purificação. Porém, devido ao aumento na produção do biodiesel, o glicerol bruto sofreu uma grande desvalorização.

Uma das alternativas para esse glicerol produzido em excesso é o seu uso como combustível de caldeiras. Apesar de sua queima gerar um valor significativo, é necessária a retirada das impurezas presentes e da umidade para evitar a formação de cinzas e a diminuição do poder calorífico, respectivamente.

Uma alternativa que já era explorada é o seu uso como suplemento alimentar para animais. O glicerol bruto mostrou-se uma ótima fonte de energia para animais, promovendo o aumento de peso diário sem afetar diretamente a qualidade dos produtos. Porém, atentando-se para a toxicidade do metanol e para o excesso de glicerol bruto que pode causar alterações fisiológicas.

A última das alternativas é o reaproveitamento para a produção de sabonetes artesanais. Tem um impacto social pequeno, porém diminui o volume em excesso descartado inadequadamente.

Em 2018, foram produzidas cerca de 500 mil toneladas de glicerina bruta no Brasil, como a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) discute em sua Análise de Conjuntura 2018. Já que o glicerol possui melhor valor de mercado que a glicerina bruta, várias usinas estão se adaptando para fazer o seu refinamento a fim de conseguir maiores receitas com o subproduto de sua produção. Conforme a Figura 35, as exportações do Brasil vêm crescendo todos os anos, chegando a 374 mil toneladas com uma receita de 158 milhões de dólares em 2018. De acordo com o Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços, a China é a maior importadora. (EPE, 2019; MDIC, 2019)

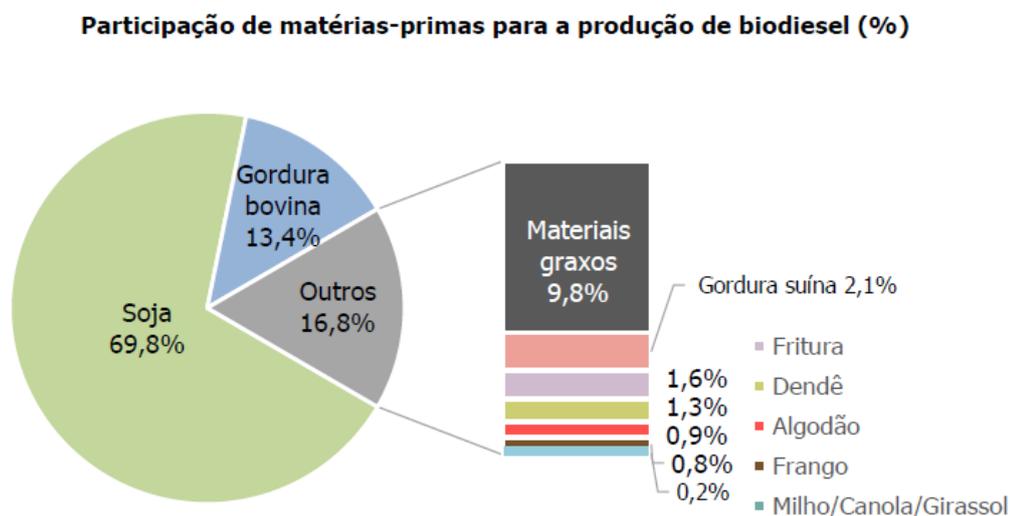


Figura 35 – Número de exportações e receita da glicerina bruta e purificada no Brasil. Fonte: EPE, 2019.

#### 2.4.4. Matérias-primas usadas em no âmbito nacional

O Brasil, diferentemente de boa parte do mundo, possui vastas extensões de terra usadas na produção agropecuária, clima favorável, abundantes recursos naturais e uma grande biodiversidade, tornando possível a produção de biodiesel por diversas fontes alternativas.

A matéria-prima é responsável por 80% do custo de produção do biodiesel (IEA, 2004). Portanto, o seu preço tem importância fundamental sobre a produção. A Figura 36 mostra o perfil de participação de cada matéria-prima para a produção de biodiesel no Brasil em 2018. Destacam-se, nessa distribuição, o óleo de soja e a gordura bovina. (EPE, 2019)



Fonte: EPE a partir de (ANP, 2018d)

**Figura 36 – Contribuição de cada matéria-prima para a produção nacional de biodiesel. Fonte: EPE, 2019.**

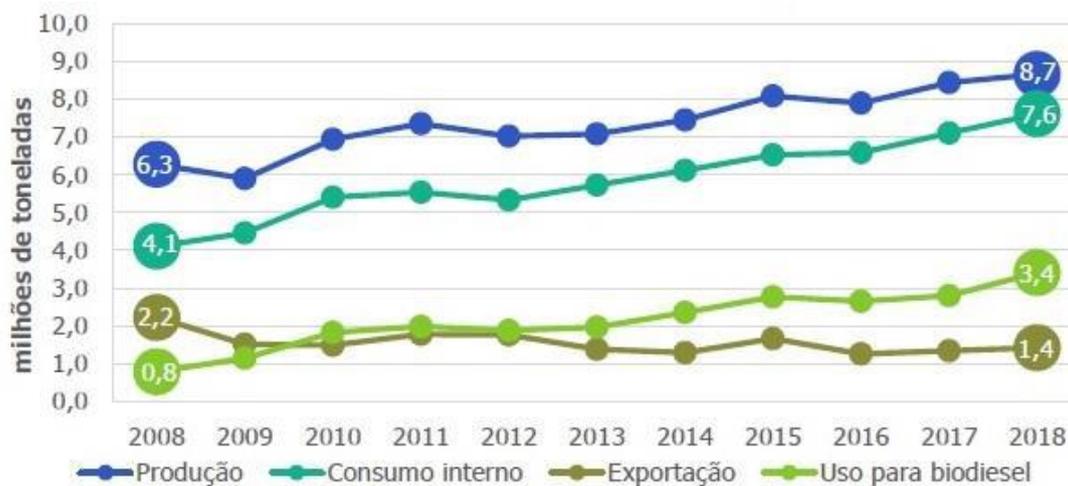
A economia nacional é bastante dependente da agropecuária. As atividades agropecuárias têm grande impacto na oferta e na demanda dos biocombustíveis e influenciam completamente a escolha e disponibilidade das matérias-primas para a produção do biodiesel.

#### 2.4.5.1. Soja

O óleo de soja, extraído da semente da soja, é a principal matéria-prima para a produção de biodiesel no Brasil. O Brasil é o segundo maior produtor de soja no mundo. Com a exportação do grão e seus derivados, o país sustenta boa parte das suas atividades econômicas. Em 2018, o Brasil conseguiu aumentar a produção de soja em 6,6%, chegando a 121,3 milhões de toneladas. (MME/EPE, 2018; MME/EPE, 2019)

Segundo a Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais, a capacidade brasileira de processamento do grão da soja é de 63,6 milhões de toneladas por ano. Porém, a legislação vigente e o mercado tornam a comercialização do grão mais atrativo. Em consequência disso, a produção de óleo em 2018 foi de 8,7 milhões de toneladas, ainda assim

representando um aumento de 2,6% em relação a 2017. Conforme o gráfico da Figura 37, a produção do óleo de soja vem crescendo de forma gradual, incentivado pelo consumo interno intensificado. O uso imposto do biodiesel no diesel combustível é o maior responsável por essa alta na demanda. Como a produção não acompanhou as exigências, resultou-se em uma queda das exportações do óleo. (ABIOVE, 2018a)



Nota 1: O consumo interno compreende o óleo para biodiesel, alimentício e outros usos.  
 Fonte: EPE a partir de (ABIOVE, 2018b)

Figura 37 – Mercado óleo de soja de 2008 a 2018. Fonte: EPE, 2019.

A importância crescente dos biocombustíveis e a necessidade de manutenção do óleo para o setor alimentício asseguram o interesse e o crescimento da produção nacional de soja nos próximos anos. A EPE julga que a produção do óleo de soja crescerá quase de forma linear. Com o grande potencial ainda não aproveitado, o Brasil poderá se tornar provavelmente o maior produtor em 2020, garantindo a aplicação dos aumentos percentuais mandatórios de biodiesel. (USDA, 2018)

#### 2.4.5.2. Gordura Bovina

O sebo bovino é a segunda matéria-prima mais utilizada para a obtenção de biodiesel no Brasil. Sua participação na produção nacional de biodiesel tem diminuído, devido ao surgimento e crescimento de outros insumos, porém durante os próximos anos deverá manter sua importância. A sua disponibilidade, junto das outras gorduras empregadas, é vinculada à expansão da pecuária, outra atividade extremamente importante para o país. (EPE, 2019)

A Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne (ABIEC) publicou que o Brasil foi o maior criador bovino do mundo, possuindo 214,69 milhões de cabeças de gado em 2018, como mostram os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e os da empresa Athenagro Consultoria. Esse número tem decrescido desde 2016, pois a melhora do preço da carne no mercado internacional estimulou e impulsionou as exportações de carne, resultando na acentuação no número de abates. Em 2018, o Brasil foi o principal exportador de carne bovina no mundo, sendo responsável por 16,06% das exportações, equivalendo a 2,205 milhões de toneladas equivalente peso de carcaça (tEPC ou tCWE), onde o peso médio da carcaça é 244,77kg. Ao considerar que somente 20,12% da produção de carne foi exportada, a produção total foi de 10,96 milhões de tEPC. (ABIEC, 2019)

De acordo com as projeções da ABIEC, a produção de carne e o tamanho do rebanho só tendem a subir. Em 2028, haverá mais de 220 milhões de cabeça de gado bovino no país e a produção de carne passará de 12,5 milhões de tEPC. Logo, a gordura bovina ainda será uma matéria-prima abundante para a produção de biodiesel. (ABIEC, 2019)

#### **2.4.5.3. Metanol ou Etanol?**

O metanol é um dos principais insumos e é o álcool utilizado na produção de biodiesel. A rota metílica tem sido crucial no mercado brasileiro, enquanto a rota etílica tem sido questionada pela sua eficiência. A principal fonte de matéria-prima do metanol é o gás natural, a partir dos processos de reforma a vapor e gaseificação do carvão.

Apesar de sua alta toxicidade e dos riscos de uso, o metanol apresenta melhor performance na produção e um custo inferior, tornando-se mais atrativo que o etanol. Isso fica evidente na Figura 38 – Gráfico de importação que mostra um aumento nas importações de metanol para a produção de biodiesel, nos últimos anos. Em 2018, o Brasil importou 484 mil toneladas, 31% a mais que no ano anterior. Esse aumento também é devido ao aumento no percentual mandatório de biodiesel utilizado no diesel combustível. (MME/EPE, 2019)

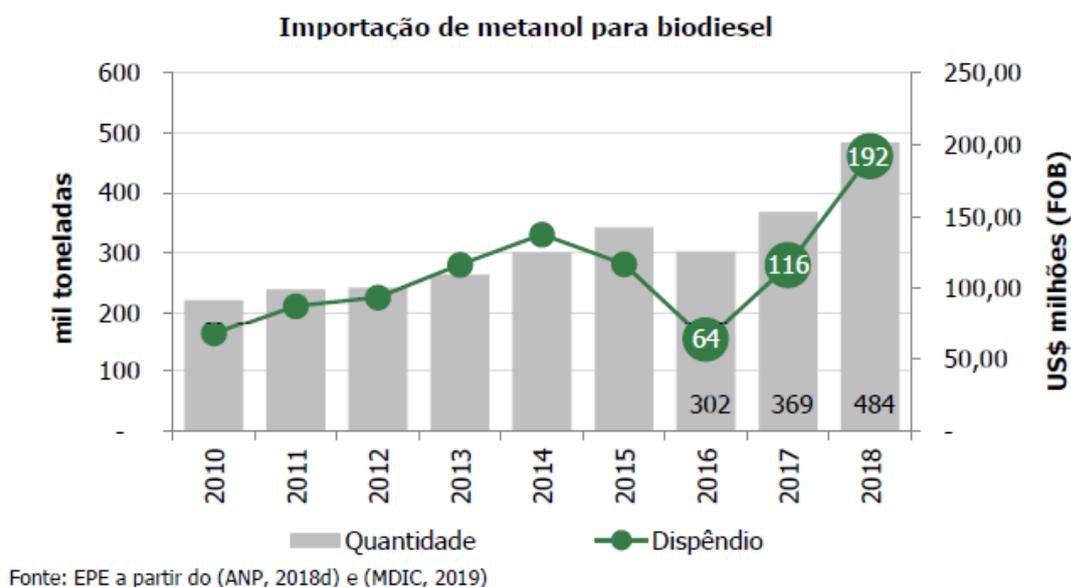


Figura 38 – Gráfico de importação de metanol usado na produção de biodiesel de 2010 a 2018. Fonte: EPE, 2019.

### 2.4.5. Matérias-primas promissoras no âmbito nacional

Um dos desafios atuais é o aproveitamento das potencialidades regionais para a produção de biodiesel. Dito isso para culturas tradicionais, como soja, amendoim, girassol, mamona e dendê, e para novas alternativas, como pinhão manso, nabo forrageiro, pequi, buriti, macaúba, entre outras. As oleaginosas promissoras são selecionadas a partir de suas propriedades potenciais e de características regionais que afetam o cultivo, uso para a produção de biodiesel e mercado. Para o sucesso da empreitada, são necessários pesquisas e investimentos a fim de aproveitar o potencial tecnológico das oleaginosas e de se adequarem as especificações dadas pela ANP, como mostra a Figura 39. (MME, 2007)

CARACTERÍSTICA	UNIDADE	LIMITE
		LII (1) (2)
Massa específica a 20° C	kg/m <sup>3</sup>	850 a 900
Viscosidade Cinemática a 40°C	mm <sup>2</sup> /s	3,0 a 6,0
Teor de água, máx.	mg/kg	200,0 (3)
Contaminação Total, máx. (13)	mg/kg	24
Ponto de fulgor	°C	100
Teor de éster, mín	% massa	96,5
Enxofre total, máx.	mg/kg	10
Número Cetano (6)	-	-
Glicerol total, máx. (10)	% massa	0,25

Fonte: Adaptado de ANP (2017)

Figura 39 - Tabela de especificações para comercialização do biodiesel. Fonte: Adaptado de Menezes, 2019.

Durante o Plano Nacional de Agroenergia (PNA), algumas oleaginosas se mostraram relevantes para a inclusão no programa PNPB. A Tabela 5 apresenta as principais culturas estudadas e suas propriedades. O pinhão-manso apresenta ampla adaptabilidade ambiental e é uma ótima opção para a região central do país. A macaúba se mostrou uma boa alternativa para o Cerrado em sistemas sustentáveis. Inajá e Tucumã são opções para a região Norte a partir da exploração extrativista. O babaçu é encontrado em abundância na região Nordeste. O tungue, por sua vez, é alternativa para a região Sul do país. Ainda assim, apesar dos dados, existem oleaginosas com expectativas de usos maiores no panorama nacional. (LAVIOLA, ALVES, 2011)

Tabela 5 - Propriedades das principais culturas com potencial para a produção de biodiesel. Fonte: (Laviola, Alves, 2011)

Cultura	% óleo	produtividade potencial de grãos ou frutos (Kg/ha)	produção de óleo (kg/ha)
Pinhão-manso	35	4500	1500
Macaúba	20	20000	4000
Tungue	20	12000	2400
Inajá	20	17500	3500
Tucumã	20	12000	2400
Babaçu	5	10000	500

#### 2.4.5.1. Palma (Dendê)

O óleo de palma é um dos mais promissores. O óleo de palma resulta em um biodiesel com melhores propriedades e com maior estabilidade à oxidação, além de sua produção de óleo ser bem superior ao da soja, de sua rentabilidade e do melhor uso do solo. Devido às suas características consideráveis, a EMBRAPA desenvolve pesquisas para a adaptação, principalmente no cerrado. Somando a isso, há incentivos governamentais como o Programa de Produção Sustentável da Palma de Óleo no Brasil (Propalma). (MME/EPE, 2020) É uma cultura com grande potencial de expansão, com estudos da possibilidade de uso de uma área de 750 mil hectares apta na Bahia. Outra expansão possível é o uso de 7,3 milhões de hectares de terras desmatadas na região da Amazônia legal. (MME/EPE, 2018)

O biodiesel a partir do óleo de dendê possui as especificações necessárias para sua comercialização. Estudos obtiveram índice de iodo 70, teor de água e sedimentos menores que 0,005 v/v, viscosidade cinemática a 40 °C (m<sup>2</sup>/s) igual 4,4, ponto de fulgor 152,0 e índice de acidez 0,79 mg KOH/g, além de sua alta estabilidade oxidativa. (EMBRAPA ALGODÃO, 2008)

#### 2.4.5.2. Mamona

A mamona é encontrada em várias regiões em todo território nacional e é muito tradicional no semiárido brasileiro. Possui inúmeras aplicações industriais e é extremamente relevante econômica e socialmente. (EMBRAPA ALGODÃO, 2008)

O óleo de mamona é composto principalmente por ácido ricinoléico. Devido a isso, o óleo possui a propriedade exclusiva de ser solúvel em álcool, alta viscosidade e estabilidade oxidativa. Apesar dessa alta densidade e alta viscosidade, a mistura de até 40% do biodiesel de mamona possui as especificações necessárias, apresentando viscosidade cinemática igual a 5,23

cSt, o que seria bem próxima do valor máximo, possibilitando sua mistura com o óleo diesel mineral. (EMBRAPA ALGODÃO, 2008)

### 2.4.5.3. Algodão

A cultura algodoeira possui extrema importância socioeconômica, especialmente para o Nordeste. É uma atividade executada por pequenos produtores que são maioria na região, gerando emprego e renda no campo. O algodão tem grande tolerância à seca, sua produção tem uma qualidade excepcional e possui mercado garantido. (Da Silva, 2009)

O óleo de algodão vem sendo viabilizado para o uso da produção de biodiesel, resultando na conversão do óleo em ésteres etílicos de 98,6%. Suas propriedades físico-químicas índice de acidez 0,55 mg KOH/g, densidade 0,876 a 20 °C (g/cm<sup>3</sup>), índice de saponificação 199, índice de iodo 99,9 g I<sub>2</sub>/100g, índice de cetano 44 mínimo e ponto de fulgor de 160 °C. Seu problema é a contaminação com gossipol. (EMBRAPA ALGODÃO, 2008)

## 3. Análise comparativa de estudos de ACV para o contexto regional do Brasil

### 3.1. Visão geral

Para aprofundar a discussão sobre a sustentabilidade de produção de biodiesel no Brasil a partir das diversas biomassas disponíveis, uma análise comparativa de estudos de avaliação de ciclo de vida realizados para o contexto brasileiro foi elaborada. Os artigos foram identificados na base Scencedirect, utilizando as palavras-chave “biodiesel”, “sustainability”, “Brazil” e “embrapa”.

Os artigos abordam o uso do biodiesel em situações diversas e da sua produção a partir de diferentes matérias-primas. Os estudos foram reunidos resumidamente na Tabela 6.

Figura 40

Tabela 6 - Artigos selecionados sobre a sustentabilidade ambiental e uso de biodiesel no Brasil. Fonte: de autoria própria.

Ordem	Título	Matéria-prima	Unidade	Fronteiras
-------	--------	---------------	---------	------------

			Funcional	
I	Assessment of greenhouse gases (GHG) emissions from the tallow biodiesel production chain including land use change (LUC)	Sebo Bovino	1 ha	"Berço ao Portão" com mudança do uso da terra
II	Biodiesel production from waste cooking oil for use as fuel in artisanal fishing boats: Integrating environmental, economic and social aspects	Óleo de Cozinha Usado	2028 kg de biodiesel	"Berço ao Portão"
III	Greenhouse gas emissions related to biodiesel from traditional soybean farming compared to integrated crop-livestock systems	Óleo de Soja	1 ha de plantação de soja para produzir biodiesel; 1 kg de biodiesel produzido	"Berço ao Portão" com mudança do uso da terra
IV	Life cycle assessment of sugarcane ethanol and palm oil biodiesel joint production	Óleo de Palma; Cana-de-Açúcar	7,55 m <sup>3</sup> de Etanol	"Berço ao Portão" com mudança do uso da terra
V	Life cycle environmental impacts of a prospective palm-based biorefinery in Pará State- Brazil	Óleo de Palma	1 t de cacho de palma; 100 km percorridos	"Berço ao Tanque" e "Berço à Roda" com mudança do uso da terra
VI	The life cycle assessment of biodiesel from palm oil ("dendê") in the Amazon	Óleo de Palma	9530000 kcal (39,9 GJ); 1000 kg de biodiesel.	"Berço ao Portão"
VII	Land use change (LUC) analysis and life cycle assessment (LCA) of Brazilian soybean biodiesel	Óleo de Soja	1 ha	"Berço ao Portão" com mudança do uso das terras

### 3.2. Produção de biodiesel a partir do sebo bovino

No artigo I, o estudo teve como objetivo a quantificação das emissões de gases de efeito estufa com mudança do uso da terra na produção de biodiesel a partir do sebo bovino. O estudo adotou uma visão "do berço ao portão", ou seja, ele inclui no seu inventário todos os passos da

criação de gado até a saída do biodiesel da unidade de transesterificação. O fluxograma do sistema de produto estudado pode ser apreciado na Figura 40. A Unidade Funcional é 1 hectare (ha). (Esteves et al, 2017)

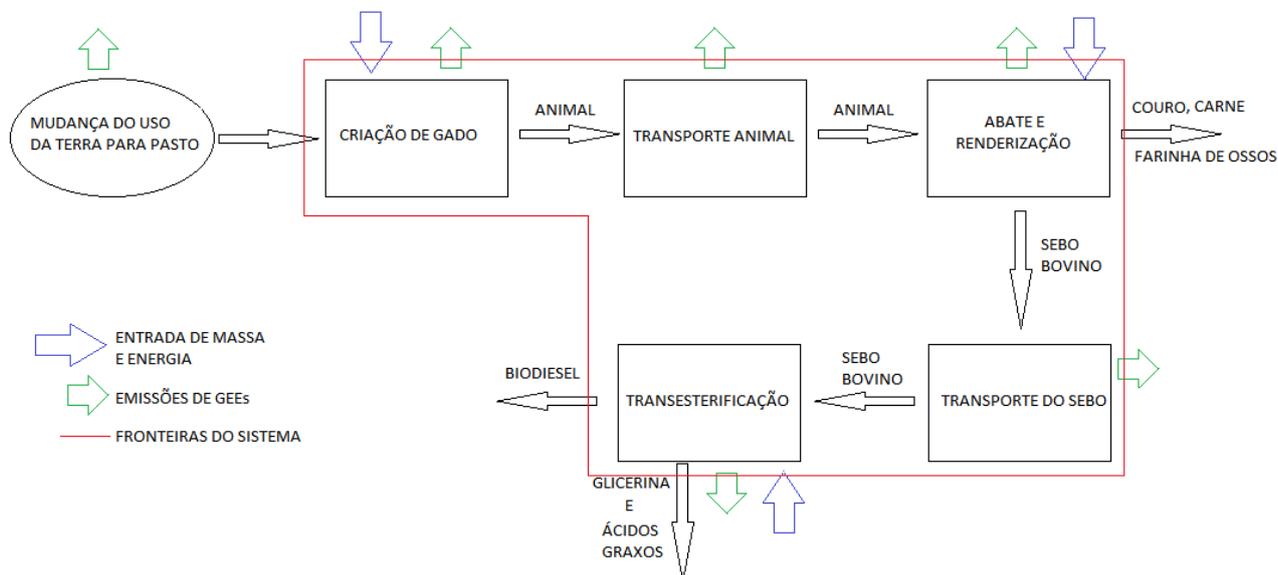


Figura 40 – Sistema do produto estudado no Artigo I e suas fronteiras. Fonte: Adaptado de (Esteves et al, 2017)

A análise considerou as mudanças de uso da terra para pasto durante 20 anos, de 1993 a 2013, junto da ACV do biodiesel a partir do sebo bovino de um estudo de caso da região centro-oeste do Brasil, a microrregião de Dourados em Mato Grosso do Sul.

A avaliação da mudança de uso da terra foi baseada em imagens de satélite LandSat, onde as imagens do último ano foram comparadas com as do ano inicial. As áreas foram basicamente classificadas como “áreas nativas” (floresta e savana) e “áreas agrícolas” (pasto e de cultivo, maior parte de soja). As emissões foram estimadas nos padrões do IPCC com dados regionais advindos da terceira Comunicação Nacional do Brasil às UNFCCC. Só foram consideradas as emissões devido à mudança de uso da terra para pastagem.

Já para a ACV do biodiesel a partir do sebo bovino, as emissões foram calculadas em 3 fases. A primeira é a pecuária, considera desde a gravidez da vaca até o gado em ponto de abate do boi. A segunda, o transporte dos animais para o abatedouro/renderização. A terceira, a industrial, considera desde o abate até o processo de transesterificação.

Na primeira fase, os cálculos consideraram a fermentação entérica e a gestão de resíduos. Além de contar com as emissões advindas de vacas reprodutoras durante a gravidez e a amamentação, de bois reprodutores, de animais jovens que já passaram do desmame e de animais adultos em ponto de abate até o abate. Como a pecuária costuma ser extensiva, as emissões devido a gestão e alimentação de gado são mínimas ou desprezíveis.

Esse sistema devido a sua configuração precisa adotar métodos de alocação de inventário que permita a distribuição dos impactos entre os produtos principais, os subprodutos e os resíduos. As abordagens usadas foram: (1) alocação por massa; (2) alocação por valor de mercado; (3) alocação por conteúdo energético; (4) sem alocação. A massa e o valor mercadológico são obtidos de empresas operando na área de estudo. O valor energético é calculado usando porcentagem de proteína e gordura de cada parte do animal e conteúdo energético da proteína e da gordura.

O trabalho chegou à conclusão de que, apesar da mudança da colheita para pasto ser ambientalmente sustentável, ela é econômica e socialmente impraticável. Devido a isso, uma parte grande das mudanças de uso foram de áreas naturais para pasto. Isso faz com que as mudanças de uso da terra sejam responsáveis por mais de 96% das emissões. Em comparação, a pecuária é responsável por somente 3%. As emissões calculadas da produção de biodiesel a partir do sebo ao ano foram 43,202 kgCO<sub>2eq</sub> ha<sup>-1</sup>, produzindo 17% a menos que a de biodiesel a partir da soja.

Por fim, o uso do sebo bovino como matéria-prima diminuiria os impactos ambientais da cadeia produtiva de carne e seria benéfico em escala regional. O sebo é um subproduto da cadeia de fornecimento da carne sem muita opção de uso, podendo ser visto como “resto” e possui baixo valor comercial.

### **3.3. Produção do Biodiesel a partir do óleo de cozinha**

No artigo II, o estudo teve como objetivo discutir os impactos ambientais, sociais e econômicos por meio da ACV, a partir da quantificação das emissões de gases de efeito estufa na produção de biodiesel a partir do óleo de cozinha usado. As fronteiras do sistema estudado

abrangem a coleta do óleo de cozinha usado até a saída da unidade de transesterificação, representando, assim um estudo de “berço ao portão”. O fluxo de referência do estudo foi estabelecido em 2028 kg de biodiesel. O sistema de produto estudado está indicado na Figura 41. (Moecke et al, 2016)

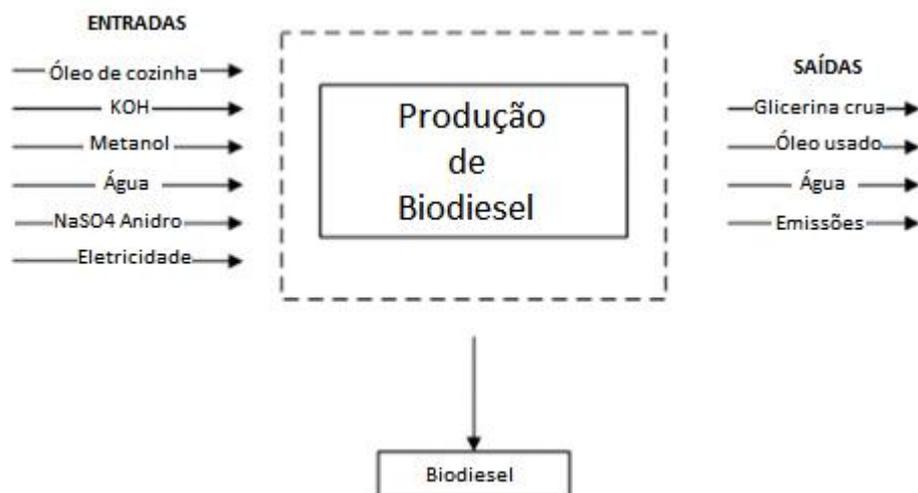


Figura 41 - Sistema do produto do artigo II e suas fronteiras. Fonte: (Moecke et al, 2016)

A produção de biodiesel é feita em uma planta dentro da área de proteção ambiental, no litoral do parque estadual da serra do tabuleiro, na Praia Pinheira de Santa Catarina. A planta é operada pela associação Pro-CREP que tem o objetivo de reciclar o óleo de cozinha usado advindo de restaurantes e domicílios da região.

A ACV foi baseada em dados de pesquisas conseguidos a partir da planta e focou na categoria de impacto aquecimento global pelo método GWP 100a. A pegada de carbono do processo de produção de biodiesel foi considerada nula pelo óleo ser um resíduo. O método de coleta dos dados necessários para a modelagem foi completando o Inventário de Ciclo de Vida pelos dados oferecidos pelo chefe da planta. O fator de emissão ( $tCO_2eq.kg^{-1}$ ) foi retirado do IPCC e do Protocolo de GEAs.

Foi calculada a pegada de carbono para as fases de coleta e de produção em separado. A fase de coleta refere-se a rota feita pelo veículo da associação aos pontos de coleta, abrangendo cerca de 30 pontos. Já a fase de produção se refere a todos os processos definidos pelas fronteiras do sistema da produção de biodiesel a partir do óleo de cozinha usado.

Para o trabalho, foram conduzidas diversas entrevistas para o entendimento sobre as mudanças sociais, econômicas, políticas, técnicas e ambientais provocadas e questionários mais específicos foram distribuídos a pescadores, donos de restaurantes, professores e alunos de primeiro e segundo grau.

Para a produção do biodiesel a partir do óleo de cozinha usado, as características físico-químicas do óleo de cozinha foram verificadas e partes fora dos padrões necessários foram separadas. Vale ressaltar que o biodiesel produzido a partir do óleo de cozinha usado não está completamente dentro dos parâmetros da ANP, porém estaria muito próximo das especificações europeias. Além disso, foram testados nos motores dos barcos e dos carros que realizam o transporte de coleta, sem mostrar problemas mecânicos, respectivamente, os combustíveis B50 e B70.

A pegada de carbono calculada para a fase de produção foi 0,36 tCO<sub>2</sub>eq por 2028 kg de biodiesel. Para a fase de coleta foram identificadas as maiores distinções. A pegada de carbono no processo sem a inclusão da produção de biodiesel era 4,17 tCO<sub>2</sub>eq por 2028kg de biodiesel. Porém, com uso de biodiesel pelos veículos utilizados e por eles também serem usados para fazer o transporte de materiais recicláveis, pode-se considerar uma redução em 25% desse valor, resultando 3,13 tCO<sub>2</sub>eq por 2028 kg de biodiesel. No total, têm-se 4,53 tCO<sub>2</sub>eq por 2028 kg de biodiesel e 3,49 tCO<sub>2</sub>eq por 2028 kg de biodiesel, onde respectivamente representam os gastos de combustíveis sem e com biodiesel. Repara-se também que 92,1% das emissões vêm da fase de coleta de matérias-primas. Calculando para melhor comparação, as emissões são, respectivamente, 0,0022 tCO<sub>2</sub>eq kg<sup>-1</sup> de biodiesel e 0,0017 tCO<sub>2</sub>eq kg<sup>-1</sup> de biodiesel.

De forma geral, o processo de produção do biodiesel contribuiu para o desenvolvimento local com benefícios sociais, ambientais e econômicos, ou seja, desenvolveu-se uma atividade sustentável

#### **3.4. Produção do Biodiesel em sistemas de integração lavoura - pecuária**

No artigo III, o estudo teve como objetivo de estimar as emissões de GEE do biodiesel a partir da soja de diferentes operações agrícolas até obtenção do biodiesel comercial da unidade

de transesterificação com o propósito de comparar os sistemas tradicional e de integração lavoura-pecuária a partir da ACV. (Esteves et al, 2018)

O estudo é comparativo e foi feito em 5 fazendas da região centro-oeste, que fazem o cultivo de soja durante o verão, no período de entressafra, seguido por semeio de milho e grama paliçada intercalados. Três delas produzem carne por meio de sistema de integração lavoura-pecuária e as outras duas mantêm o sistema tradicional. O estudo considera como produtos principais: óleo de soja e farinha de soja do processo de extração e biodiesel e glicerina do processo de transesterificação. O período é de 1 ano, começando em outubro de 2013 quando a soja foi colhida.

As fronteiras dos sistemas correspondem com um estudo “berço ao portão”, partindo na sua avaliação do cultivo da soja e terminando com a saída do biodiesel da unidade de transesterificação. As unidades funcionais são 1 ha de plantação e 1 kg de biodiesel produzido. Na Figura 42, é apresentado o sistema de produto e, da Figura 43 a Figura 46, são apresentados os sistemas de cultivos realizados pelas 5 fazendas.

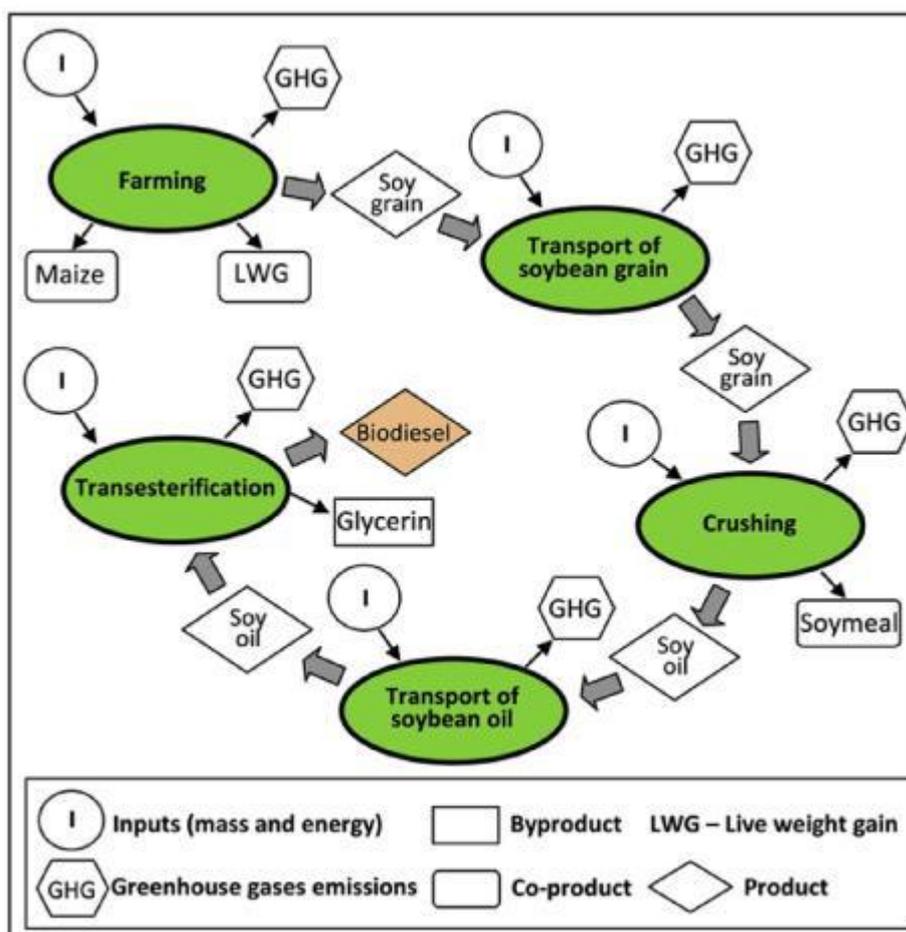


Figura 42 - Sistema do produto do artigo III. Fonte: (Esteves et al, 2018)

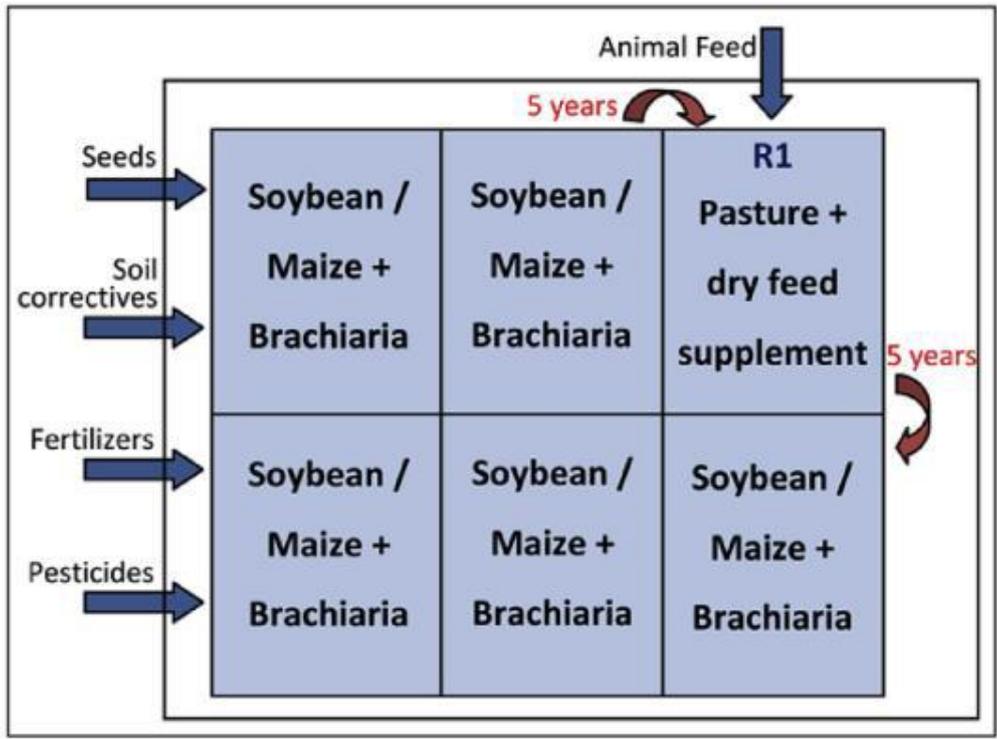


Figura 43 – Sistema de cultivo da Fazenda 1. Fonte: (Esteves et al, 2018)

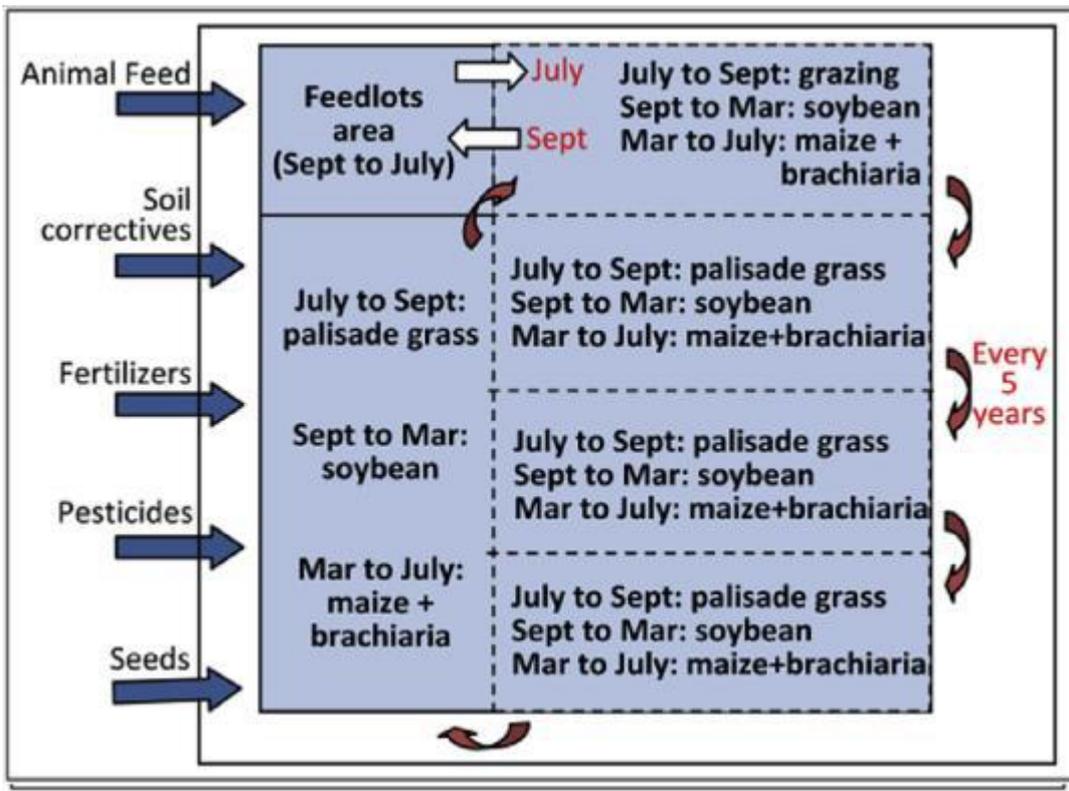


Figura 44 - Sistema de cultivo da Fazenda 2. Fonte: (Esteves et al, 2018)

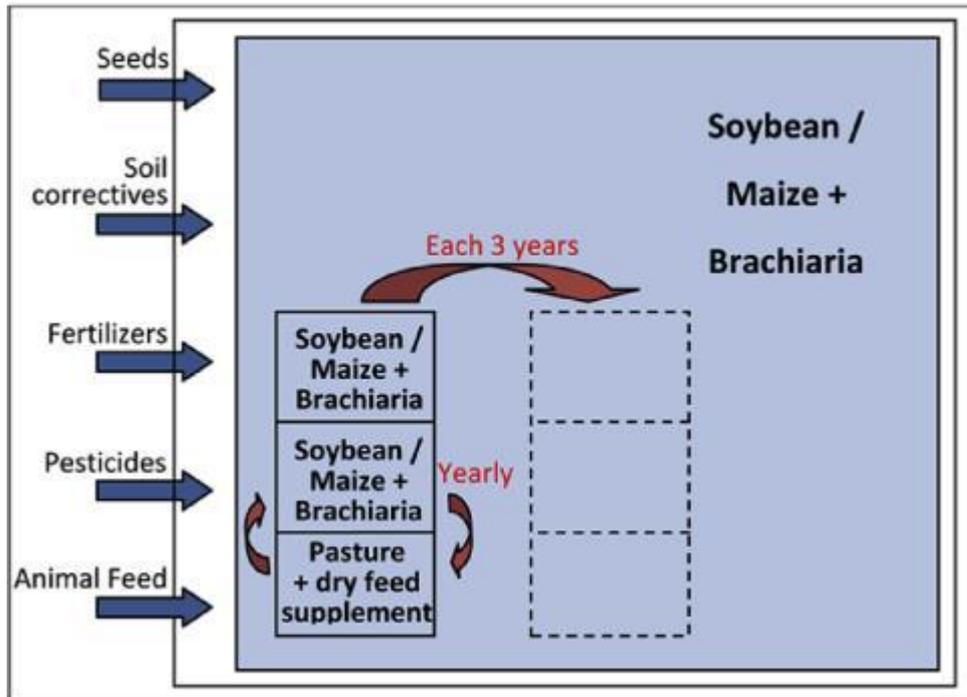


Figura 45 - Sistema de cultivo da Fazenda 3. Fonte: (Esteves et al, 2018)

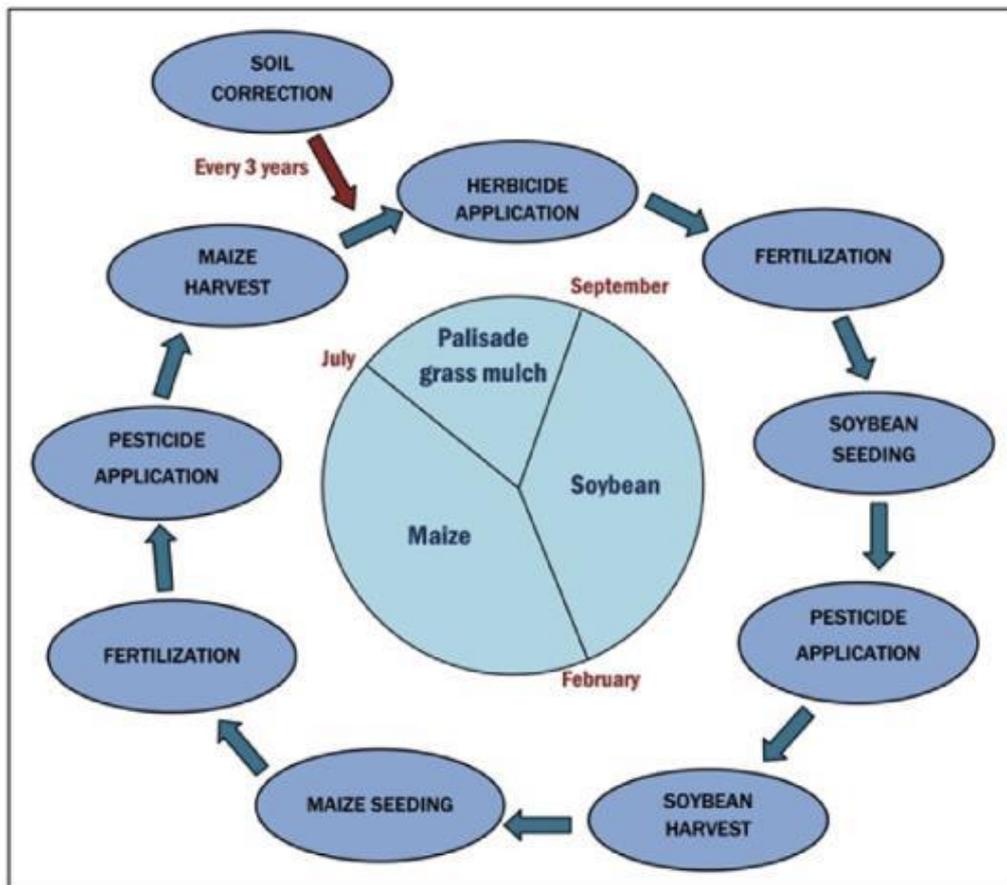


Figura 46 - Sistema de cultivo das Fazendas 4 e 5. Fonte: (Esteves et al, 2018)

Para o cálculo dos impactos, são usadas 2 abordagens, a divisão em subprocessos e o sistema de expansão, abordagem a qual inclui no inventário todas as entradas e saídas relacionadas aos coprodutos, reduzindo dos impactos finais dos sistemas estudados as respectivas emissões desses coprodutos, se eles forem obtidos em algum outro lugar, em outro sistema de produção. Além das abordagens, foram escolhidos 3 métodos de alocação, o baseado na massa, o baseado no conteúdo energético e o baseado no valor de mercado.

Não é possível usar nem a subdivisão, nem a expansão do sistema para o processo de extração. Como fisicamente não se consegue separar as entradas de massa e energia das produções de biodiesel e de glicerina no processo de transesterificação, não só pode aplicar a abordagem de subprocessos. Da mesma forma que é inapropriado repartir as produções de biodiesel e glicerina na abordagem de sistema de expansão.

Já para sistemas de integração agrícola a abordagem de sistema de expansão foi mais adequada. Nessa abordagem, as fazendas que possuíam o sistema de integração lavoura-pecuária mostraram ser melhor por otimizar o uso da terra. A fazenda com menor emissões foi a que tinha o segundo maior rendimento e menor uso de fertilizantes, mostrando grande eficiência.

Nas Tabela 7 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e Tabela 8, são apresentadas as emissões totais para cada unidade funcional. De forma geral, a maior responsável pelas emissões foi a fase agrícola com 52% do total. A etapa de transesterificação foi por 34%, a extração de óleo por 10% e o transporte do grão da soja 4%.

Tabela 7 - Emissões de CO<sub>2</sub>eq/ha utilizado. Fonte: (Esteves et al, 2018)

	Fator de Alocação	Fazenda 1	Fazenda 2	Fazenda 3	Fazenda 4	Fazenda 5
Emissões (kgCO <sub>2</sub> eq/ha utilizado)						
Emissões de Cultivo (DS)	25,5%	182,34	179,45	194,78	163,23	161,08
Emissões de Cultivo (SE)	25,5%	-149,98	-210,25	-502,29	-461,92	-338,25
Emissões do Transporte de Grãos	25,5%	15,52	15,5	18,66	14,14	17,97
Emissões de Extração	25,5%	38,74	38,27	45,35	36,87	45,22

Emissões do Transporte de Óleo	94,6%	0,11	0,11	0,13	0,11	0,13
Emissões de Transesterificação	94,6%	134,05	132,41	156,92	127,6	156,49
Emissões Totais (DS)		370,76	365,74	415,84	341,95	380,89
Emissões Totais (SE)		38,45	-23,96	-281,23	-283,2	-118,44

Tabela 8 - Emissões de CO<sub>2</sub>eq/kg biodiesel produzido. Fonte: (Esteves et al, 2018)

	Fator de Alocação	Fazenda 1	Fazenda 2	Fazenda 3	Fazenda 4	Fazenda 5
Emissões (kgCO <sub>2</sub> eq/kg de biodiesel)						
Emissões de Cultivo (DS)	25,5%	0,345	0,344	0,315	0,325	0,261
Emissões de Cultivo (SE)	25,5%	-0,119	-0,44	-0,784	-0,919	-0,549
Emissões do Transporte de Grãos	25,5%	0,029	0,03	0,03	0,028	0,029
Emissões de Extração	25,5%	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073
Emissões do Transporte de Óleo	94,6%	0	0	0	0	0
Emissões de Transesterificação	94,6%	0,254	0,254	0,254	0,254	0,254
Emissões Totais (DS)		0,702	0,701	0,673	0,681	0,618
Emissões Totais (SE)		0,238	-0,082	-0,427	-0,564	-0,175
DS – Divisão de Sub-produtos			SE – Sistema de Expansão			

Em conclusão do trabalho, olhando somente a transesterificação, não houve grandes diferenças entre as 5 fazendas. A produção de biodiesel foi mais impactada pela frequência das rotações (pasto/cultivo) e da administração do sistema de cultivo. As 5 fazendas produziram benefícios ao meio ambiente em relação às emissões de GEE, devido ao cultivo de milho nas entressafras e a produção de carne nas fazendas que usam o sistema integrado.

### **3.5. Produção do biodiesel de palma em combinação com a produção de etanol**

No artigo IV, o estudo teve como objetivo comparar o sistema tradicional de produção de etanol de cana-de-açúcar no Brasil com um sistema de produção conjunta de etanol de cana-de-açúcar e biodiesel de óleo de palma, sendo que todo biodiesel é usado na produção de etanol. (Souza, Simone Pereira; de Ávila, Márcio Turra; Pacca, Sérgio; 2012)

Foram feitos 3 estudos de ACV, um para o sistema tradicional de produção de etanol a partir da cana-de-açúcar, um para o sistema de produção de biodiesel a partir do óleo de palma e um para o sistema de produção em conjunto do etanol a partir da cana-de-açúcar e do biodiesel a partir do óleo de palma. O sistema tradicional foi dividido em 9 etapas, identificadas na Figura 47 e na Figura 48. A fase agrícola contém 5 delas e a fase industrial, 4. O sistema em conjunto é similar, porém o diesel é substituído pelo biodiesel a partir da palma, como representado na Figura 49. As fronteiras dos sistemas incluem as etapas do cultivo da cana-de-açúcar até a saída da unidade de transesterificação, representando, assim, um estudo de berço ao portão. A Unidade Funcional é 7,55 m<sup>3</sup> de etanol.

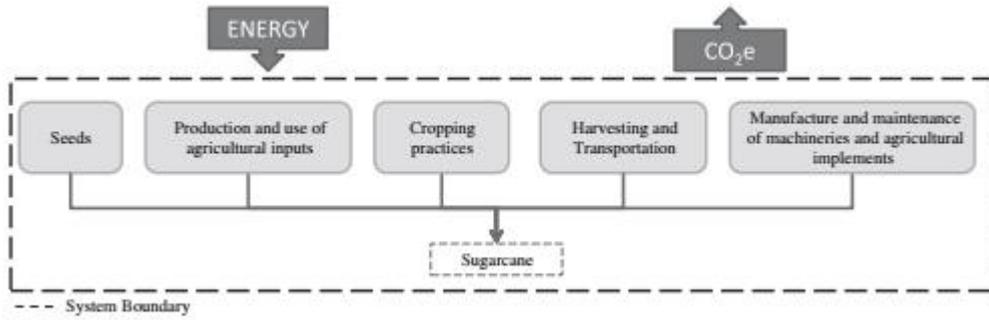


Figura 47 – Subsistemas agrícolas para o ciclo de vida do sistema tradicional. Fonte: (Souza, Simone Pereira; de Ávila, Márcio Turra; Pacca, Sérgio; 2012)

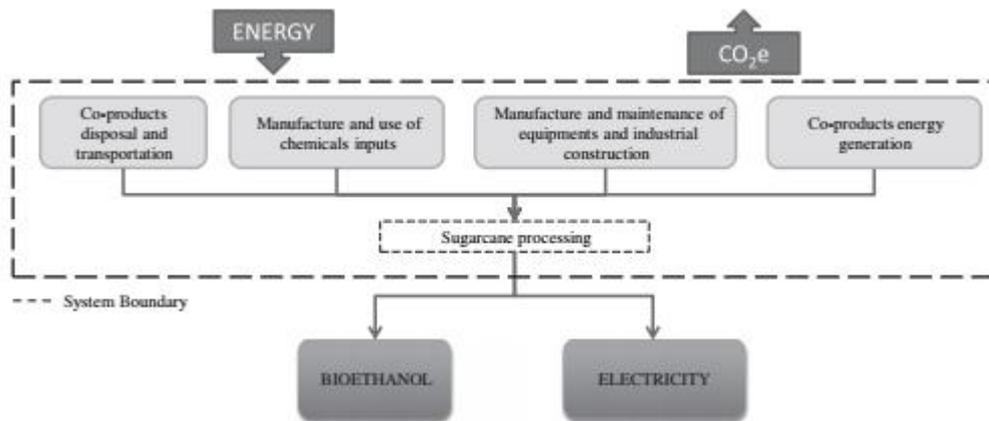


Figura 48 – Subsistemas industriais para o ciclo de vida do sistema tradicional. Fonte: (Souza, Simone Pereira; de Ávila, Márcio Turra; Pacca, Sérgio; 2012)

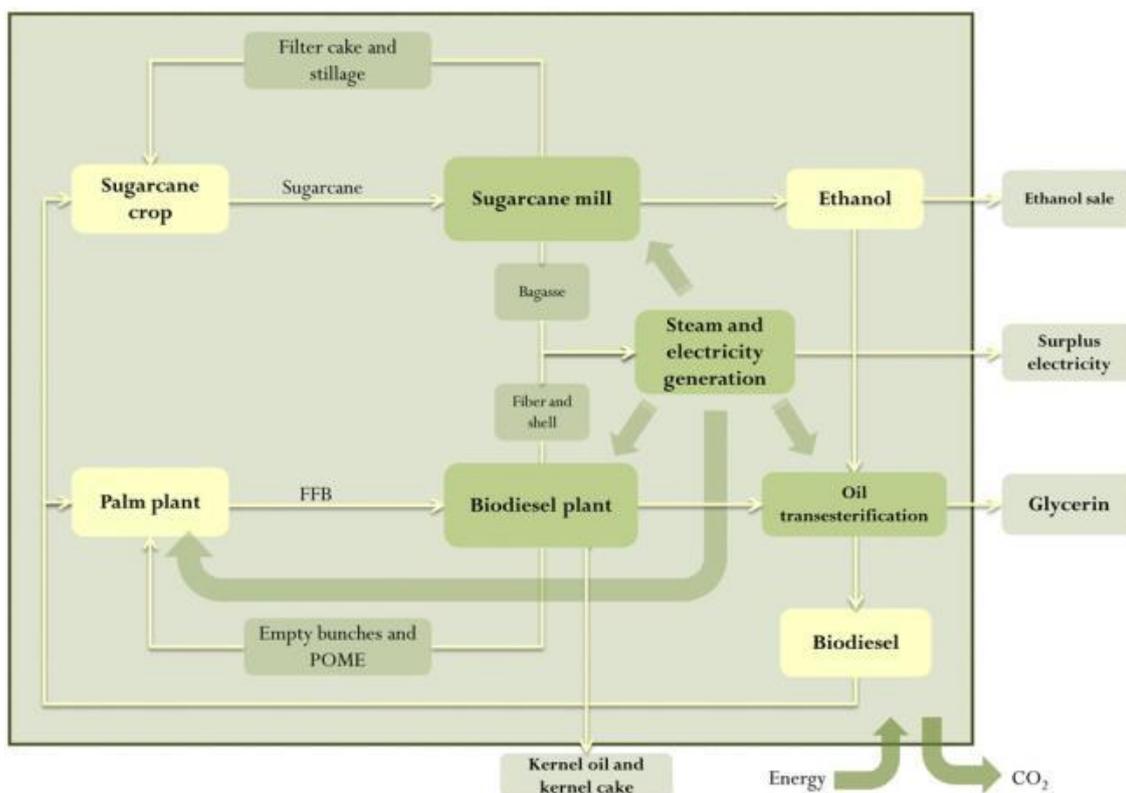


Figura 49 - Sistema do produto do Sistema em conjunto lavoura-pecuária do artigo IV. Fonte: (Souza, Simone Pereira; de Ávila, Márcio Turra; Pacca, Sérgio; 2012)

O inventário do ciclo de vida do etanol é baseado nos dados coletados de 3 moinhos localizados no estado de São Paulo em áreas similares ao Cerrado. No caso do biodiesel da palma, os dados foram coletados da Companhia Agropalma, localizada no estado do Pará. Para estimar o balanço de energia e as emissões de GEE, os indicadores de intensidade energética e os fatores de emissão de GEE foram extraídos das bases de dados Ecoinvent e estudos anteriores. Para o cálculo de emissões, foi usado o guia do IPCC para Inventários Nacionais dos Gases de Efeito Estufa, mais especificamente as seções “Emissões de solos manejados” e “Combustão Estacionária”.

A energia total consumida pelo sistema tradicional foi  $20 \text{ GJ ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ , onde a fase agrícola é responsável por 96%. Já, para o sistema em conjunto, a energia total consumida foi  $11,6 \text{ GJ ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ . As emissões totais para o sistema tradicional foram  $3,23 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$  ou  $428 \text{ kg m}^{-3}$  de etanol, sem contar com as mudanças de uso da terra e a alocação de eletricidade excedente. Já, para o sistema em conjunto, as emissões totais identificadas foram  $2,5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$  ou  $352 \text{ kg m}^{-3}$ . Quando se inclui as mudanças de uso da terra, vão para  $6,5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$  e  $5,3 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ , representando 50% e 53% para os sistemas tradicional e conjunto, respectivamente. Pode-se

observar esses resultados na tabela presente na Tabela 9. Quando comparado o sistema tradicional com o sistema em conjunto, vê-se tanto uma diminuição no consumo de energia quanto uma diminuição nas emissões totais.

**Tabela 9 - Emissões incluindo a mudança de uso da terra em  $\text{MgCO}_2\text{eq ha}^{-1}\text{y}^{-1}$ . Fonte: (Souza, Simone Pereira; de Ávila, Márcio Turra; Pacca, Sérgio; 2012)**

Bioma mudado	Sistema Tradicional	Óleo de palma	Sistema em conjunto
ACV	3,23	1,54	2,5
Cerradão (MUT)	3,24	-3,07	2,84
Total (MUT+ACV)	6,47	-1,53	5,34
Cerrado (MUT)	1,87	-4,44	1,47
Total (MUT+ACV)	5,1	-2,9	3,97
Pasto degradado (MUT)	-2,37	-8,68	-2,77
Total (MUT+ACV)	0,86	-7,14	-0,27
ACV - Análise do Ciclo de Vida		MUT - Mudanças de Uso da Terra	

### 3.6. Produção de biodiesel de palma e coprodutos numa biorrefinaria

No artigo V, o estudo teve como objetivo avaliar os principais impactos ambientais e diretos da mudança do uso da terra associados a produtos e co-produtos da palma em uma planta de biorrefinaria no Brasil. (Delivand, Mitra Kami; Gnansounou, Edgard; 2013)

O ciclo de vida da biorrefinaria de óleo de palma consiste em: o processo agrícola, a coleta e o transporte da palma, o processo de moagem, a transesterificação do óleo para produzir o biodiesel, o pré-tratamento, a hidrólise enzimática e a fermentação dos cachos vazios para produzir bioetanol. As fronteiras do sistema abrangem as etapas do berço ao tanque e do berço à roda, incluindo na análise o cultivo de palma, o combustível comercial, o tanque e o uso do combustível. O fluxograma do Sistema de produto estudado encontra-se na Figura 50. As Unidades Funcionais são 1 tonelada(t) de cachos de palma e 100km percorridos.

A partir do ciclo de vida com visão do berço à roda, as emissões de GEEs de combustão dos biocombustíveis a partir da palma serão comparados com as de combustão dos combustíveis fósseis. As emissões de GEEs dos biocombustíveis serão comparados com as de combustíveis fósseis, as de biodiesel a partir da soja e as de bioetanol a partir da cana-de-açúcar.

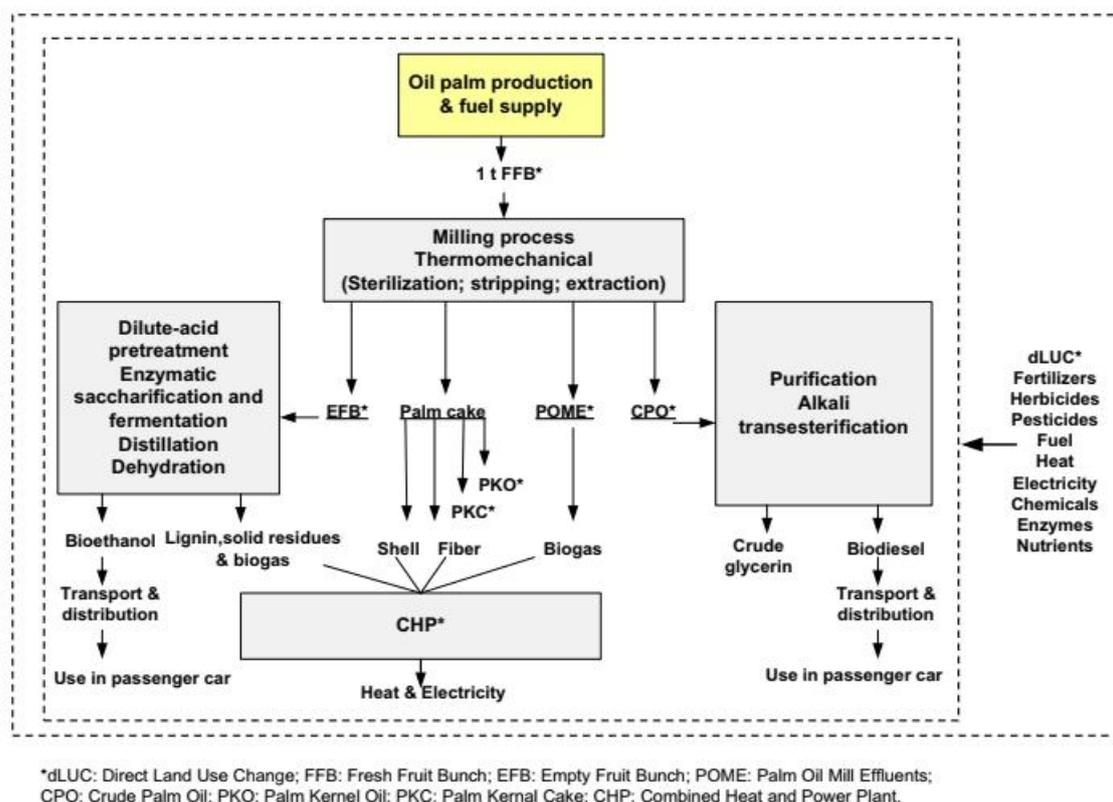


Figura 50 - Sistema do produto e suas Fronteiras do artigo V. Fonte: (Delivand, Mitra Kami; Gnansounou, Edgard; 2013)

O inventário do ciclo de vida foi feito, seguindo as normas ISO 14040 e 14044. O inventário é obtido do Ecoinvent v2.2 para todas as entradas e saídas. Para os impactos diretos de mudança de uso da terra, é usada a metodologia advinda de ‘Guideline for National Greenhouse Gas Inventories’ pelo IPCC. O método de alocação usado é o de conteúdo energético e o poder calorífico inferior é 26,7 MJ/kg para o bioetanol, 37,9 MJ/kg para o biodiesel, 13 MJ/kg para o glicerol cru e 17 MJ/kg para o óleo de palma cru.

Para análise de emissões de GEEs de biocombustíveis, foi necessário assumir que as economias de combustível da gasolina e do diesel fóssil nas misturas fossem iguais às economias desses mesmos combustíveis puros. A partir de discussões durante o estudo, considerou-se a

economia de combustível de biodiesel 20% 5,34 l/100 km (18,72 km/l) e a de etanol 20% 7,96 l/100 km (12,57 km/l). O estudo adotou uma metodologia para o cálculo da eficiência de combustível de misturas de biocombustíveis e consequentemente estimar as emissões das misturas de biocombustíveis para 100 km percorridos. As mudanças de uso da terra são incluídas no cálculo por meio de metodologia fornecida pelo IPCC.

Alguns impactos ambientais visando o ciclo de vida do berço ao tanque foram estimados. As emissões de GEEs do biodiesel e do etanol foram por volta de 220 kgCO<sub>2</sub>eq/t de cacho de palma e 155 kgCO<sub>2</sub>eq/t de cacho de palma, respectivamente. As emissões totais geradas pela biorrefinaria foi de 394,3 kgCO<sub>2</sub>eq/t de cacho de palma e seu balanço de energia 8127 MJ/t de cacho de palma ou 146 GJ/ha.

As emissões calculadas do berço à roda para os biocombustíveis reduziram em muito em comparação com os combustíveis fósseis. Comparando biodiesel com diesel fóssil, a redução foi de 76,9% e, comparando etanol com gasolina, a redução foi de 83,7%.

Já para as mudanças de uso da terra indica-se que há um crédito anual de 0,4 tCO<sub>2</sub>eq/t de cacho de palma ou 7,5 tCO<sub>2</sub>eq/ha com a conversão das pastagens criadas pelo desmatamento no passado para o plantio de palma. Considerando o tempo de vida comercial do óleo de palma de 25 anos, por volta de 188 tCO<sub>2</sub>eq/ha poderiam ser evitados.

### **3.7. Produção de Biodiesel de palma na Amazônia**

No artigo VI, o estudo teve como objetivo apresentar o balanço energético da produção de biodiesel a partir de óleo de palma na Amazônia. (Queiroz, A.G.; França, L.; Ponte, M.X.; 2012)

A análise do ciclo de vida foi feita para 3 fases: agricultura, produção do óleo e produção do biodiesel. O estudo foi feito a partir de dados de 2 companhias, AGROPALMA e DENTAUÁ, situadas no estado do Pará. A função do produto é principalmente para o uso em sistemas de transporte e na geração de energia de comunidades isoladas na Amazônia. Com uma visão de berço ao portão, as fronteiras vão do cultivo de palma até a saída do biodiesel. A Unidade Funcional é 9530000 kcal ou 39,9 GJ. Na Figura 51, está uma representação do sistema de produto do estudo.

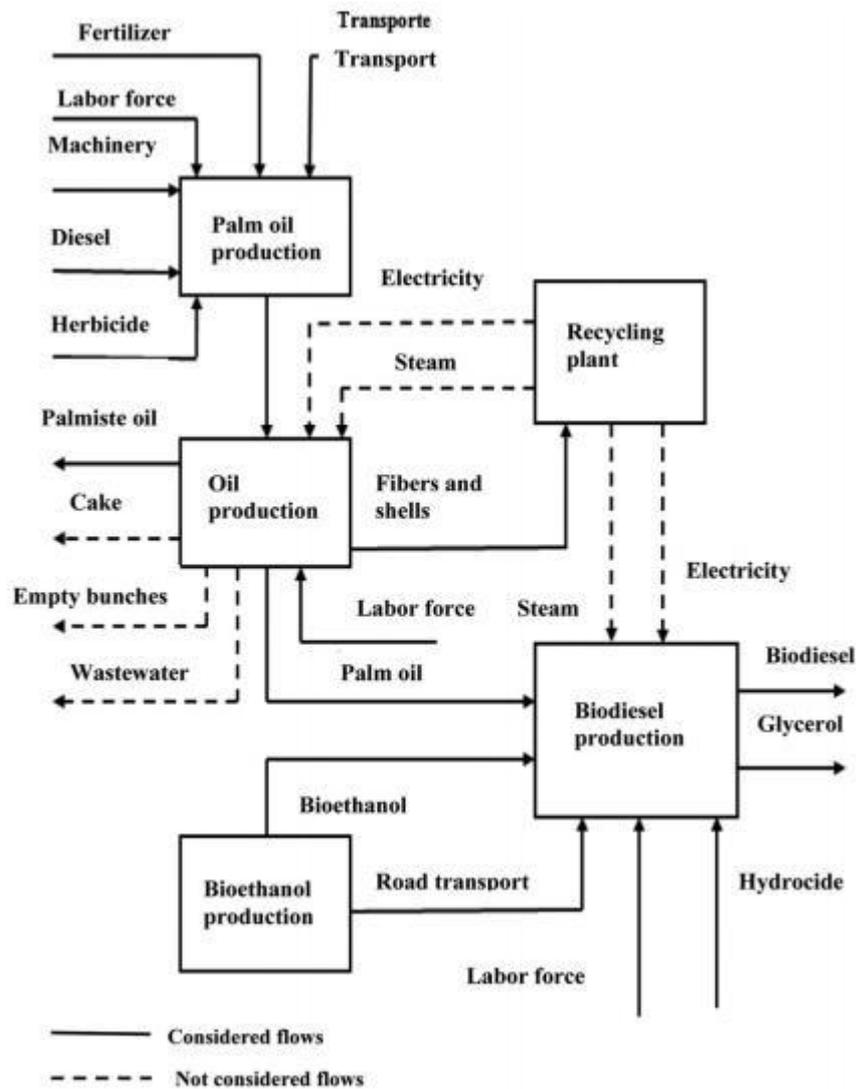


Figura 51 - Sistema do produto do artigo VI. Fonte: (Queiroz, A.G.; França, L.; Ponte, M.X.; 2012)

Na primeira fase, a coleta de informação sobre o cultivo e a produção de palma foi feita por meio de questionários e entrevistas com especialistas durante as visitas técnicas às companhias e consultas à literatura. Na Tabela 10, são mostradas as quantidades de energia para cada entrada e o total para cultivar 1 ha de palma em DENTAUÁ e na AGROPALMA.

Tabela 10 - Energia para produzir 1 ha de palma no Pará. Fonte: (Queiroz, A.G.; França, L.; Ponte, M.X.; 2012)

Entrada	DENTAUÁ		AGROPALMA	
	Quantidade	Energia (kcal ha <sup>-1</sup> y <sup>-1</sup> )	Quantidade	Energia (kcal ha <sup>-1</sup> y <sup>-1</sup> )
Mão-de-obra	216 m.h.	56523	409 m.h.	99954
Equipamentos	8,22 kg	133921	8,22 kg	133921
Diesel	11,07 l	93918	11,28 l	95700
Nitrogênio	64,35 kg	1196202	83,30 kg	1548464

Fósforo	42,90 kg	177606	83,30 kg	344862
Potássio	107,25 kg	349635	191,60 kg	624616
Magnésio	8,58 kg	14629	16,70 kg	28473
Herbicida	11,00 kg	627000	5,43 kg	309510
Transporte	251,60 kg	176117	398,05 kg	291056
Total		2825551		3476556

Entrada de óleo de palma: 18500 kg/ha (DENTAUÁ); 23500 kg/ha (AGROPALMA)

Na segunda fase, o total de energia é determinado considerando as formas de energia usadas nas indústrias e a energia consumida numa produção padrão de 1 tonelada de óleo. O montante e as condições do vapor do processo para 1 t de óleo produzido são 1600 kg (DENTAUÁ) e 3000kg (AGROPALMA) de vapor saturado a 135°C. O balanço de energia para a produção de óleo em DENTAUÁ não considera a energia do vapor de processo, pois é produzido pelas próprias fibras. Já, na AGROPALMA, tanto a energia do vapor quanto a eletricidade não são contadas, pois toda energia é produzida por fibras e cascas. As quantidades de energia são respectivamente 825222 e 1550444 kcal. A eletricidade consumida para produzir 1 t de óleo é 100 kWh na AGROPALMA e 75 kWh na DENTAUÁ. Na [Tabela 11](#), são apresentadas as quantidades de energia e material para produzir 1 t de óleo de palma.

**Tabela 11 - Energia para produzir 1 t de óleo de palma no Pará. Fonte: (Queiroz, A.G.; França, L.; Ponte, M.X.; 2012)**

Entrada	DENTAUÁ			AGROPALMA		
	Quantidade	Energia Fósssil (kcal/t)	Energia (kcal/t)	Quantidade	Energia Fósssil (kcal/t)	Energia (kcal/t)
Cachos de Palma	5000 kg	748386	763662	5000 kg	718426	739693
Eletricidade	74 kWh		63640			
Mão-de-obra	6 m.h.		1800	4,9 m.h.		1470
Total		748386	829102		718426	741163
Saída						
Óleo de Palma	1000 kg		9104000			9104000
Óleo de Palmista	125 kg		1138000	87,5 kg		796600

Total			10242000			9900600
Entrada/Saída						
Energia Fossil		1:13,7 (7,3%)				1:13,8 (7,2%)
Energia Total		1:12,4 (8,1%)				1:13,4 (7,5%)

Para a terceira fase, foi construída uma bioindústria, pela UFPA em conjunto com a Eletrobrás, com capacidade de produzir 1 t/dia de biodiesel com a finalidade de determinar os parâmetros para a produção de biodiesel da palma, usando a rota etílica e catalisador básico. A quantidade para o transporte é determinada considerando as distâncias da estrada, PAGRISA (Ulianópolis-PA)-DENTAUÁ (Santo Antonio do Taua-PA) 359 km e PAGRISA (Ulianópolis-PA)-AGROPALMA (Tailândia-PA) 452 km. A energia fóssil total é obtida pela soma das energias fósseis obtidas pela produção de óleo de palma, pelo catalisador (NaOH) e pelo transporte de etanol. O material e a energia para produzir 1 t de biodiesel é apresentado na Tabela 12 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

Tabela 12 - Energia para produzir 1 t de biodiesel no Pará. Fonte: (Queiroz, A.G.; França, L.; Ponte, M.X.; 2012)

Entrada	DENTAUÁ			AGROPALMA		
	Quantidade (kg)	Energia Fossil (kcal/t)	Energia (kcal/t)	Quantidade (kg)	Energia Fossil (kcal/t)	Energia (kcal/t)
Óleo de Palma	968	724399	802571	968	695436	717446
Bioetanol (1)	158		1120219	158		1120219
Bioetanol (2)	158		134219	158		134219
Transporte	158	47079	47079	158	59275	59275
NaOH	3,9	780	780	3,9	780	780
Mão-de-obra	5,0 m.h.		1500	5,0 m.h.		1500
Total (1)		772258	1972149		755491	1899220
Total (2)		772258	986149		755491	913220
Saída						
Biodiesel	1000 kg	-	9530000	1000 kg	-	9530000

Glicerina	126 kg	-	571788	126 kg	-	571788
Total			10101788			10101788
Entrada/Saída						
Energia fóssil		1:13,1 (7,6%)			1:13,4 (7,5%)	
Energia Total (1)		1:5,1 (19,6%)			1:5,3 (18,9%)	
Energia Total (2)		1:10,2 (9,8%)			1:11,1 (9,0%)	
Energia biodiesel/fóssil		1:12,3 (8,1%)			1:13,4 (7,5%)	

Temos como resultado da primeira fase que a AGROPALMA usa em média anualmente 3476556 kcal para cultivar 1 ha de palma, produzindo 23500 kg/ha de cachos de palma. Esse consumo representa 27% do da DENTAUÁ. A produção anual média de cachos de palma em DENTAUÁ é 18,500 kg/ha. O uso de fertilizantes representa 74% desse consumo de energia. Foi determinado que 98% da energia consumida durante a primeira fase foi produzida por combustíveis fósseis.

Durante a segunda fase, toda a energia usada é renovável. Foi determinado que para gerar 13,8 unidades de energia renovável foi usado 7,2% de energia fóssil. Ou seja, o teor energético do produto é quase 14 vezes maior que a energia fóssil investida para produzi-lo. Os resultados foram comparados com estudos sobre balanços de energia para as produções de soja e girassol, que apresentaram, respectivamente, 1:4,76 e 1:2,70, mostrando o potencial que a palma possui em relação aos óleos que já são usados na produção de biodiesel.

### 3.8. Produção de biodiesel de soja na região Centro-Oeste

No artigo VII, o estudo teve como objetivo avaliar os impactos da produção de biodiesel em uma área representativa do Centro-Oeste brasileiro através de uma avaliação do ciclo de vida, considerando mudança no uso da terra. (Esteves, V.P.P. et al, 2016)

A análise do ciclo de vida da produção de biodiesel da soja terá o foco no cálculo das emissões de GEEs em todas as fases do processo de produção de biodiesel, incluindo as mudanças do uso da terra. A área escolhida para o estudo foi Dourados, uma microrregião de Mato Grosso do Sul, entre o período de 1993 e 2013. As fronteiras vão do cultivo de soja até a saída do biodiesel da fábrica, tendo uma visão de berço ao portão. A Figura 52 mostra o fluxograma do Sistema do produto estudado. A Unidade Funcional é 1 ha de área plantada.

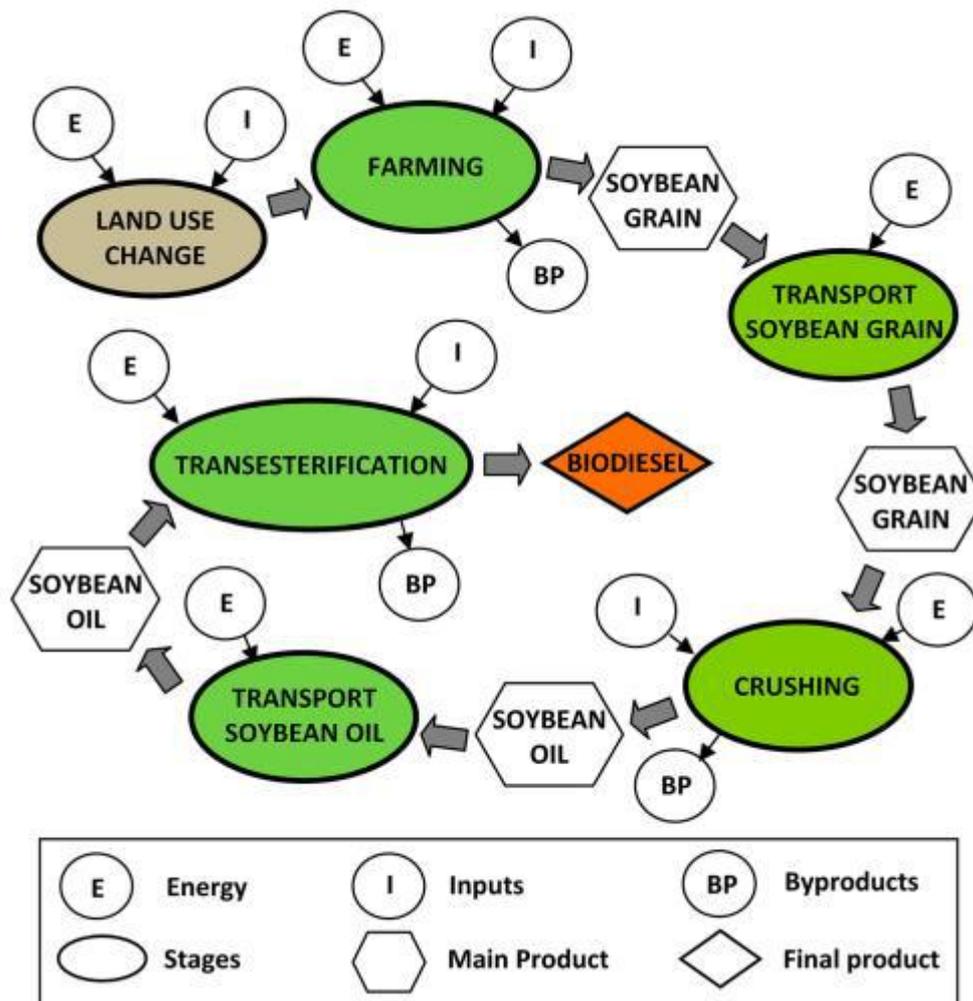


Figura 52 - Sistema do produto do artigo VII. Fonte: (Esteves, V.P.P. et al, 2016)

Em primeiro lugar, foram calculadas as emissões para a mudança de uso da terra, usando a metodologia do IPCC e imagens de satélites para interpretação visual, comparando os anos de 1993 e 2013. Após isso, calculam-se as emissões desde o cultivo agrícola até a transesterificação, usando SimaPro 8.0. As emissões devido a transporte foram calculadas pelas distâncias médias entre cada área de cultivo e as mais próximas unidades de extração e, então, dessas para as plantas de produção de biodiesel. Essas emissões foram determinadas usando o programa QuantumGIS 2.0. Na fase de cultivo, foram usados dados médios coletados das fazendas da região. Nas fases industriais de extração e transesterificação, foram obtidos dados médios da literatura.

Os métodos de alocação variaram, dependendo da etapa do processo de produção. Para a extração do óleo, foi usada a alocação baseado no valor de mercado. Já para a transesterificação foi usada a baseada no balanço de energia.

Como resultado principal o estudo identificou que a produção de biodiesel gerou o total de 50,16 kgCO<sub>2eq</sub> ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup> de gases de efeito estufa. A maior fonte de emissões de gases de efeito estufa foi a mudança de uso da terra de pasto para o cultivo, representando 81,2%.

### **3.9. Discussão**

O objetivo desse trabalho é analisar de forma comparativa a sustentabilidade da produção do biodiesel no Brasil, de acordo com os resultados dos artigos apresentados. A partir dos estudos analisados pode se afirmar que a promoção da sustentabilidade pode ser feita a partir do reuso e reciclo de subprodutos que seriam rejeitos anteriormente. Também é possível com a substituição de materiais que fazem parte do processo de produção por materiais menos poluentes. Por fim, como mostrado nos artigos, pode ser por meio da integração de produções para diminuir os custos e as emissões. Para comparar os resultados, tentou-se buscar um padrão, uma base de cálculo, ou, pelo menos, uma concordância entre os trabalhos.

Um dos primeiros detalhes a serem notados foi a diversidade de unidades funcionais. Mesmo que o objetivo dos trabalhos pudesse ser o mesmo, o método de cálculo e as considerações se diferem e os resultados ficam diferentes em unidades. Entre os trabalhos analisados, os artigos I e VII podem ser comparados diretamente, onde se evidencia a menor emissão de GEEs na ACV do biodiesel do sebo bovino em comparação ao biodiesel da soja. Apesar do artigo III possuir resultados com unidades compatíveis, a unidade funcional e os sistemas completamente diferentes resultam em dados completamente diferentes. Já que, se não fosse assim, o artigo III teria que ter resultados semelhantes ao do artigo VII, pois os dois trabalham com o biodiesel da soja. As Tabela 13 e

Tabela 14 indicam os resultados.

**Tabela 13 - Resultados dos Artigos I e VII das emissões de GEEs. Fonte: (Esteves, V.P.P. et al, 2016) e (Esteves et al, 2017)**

Artigo	Matéria-prima	Emissões
I	Sebo Bovino	43,202kgCO <sub>2</sub> ha <sup>-1</sup> y <sup>-1</sup>
VII	Óleo de Soja	50,16kgCO <sub>2</sub> ha <sup>-1</sup> y <sup>-1</sup>

**Tabela 14 - Resultados das emissões de GEEs do artigo III. Fonte: (Esteves et al, 2018)**

Artigo	Matéria-prima	Fazenda					
		1	2	3	4	5	
III	Óleo de Soja	SD (kgCO <sub>2</sub> eq ha <sup>-1</sup> )	370,76	365,74	415,84	341,95	380,89
		SE	38,45	-23,96	-281,23	-283,2	-118,44
	Soja	SD (kgCO <sub>2</sub> eq kg <sup>-1</sup> )	0,702	0,701	0,673	0,681	0,618
		SE	0,238	-0,082	-0,427	-0,564	-0,175

Outro detalhe observado é que os trabalhos possuem sistemas e fronteiras bem diferentes. Os artigos III e IV são ótimos exemplos. Esses artigos parecem que foram feitos para somente comparar os sistemas presentes, sem interesse de comparar com resultados de outros trabalhos, onde o primeiro compara o desempenho de 5 fazendas e o segundo compara um sistema tradicional com um sistema integrado. No caso do artigo V, as ACVs não obtiveram resultados muito comparáveis com outros trabalhos, podendo, porém, aproveitar o resultado para as emissões das mudanças do uso da terra.

Por último, nem todo trabalho de ACV sobre biodiesel tem o objetivo de mensurar impactos ambientais. O artigo VI objetiva calcular o balanço energético das empresas AGROPALMA e DENTAUÁ para compará-los.

Ainda assim, alguns trabalhos proporcionaram evidentemente o desenvolvimento sustentável. O artigo I mostra a implementação da produção de biodiesel a partir do reaproveitamento do sebo bovino, diminuindo a geração de lixo e resíduos. Além do sebo bovino ter um valor comercial ínfimo, tirando um dos maiores custos para a produção. Não é muito diferente no artigo II que apresenta um estudo a partir do biodiesel produzido a partir do óleo de cozinha usado. O estudo mostra o barateamento de combustível com a inclusão do biodiesel, a reciclagem do óleo de cozinha de casas e restaurantes, a diminuição da pegada de carbono e a inclusão do ensino sobre sustentabilidade.

#### **4. Conclusão**

A sustentabilidade tem sido um objetivo a ser alcançado desde o século passado. Com as mudanças climáticas se agravando rapidamente, de reuniões a tratados internacionais foram realizados a fim de firmar compromissos entre governos e organizações do mundo todo para buscarem medidas para a diminuição das emissões de gases de efeito estufa e da depredação dos biomas, fazendo com que os efeitos das mudanças climáticas sejam amenizados. Dentro disso tudo, o Brasil não foi omissor.

Um país continental como o Brasil e com seus recursos diversificados tem servido como um exemplo a ser seguido. A matriz energética brasileira é uma das menos dependentes de combustíveis fósseis e uma das mais diversificadas. Com o avanço positivo do programa Proálcool, o governo brasileiro resolveu apostar no uso de biocombustíveis como uma das propostas para alcançar a meta de redução da emissão dos GEEs e diminuir a dependência dos

combustíveis fósseis. Com o PNPB, começou a investir pesado na produção de biodiesel e em 2008, por lei, tornou-se obrigatório a mistura de biodiesel no combustível diesel. Com esse incentivo, a demanda nasceu e sua produção foi intensificada.

Com a imensa produção de soja no país e a vasta criação de gado, matéria-prima não faltou para suprir esse início de demanda. Porém, em pouco tempo, observou-se a necessidade de diversificar a matéria-prima para a produção de biodiesel. Em busca de um desenvolvimento sustentável, era preciso a inclusão de pequenos agricultores e coletores para o desenvolvimento territorial, fomentando geração de empregos e renda, e para evitar o aumento de áreas devastadas pela produção de soja. Pesquisas foram e são conduzidas a fim de estudar o potencial de possíveis matérias-primas para cada região do Brasil.

As regiões que se mostraram mais propensas à diversificação de matérias-primas e que seriam mais beneficiadas por ela foram o Norte e Nordeste. Matérias-primas como palma, mamona, girassol, algodão, pinhão-manso e macaúba fazem parte da grande lista de oleaginosas promissoras para extração de óleo para produção de biodiesel. Para verificar sua viabilidade, são feitos estudos sobre os impactos que o seu cultivo e o biodiesel produzido têm na sociedade e no meio ambiente, baseados na metodologia de Análise de Ciclo de Vida regulamentada pela norma ISO 14040:2009.

Os estudos discutidos trazem resultados diversos e não muito comparáveis. Apesar disso, pontualmente, os artigos I e VII nos proporcionaram isso, mostrando que nas condições dadas o sebo bovino performou de forma superior que a soja. Já os outros trabalhos possuem ou sistemas diferentes ou a metodologia diferenciada, dificultando o estudo. Pelo menos, pode-se verificar que, no caso dos artigos I e II, houve o desenvolvimento sustentável.

Com o que foi pesquisado, ainda se vê a necessidade de pesquisas focadas em diferentes matérias-primas. Dentre os artigos resumidos, as únicas matérias-primas englobadas foram óleo de soja, sebo bovino, óleo de palma e óleo de cozinha, com notável participação do óleo de palma e do óleo de soja. Isso demonstra interesse persistente na produção de soja com a finalidade de produzir biodiesel e que a palma é a matéria-prima com a maior relevância para substituí-la atualmente.

Há algumas sugestões que podem ser consideradas para aprimorar o estudo devidamente. Primeiro, aumentar o número de estudos analisados. Para isso, possivelmente modificando as palavras-chaves e variando a base utilizada. Segundo, procurando mais artigos com estudos de

ACV do biodiesel a partir de outras matérias-primas e catalogando a proporção quantitativa do número de artigos de cada matéria-prima.

## **5. Referências Bibliográficas**

- [1.] ALFREDO KINGO OYAMA HOMMA [ET AL.]. INTEGRAÇÃO GRANDE EMPRESA E PEQUENOS PRODUTORES DE DENDEZEIRO: O CASO DA COMUNIDADE DE ARAUAÍ, MUNICÍPIO DE MOJU, PARÁ. – BELÉM, PA: EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL, 2014. – (BOLETIM DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO / EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL, ISSN 1983-0483; 92)
- [2.] ALMEIDA, WILSON. RODRIGUES, DÉBORA. SANTANA, HADASSAH SOUZA, 2014. O POSICIONAMENTO DO BRASIL NAS NEGOCIAÇÕES INTERNACIONAIS SOBRE TEMAS DE MEIO AMBIENTE. REVISTA DO DIREITO PÚBLICO. LONDRINA, v.9, n.2, p.183-202, MAI/AGO. 2014. DOI: 10.5433/1980-511X.2014v9N2P183.

- [3.] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNE (ABIEC), 2019. BEEF REPORT: BRAZILIAN LIVESTOCK PROFILE. DISPONÍVEL EM: <[HTTP://ABIEC.COM.BR/PUBLICACOES/BEEF-REPORT-2019/](http://abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2019/)>. ACESSO EM: 07/2021.
- [4.] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), 2009. ABNT NBR ISO 14040 GESTÃO AMBIENTAL - AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA - PRINCÍPIOS E ESTRUTURA. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009.
- [5.] BRASIL, 2004. AGENDA 21 BRASILEIRA: AÇÕES PRIORITÁRIAS / COMISSÃO DE POLÍTICAS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E DA AGENDA 21 NACIONAL. 2. ED. BRASÍLIA: MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2004.
- [6.] BRASIL, 2004. AGENDA 21 BRASILEIRA: RESULTADO DA CONSULTA NACIONAL / COMISSÃO DE POLÍTICAS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E DA AGENDA 21 NACIONAL. 2. ED. BRASÍLIA: MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2004.
- [7.] BRASIL, 2017. DISPONIBILIDADE DE MATÉRIAS-PRIMAS E OPORTUNIDADES – EMBRAPA, 2015. IN: CÂMARA SETORIAL DA CADEIA PRODUTIVA DE OLEAGINOSAS E BIODIESEL. ACESSO EM: 05/2021.
- [8.] BRASIL, 2017. PRODUÇÃO DE OLEAGINOSAS NO BRASIL, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2012. DISPONÍVEL EM: <[HTTPS://WWW.GOV.BR/AGRICULTURA/PT-BR/ASSUNTOS/SUSTENTABILIDADE/AGROENERGIA/ARQUIVOS-PRECO/PRODUCAO-DE-OLEAGINOSAS-NO-BRASIL.PDF/VIEW](https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/agroenergia/arquivos-precos/producao-de-oleaginosas-no-brasil.pdf/view)>. ACESSO EM: 05/2021.
- [9.] BRASIL, 2019. AGRICULTURA FAMILIAR: MINISTÉRIO DECIDE INSERIR TODOS OS AGRICULTORES FAMILIARES NO SELO COMBUSTÍVEL SOCIAL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2019. DISPONÍVEL EM: <[HTTPS://WWW.GOV.BR/AGRICULTURA/PT-BR/ASSUNTOS/NOTICIAS/MINISTERIO-VAI-INSERIR-TODOS-OS-AGRICULTORES-FAMILIARES-NO-SELO-COMBUSTIVEL-SOCIAL](https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/ministerio-vai-inserir-todos-os-agricultores-familiares-no-selo-combustivel-social)>. ACESSO EM: 05/2021.
- [10.] BRASIL, 2019. DISPONÍVEL EM: <[HTTPS://WWW.GOV.BR/AGRICULTURA/PT-BR/ASSUNTOS/AGRICULTURA-FAMILIAR/BIODIESEL/PROGRAMA-NACIONAL-DE-PRODUCAO-E-USO-DO-BIODIESEL-PNPB](https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/agricultura-familiar/biodiesel/programa-nacional-de-producao-e-uso-do-biodiesel-pnpb)>. ACESSO EM: 04/2021.
- [11.] BRASIL, 2019. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). DISPONÍVEL EM: <[HTTPS://WWW.GOV.BR/AGRICULTURA/PT-BR/ASSUNTOS/NOTICIAS/MINISTERIO-VAI-INSERIR-TODOS-OS-AGRICULTORES-FAMILIARES-NO-SELO-COMBUSTIVEL-SOCIAL](https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/ministerio-vai-inserir-todos-os-agricultores-familiares-no-selo-combustivel-social)>. ACESSO EM: 05/2021.

- [12.] BRASIL. MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS. COMEXSTAT: PORTAL PARA ACESSO GRATUITO ÀS ESTATÍSTICAS DE COMÉRCIO EXTERIOR DO BRASIL. DISPONÍVEL EM: <[HTTP://COMEXSTAT.MDIC.GOV.BR/PT/GERAL](http://comexstat.mdic.gov.br/pt/geral)>. ACESSO EM: 07/2021.
- [13.] BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME) / EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA(EPE), 2019. ANÁLISE DE CONJUNTURA DOS BIOCOMBUSTÍVEIS ANO 2018. DISPONÍVEL EM: <[HTTPS://WWW.EPE.GOV.BR/PT/PUBLICACOES-DADOS-ABERTOS/PUBLICACOES/ANALISE-DE-CONJUNTURA-DOS-BIOCOMBUSTIVEIS](https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/analise-de-conjuntura-dos-biocombustiveis)>. ACESSO EM: 07/2021.
- [14.] BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME) / EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA(EPE), 2018. PLANO NACIONAL DE ENERGIA: POTENCIAL DOS RECURSOS ENERGÉTICOS NO HORIZONTE 2050. DISPONÍVEL EM: <[HTTPS://WWW.EPE.GOV.BR/PT/PUBLICACOES-DADOS-ABERTOS/PUBLICACOES/PLANO-NACIONAL-DE-ENERGIA-2050](https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-nacional-de-energia-2050)>. ACESSO EM: 07/2021.
- [15.] BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME) / EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE), 2018. PLANO DECENAL DE EXPANSÃO DE ENERGIA 2027. DISPONÍVEL EM: <[HTTPS://WWW.EPE.GOV.BR/PT/PUBLICACOES-DADOS-ABERTOS/PUBLICACOES/PLANO-DECENAL-DE-EXPANSAO-DE-ENERGIA-PDE](https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-pde)>. ACESSO EM: 07/2021.
- [16.] BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME) / EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA(EPE), 2020. NT PR 009-2018: PREMISSAS E CUSTOS DA OFERTA DE COMBUSTÍVEIS NO HORIZONTE 2050. DISPONÍVEL EM: <[HTTPS://WWW.EPE.GOV.BR/](https://www.epe.gov.br/)>. ACESSO EM: 07/2021.
- [17.] BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME), 2007. PLANO NACIONAL DE ENERGIA 2030: COMBUSTÍVEIS LÍQUIDOS. DISPONÍVEL EM: <[HTTPS://WWW.EPE.GOV.BR/PT/PUBLICACOES-DADOS-ABERTOS/PUBLICACOES/PLANO-NACIONAL-DE-ENERGIA-PNE-2030](https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-nacional-de-energia-pne-2030)>. ACESSO EM: 07/2021
- [18.] BRITISH PETROLEUM (BP), 2019. STATISTICAL REVIEW OF WORLD ENERGY 2019. DISPONÍVEL EM: <[HTTPS://WWW.BP.COM/STATISTICALREVIEW](https://www.bp.com/statisticalreview)>. ACESSO EM: 04/2021.
- [19.] CANSINO, J.M. ET AL. PROMOTION OF BIOFUEL CONSUMPTION IN THE TRANSPORT SECTOR: AN EU-27 PERSPECTIVE. RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS 16 (2012) 6013–6021 [HTTP://DX.DOI.ORG/10.1016/J.RSER.2012.06.011](http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.06.011)
- [20.] CASTELLS, MANUEL. A SOCIEDADE EM REDE: VOLUME I. 8ª EDIÇÃO. LOCAL DE PUBLICAÇÃO: PAZ E TERRA SA, 2000.
- [21.] CONFEDERAÇÃO NACIONAL DAS SEGURADORAS (CNSEG), 2015. DISPONÍVEL EM: <[HTTP://SUSTENTABILIDADE.CNSEG.ORG.BR/?PAGE\\_ID=1528](http://sustentabilidade.cnseg.org.br/?page_id=1528)>. ACESSO EM: 04/2021.

- [22.] CONSELHO EMPRESARIAL BRASILEIRO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (CEBDS), 2018. DISPONÍVEL EM: <[HTTPS://CEBDS.ORG/ACORDO-DE-PARIS-E-NDC-BRASILEIRA/#.YIQ1cVXPY02](https://cebds.org/acordo-de-paris-e-ndc-brasileira/#.YIQ1cVXPY02)>. ACESSO EM: 04/2021
- [23.] DA SILVA, ODILON RENY RIBEIRO FERREIRA ET AL., 2009. ALGODÃO EM PLUMA. 1ª ED. BRASÍLIA, DF: EMBRAPA INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA, 2009. DISPONÍVEL EM: <[HTTPS://AINFO.CNPITIA.EMBRAPA.BR/DIGITAL/BITSTREAM/ITEM/55498/1/AGROIND-FAM-ALGODAO-EM-PLUMA-1-ED01-2009.PDF](https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/55498/1/AGROIND-FAM-ALGODAO-EM-PLUMA-1-ED01-2009.pdf)>. ACESSO EM: 07/2021.
- [24.] DE SOUZA, V.H.A.; DOS SANTOS, L.T.; CAMPOS, A.F.; CAROLINO, J.; ANÁLISE DO PROGRAMA NACIONAL DE PRODUÇÃO E USO DO BIODIESEL (PNPB): RESULTADOS E CRÍTICAS. REVISTA DE ADMINISTRAÇÃO GERAL, v.1, n.1, p.23 – 41. 2015.
- [25.] DELIVAND, M. KAMI; GNANSOUNOU, E.; 2013. LIFE CYCLE ENVIRONMENTAL IMPACTS OF A PROSPECTIVE PALM-BASED BIOREFINERY IN PARÁ STATE-BRAZIL. BIORESOURCE TECHNOLOGY 150 (2013) 438–446.
- [26.] DIRECTIVE 2001/77/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL OF 27 SEPTEMBER 2001 ON THE PROMOTION OF ELECTRICITY PRODUCED FROM RENEWABLE ENERGY SOURCES IN THE INTERNAL ELECTRICITY MARKET (2001). OFFICIAL JOURNAL.
- [27.] DIRECTIVE 2003/30/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL OF 8 MAY 2003 ON THE PROMOTION OF THE USE OF BIOFUELS OR OTHER RENEWABLE FUELS FOR TRANSPORT, BRUSSELS (2003). OFFICIAL JOURNAL.
- [28.] DIRECTIVE 2009/28/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL OF 23 APRIL 2009 ON THE PROMOTION OF THE USE OF ENERGY FROM RENEWABLE SOURCES AND AMENDING AND SUBSEQUENTLY REPEALING DIRECTIVES 2001/77/EC AND 2003/30/EC, (2009). OFFICIAL JOURNAL.
- [29.] ELKINGTON, JOHN (2004). TBL. CHAPTER 1: ENTER THE TRIPLE BOTTOM LINE. DISPONÍVEL EM: <[WWW.JOHNELKINGTON.COM](http://www.johnelkington.com)>. ACESSO EM: 04/2021.
- [30.] EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE ALGODÃO (EMBRAPA ALGODÃO), 2008. OLEAGINOSAS E SEUS ÓLEOS: VANTAGENS E DESVANTAGENS PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL. 1ª EDIÇÃO. CAMPINA GRANDE, PB. 2008.
- [31.] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE), 2019. ANÁLISE DE CONJUNTURA DOS BIOCOMBUSTÍVEIS ANO 2018. DISPONÍVEL EM: <[WWW.EPE.GOV.BR](http://www.epe.gov.br)>. ACESSO EM: 04/2021.
- [32.] ESTEVES ET AL, V.P.P., 2017. ASSESSMENT OF GREENHOUSE GASES (GHG) EMISSIONS FROM THE TALLOW BIODIESEL PRODUCTION CHAIN INCLUDING LAND USE CHANGE (LUC). JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION 151 (2017) 578-591.

- [33.] ESTEVES, E.M.M. ET AL 2018. GREENHOUSE GAS EMISSIONS RELATED TO BIODIESEL FROM TRADITIONAL SOYBEAN FARMING COMPARED TO INTEGRATED CROP-LIVESTOCK SYSTEMS. JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION 179 (2018) 81 E 92
- [34.] ESTEVES, V. P. P. ET AL 2016. LAND USE CHANGE (LUC) ANALYSIS AND LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA) OF BRAZILIAN SOYBEAN BIODIESEL. CLEAN TECHN ENVIRON POLICY (2016) 18:1655–1673.
- [35.] EUROSERVER, 2019. 19TH EUROSERVER REPORT: THE STATE OF RENEWABLE ENERGIES IN EUROPE EDITION 2019. DISPONÍVEL EM: <[HTTPS://WWW.EUROSERVER.ORG/19TH-ANNUAL-OVERVIEW-BAROMETER/](https://www.euroserver.org/19th-annual-overview-barometer/)>. ACESSO EM: 06/2021.
- [36.] FERREIRA, KELLISON (2019). TRIPLE BOTTOM LINE (TRIPÉ DA SUSTENTABILIDADE): COMO UNIR PLANETA, PESSOAS E LUCRO NA GESTÃO EMPRESARIAL. DISPONÍVEL EM: <[HTTPS://ROCKCONTENT.COM/BR/BLOG/TRIPLE-BOTTOM-LINE/](https://rockcontent.com/br/blog/triple-bottom-line/)>. ACESSO EM: 05/2021.
- [37.] FLORINDO TJ, MEDEROS GIB, RUIVARO CF, COSTA JS, 2015. AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO CICLO DE VIDA. NATUREZA ON LINE 13 (5): 211-219.
- [38.] FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO), 2016. SMALL-SCALE BIODIESEL PRODUCTION AS AN ALTERNATIVE FOR AGRO-INDUSTRIAL DIVERSIFICATION: THE BRAZILIAN EXPERIENCE. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. ROME, 2016
- [39.] FOREIGN AGRICULTURAL SERVICE/US DEPARTMENT OF AGRICULTURE (FAS/USDA), 2019. GLOBAL AGRICULTURAL INFORMATION NETWORK (GAIN) REPORT: EU BIOFUELS ANNUAL 2019. DISPONÍVEL EM: <[HTTPS://WWW.FAS.USDA.GOV/](https://www.fas.usda.gov/)>. ACESSO EM: 06/2021.
- [40.] FOREIGN AGRICULTURAL SERVICE/US DEPARTMENT OF AGRICULTURE (FAS/USDA), 2020. GLOBAL AGRICULTURAL INFORMATION NETWORK (GAIN) REPORT: BIOFUELS ANNUAL, BEIJING, CHINA. DISPONÍVEL EM: <[HTTPS://WWW.FAS.USDA.GOV/](https://www.fas.usda.gov/)>. ACESSO EM: 07/2021.
- [41.] H. SCOTT MATTHEWS, CHRIS T. HENDRICKSON, AND DEANNA MATTHEWS, 2014. IN: LIFE CYCLE ASSESSMENT: QUANTITATIVE APPROACHES FOR DECISIONS THAT MATTER. OPEN ACCESS TEXTBOOK, RETRIEVED FROM [HTTPS://WWW.LCATEXTBOOK.COM/](https://www.lcatextbook.com/).
- [42.] INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC), 2019. SUMMARY FOR POLICYMAKERS. IN: IPCC SPECIAL REPORT ON THE OCEAN AND CRYOSPHERE IN A CHANGING CLIMATE [H.-O. PÖRTNER, D.C. ROBERTS, V. MASSON-DELMOTTE, P. ZHAI, M. TIGNOR, E. POLOCZANSKA, K. MINTENBECK, A. ALEGRÍA, M. NICOLAI, A. OKEM, J. PETZOLD, B. RAMA, N.M. WEYER (EDS.)]. IN PRESS.
- [43.] INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). DISPONÍVEL EM: <[HTTPS://WWW.IPCC.CH](https://www.ipcc.ch)>. ACESSO EM: 04/2021

- [44.] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA), 2018. BIOENERGY. DISPONÍVEL EM: <[HTTPS://WWW.IEA.ORG/FUELS-AND-TECHNOLOGIES/BIOENERGY](https://www.iea.org/fuels-and-technologies/bioenergy)>. ACESSO EM: 05/2021.
- [45.] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA), 2019. RENEWABLES 2019: ANALYSIS AND FORECAST TO 2024. DISPONÍVEL EM: <[HTTPS://WWW.IEA.ORG/REPORTS/RENEWABLES-2019](https://www.iea.org/reports/renewables-2019)>. ACESSO EM: 05/2021.
- [46.] KNOTHE, G. ET AL. MANUAL DE BIODIESEL. 1ª ED. EDITORA BLUCHER, 2006.
- [47.] LAVIOLA, B. G., ALVES, A. A., 2011. NOVAS E BOAS FONTES PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL. IN: RENERGY: ANUÁRIO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS 2011. SÃO PAULO: INFORMA ECONOMICS FNP, 2011. DISPONÍVEL EM: <[HTTP://WWW.ALICE.CNPITIA.EMBRAPA.BR/ALICE/HANDLE/DOC/912045](http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/912045)>. ACESSO EM: 07/2021.
- [48.] MENEZES, JEANE DENISE DE SOUZA ET AL, 2019. BIOCOMBUSTÍVEIS: PERSPECTIVAS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. 1. ED. – ARACAJU - SE: CRIAÇÃO EDITORA. BRASIL, 2019
- [49.] MIKHAILOVA, IRINA (2004). SUSTENTABILIDADE: EVOLUÇÃO DOS CONCEITOS TEÓRICOS E OS PROBLEMAS DA MENSURAÇÃO PRÁTICA. REVISTA ECONOMIA E DESENVOLVIMENTO, N° 16, 2004. DOI: [HTTPS://DOI.ORG/10.5902/RED.V0I16.3442](https://doi.org/10.5902/red.v0i16.3442)
- [50.] MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME), 2021. DISPONÍVEL EM: <[HTTPS://WWW.GOV.BR/MME/PT-BR/ASSUNTOS/SECRETARIAS/PETROLEO-GAS-NATURAL-E-BIOCOMBUSTIVEIS/BIODIESEL/SOBRE-O-PNPB/SOBRE-O-PNPB](https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/biodiesel/sobre-o-pnpb/sobre-o-pnpb)>. ACESSO EM: 05/2021.
- [51.] MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO (MDA), 2019. PROGRAMA NACIONAL DE PRODUÇÃO E USO DE BIODIESEL - INCLUSÃO SOCIAL E DESENVOLVIMENTO TERRITORIAL. DISPONÍVEL EM: <[HTTPS://WWW.GOV.BR/AGRICULTURA/PT-BR/ASSUNTOS/AGRICULTURA-FAMILIAR/BIODIESEL/ARQUIVOS](https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/agricultura-familiar/biodiesel/arquivos)> ACESSO EM: 05/2021
- [52.] MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). DISPONÍVEL EM: <[HTTPS://ANTIGO.MMA.GOV.BR/CLIMA/CONVENCAO-DAS-NACOES-UNIDAS.HTML](https://antigo.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas.html)>. ACESSO EM: 04/2021
- [53.] MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). DISPONÍVEL EM: <[HTTPS://ANTIGO.MMA.GOV.BR/CLIMA/CONVENCAO-DAS-NACOES-UNIDAS/PROTOCOLO-DE-QUIOTO.HTML](https://antigo.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/protocolo-de-quioto.html)>. ACESSO EM: 04/2021
- [54.] MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). DISPONÍVEL EM: <[HTTPS://ANTIGO.MMA.GOV.BR/CLIMA/CONVENCAO-DAS-NACOES-UNIDAS/CONFERENCIA-DAS-PARTES.HTML](https://antigo.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/conferencia-das-partes.html)>. ACESSO EM: 04/2021

- [55.] MOECKE, E.H.S. ET AL 2016. BIODIESEL PRODUCTION FROM WASTE COOKING OIL FOR USE AS FUEL IN ARTISANAL FISHING BOATS: INTEGRATING ENVIRONMENTAL, ECONOMIC AND SOCIAL ASPECTS. JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION 135 (2016) 679E688
- [56.] MONTEIRO, K. F. G. ET. AL. SUSTENTABILIDADE E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM SISTEMAS PRODUTIVOS FAMILIARES INTEGRADOS COM PALMA DE ÓLEO NO ESTADO DO PARÁ. IN: ANAIS DO 51º CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL (SOBER). BELÉM (PA): SOBER, 2013.
- [57.] MOTA, CLAUDIO J. A., DA SILVA, CAROLINA X. A., GONÇALVES, VALTER L. C., 2009. ANÁLISE GLICEROQUÍMICA: NOVOS PRODUTOS E PROCESSOS A PARTIR DA GLICERINA DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL. QUIM. NOVA, VOL. 32, No. 3, 639-648, 2009.
- [58.] NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA), 2016. FOUR GRAPHICS (AND A BOOK) THAT HELP EXPLAIN CLIMATE CHANGE. DISPONÍVEL EM: [HTTPS://EARTH OBSERVATORY.NASA.GOV/BLOGS/EARTH MATTERS](https://earthobservatory.nasa.gov/blogs/earthmatters). ACESSO EM: 04/2021.
- [59.] NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA), 2020. RELEASE 20-003. DISPONÍVEL EM: <[HTTPS://WWW.NASA.GOV/PRESS-RELEASE/NASA-NOAA-ANALYSES-REVEAL-2019-SECOND-WARMEST-YEAR-ON-RECORD](https://www.nasa.gov/press-release/nasa-noaa-analyses-reveal-2019-second-warmest-year-on-record)>. ACESSO EM: 04/2021
- [60.] ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD), 2017. "BIOFUELS", IN OECD-FAO AGRICULTURAL OUTLOOK 2017-2026, OECD PUBLISHING, PARIS, [HTTPS://DOI.ORG/10.1787/AGR\\_OUTLOOK-2017-13-EN](https://doi.org/10.1787/AGR_OUTLOOK-2017-13-EN).
- [61.] ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD)/ FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO), 2020. OECD-FAO AGRICULTURAL OUTLOOK 2020-2029, FAO, ROME/OECD PUBLISHING, PARIS, [HTTPS://DOI.ORG/10.1787/1112C23B-EN](https://doi.org/10.1787/1112c23b-en).
- [62.] ORGANIZATION OF THE PETROLEUM EXPORTING COUNTRIES (OPEC), 2019. ANNUAL STATISTICAL BULLETIN 2019. DISPONÍVEL EM: <[HTTPS://WWW.OPEC.ORG](https://www.opec.org)>. ACESSO EM: 04/2021.
- [63.] ORGANIZATION OF THE PETROLEUM EXPORTING COUNTRIES (OPEC), 2019. WORLD OIL OUTLOOK 2040. DISPONÍVEL EM: <[HTTPS://WWW.OPEC.ORG](https://www.opec.org)>. ACESSO EM: 04/2021.
- [64.] OUR WORLD IN DATA. DISPONÍVEL EM: <[HTTPS://OURWORLDINDATA.ORG/EXPLORERS/ENERGY](https://ourworldindata.org/explorers/energy)>. ACESSO EM: 04/2021.
- [65.] P.R. SHUKLA, J. SKEA, R. SLADE, R. VAN DIEMEN, E. HAUGHEY, J. MALLEY, M. PATHAK, J. PORTUGAL PEREIRA (EDS.) TECHNICAL SUMMARY, 2019. IN: CLIMATE CHANGE AND LAND: AN IPCC SPECIAL REPORT ON CLIMATE CHANGE, DESERTIFICATION, LAND DEGRADATION, SUSTAINABLE LAND MANAGEMENT, FOOD SECURITY, AND GREENHOUSE GAS FLUXES IN TERRESTRIAL ECOSYSTEMS [P.R. SHUKLA, J. SKEA, E. CALVO BUENDIA, V. MASSON-DELMOTTE,

H.-O. PÖRTNER, D. C. ROBERTS, P. ZHAI, R. SLADE, S. CONNORS, R. VAN DIEMEN, M. FERRAT, E. HAUGHEY, S. LUZ, S. NEOGI, M. PATHAK, J. PETZOLD, J. PORTUGAL PEREIRA, P. VYAS, E. HUNTLEY, K. KISSICK, M. BELKACEMI, J. MALLEY, (EDS.)]. IN PRESS.

[66.] PETRY, PAOLA. AVALIAÇÃO DO PROGRAMA NACIONAL DE PRODUÇÃO E USO DO BIODIESEL (PNPB): AVANÇOS E DESAFIOS EM ONZE ANOS DE MISTURA COMPULSÓRIA. 2020. 121F. DISSERTAÇÃO (MESTRADO EM CIÊNCIAS) – PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, SÃO PAULO, 2020.

[67.] QUEIROZ, A.G.; FRANÇA, L.; PONTE, M.X.; 2012. THE LIFE CYCLE ASSESSMENT OF BIODIESEL FROM PALM OIL (“DENDÊ”) IN THE AMAZON. BIOMASS AND BIOENERGY 36 (2012), 50-59.

[68.] RODRIGUES, JOSÉ AUGUSTO R., 2011. DO ENGENHO À BIORREFINARIA. A USINA DE AÇÚCAR COMO EMPREENDIMENTO INDUSTRIAL PARA A GERAÇÃO DE PRODUTOS BIOQUÍMICOS E BIOCOMBUSTÍVEIS. QUIM. NOVA, VOL. 34, No. 7, 1242-1254, 2011

[69.] SÃO PAULO (ESTADO). SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE. ENTENDENDO O MEIO AMBIENTE / COORDENAÇÃO GERAL DO SECRETÁRIO DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE DE SÃO PAULO FABIO FELDMANN. - - SÃO PAULO: SMA, 1997.

[70.] SIST-TP ISO/TR 14047:2008 - ENVIRONMENTAL MANAGEMENT - LIFE CYCLE IMPACT ASSESSMENT - EXAMPLES OF APPLICATION OF ISO 14042. DISPONÍVEL EM: <[HTTPS://STANDARDS.ITEH.AI/CATALOG/STANDARDS/SIST/3B195AFA-11DC-45CE-A97E-73CE299F41E4/ISO-TR-14047-2003](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/3b195afa-11dc-45ce-a97e-73ce299f41e4/iso-tr-14047-2003)>. ACESSO EM: 01/2021

[71.] SOUZA, SIMONE PEREIRA; DE ÁVILA, MÁRCIO TURRA; PACCA, SÉRGIO; 2012. LIFE CYCLE ASSESSMENT OF SUGARCANE ETHANOL AND PALM OIL BIODIESEL JOINT PRODUCTION. BIOMASS AND BIOENERGY 44 (2012) 70 E 79.

[72.] U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA), 2018. BIODIESELS PRODUCED FROM CERTAIN FEEDSTOCKS HAVE DISTINCT PROPERTIES FROM PETROLEUM DIESEL. DISPONÍVEL EM: <[HTTPS://WWW.EIA.GOV/TODAYINENERGY/DETAIL.PHP?ID=36052#](https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=36052#)>. ACESSO EM: 07/2021.

[73.] U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA), 2021. U.S. IMPORTS OF BIOMASS-BASED DIESEL INCREASED 12% IN 2020. DISPONÍVEL EM: <[HTTPS://WWW.EIA.GOV/TODAYINENERGY/DETAIL.PHP?ID=47816](https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=47816)>. ACESSO EM: 07/2021.

[74.] U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA), 2021. DISPONÍVEL EM: <[HTTPS://WWW.EPA.GOV/RENEWABLE-FUEL-STANDARD-PROGRAM](https://www.epa.gov/renewable-fuel-standard-program)>. ACESSO EM: 06/2021.

[75.] U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA), 2021. RENEWABLE FUEL ANNUAL STANDARDS. DISPONÍVEL EM: <[HTTPS://WWW.EPA.GOV/RENEWABLE-FUEL-STANDARD-PROGRAM/RENEWABLE-FUEL-ANNUAL-STANDARDS](https://www.epa.gov/renewable-fuel-standard-program/renewable-fuel-annual-standards)>. ACESSO EM: 06/2021.

- [76.] UNIÃO BRASILEIRA DO BIODIESEL E BIOQUEROSENE (UBRABIO), 2020. DISPONÍVEL EM: <[HTTPS://UBRABIO.COM.BR/PNPB/](https://ubrabet.com.br/pnpb/)>. ACESSO EM: 05/2021.
- [77.] UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP); SUSTAINABILITY, 1994. COMPANY ENVIRONMENTAL REPORTING: A MEASURE OF THE PROGRESS OF BUSINESS & INDUSTRY TOWARDS SUSTAINABLE DEVELOPMENT - TECHNICAL REPORT NO. 24. 1ª ED. ISBN 92-807-1413-9
- [78.] ZORTEA, RAFAEL BATISTA; MACIEL, VINÍCIUS GONÇALVES; PASSUELLO, ANA, 2018. SUSTAINABILITY ASSESSMENT OF SOYBEAN PRODUCTION IN SOUTHERN BRAZIL: A LIFE CYCLE APPROACH. SUSTAINABLE PRODUCTION AND CONSUMPTION 13 (2018), 102-112.