

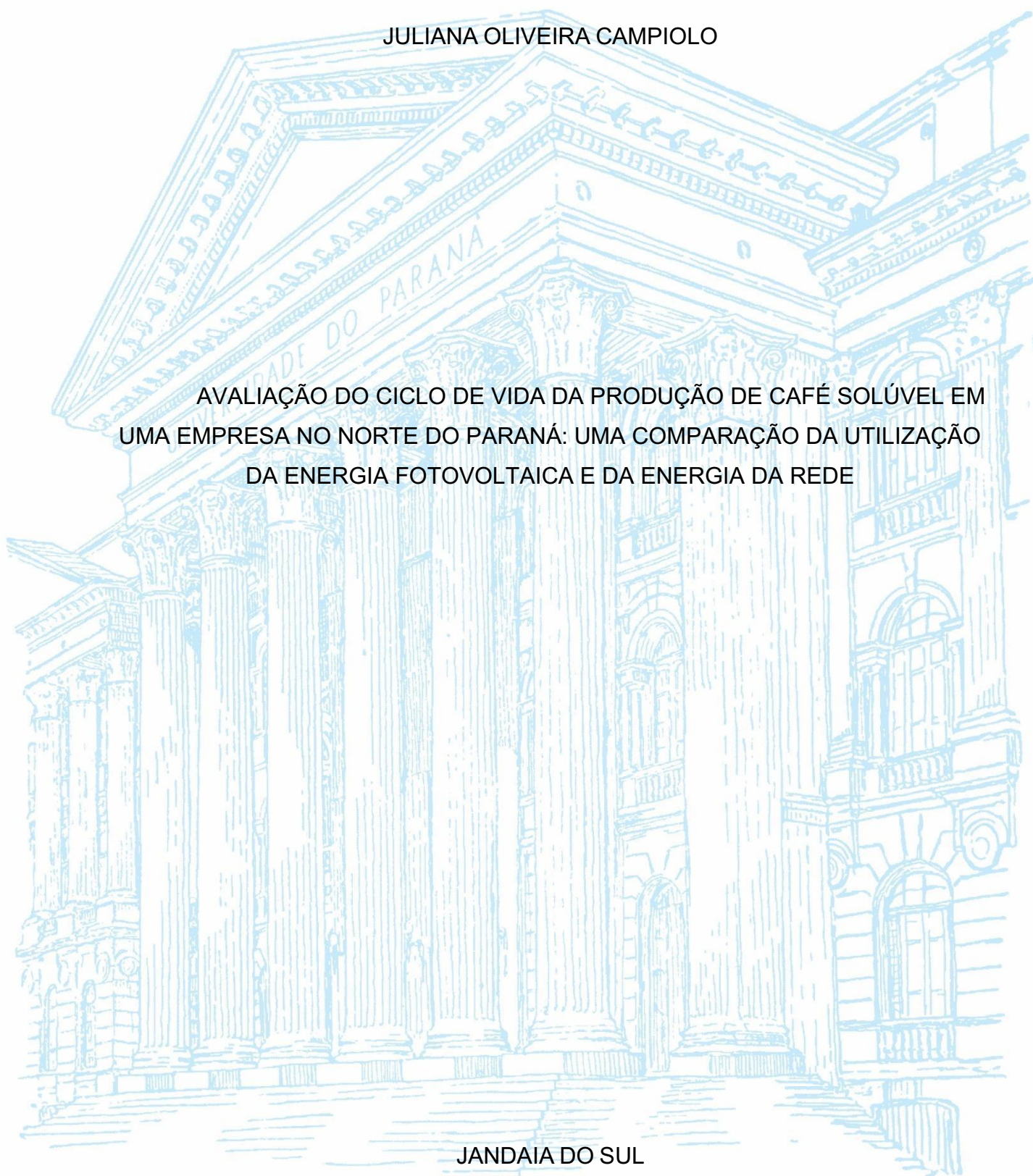
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JULIANA OLIVEIRA CAMPIOLO

AValiação do ciclo de vida da produção de café solúvel em
uma empresa no norte do Paraná: uma comparação da utilização
da energia fotovoltaica e da energia da rede

JANDAIA DO SUL

2022



JULIANA OLIVEIRA CAMPIOLO

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DA PRODUÇÃO DE CAFÉ SOLÚVEL EM
UMA EMPRESA NO NORTE DO PARANÁ: UMA COMPARAÇÃO DA UTILIZAÇÃO
DA ENERGIA FOTOVOLTAICA E DA ENERGIA DA REDE

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado ao curso de Graduação em Engenharia de Produção, Campus Jandaia do Sul, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Giancarlo Alfonso Lovón
Canchumani

JANDAIA DO SUL

2022

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA JANDAIA DO SUL

Campiole, Juliana Oliveira

Avaliação do ciclo de vida da produção de café solúvel em uma empresa no norte do Paraná: uma comparação da utilização da energia fotovoltaica e da energia da rede. / Juliana Oliveira Campiole.

– Jandaia do Sul, 2022.

1 recurso on-line : PDF.

Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Paraná,
Campus Jandaia do Sul, Graduação em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Giancarlo Alfonso Lovón Canchumani.

1. Análise de Ciclo de Vida. 2. Sustentabilidade. 3. Energia solar.
4. Fotovoltaica. 5. Impactos ambientais. 6. Efeito estufa. I. Canchumani,
Giancarlo Alfonso Lovón. II. Universidade Federal do Paraná. III.
Título.

CDD 658.4



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

PARECER Nº 75 - JULIANA OLIVEIRA CAMPIOLO/2022/UFPR/R/JA/CCEP
PROCESSO Nº 23075.079917/2019-87
INTERESSADO: JULIANA OLIVEIRA CAMPIOLO

TERMO DE APROVAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Título: AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DA PRODUÇÃO DE CAFÉ SOLÚVEL EM UMA EMPRESA NO NORTE DO PARANÁ: UMA COMPARAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DA ENERGIA FOTOVOLTAICA E DA ENERGIA DA REDE

Autor (a): JULIANA OLIVEIRA CAMPIOLO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do grau no curso de Engenharia de Produção, aprovado pela seguinte banca examinadora.

Dr. Giancarlo Alfonso Lovón Canchumani (Orientador)

Dr. Rafael Germano Dal Molin Filho

Dr. Raimundo Alberto Tostes



Documento assinado eletronicamente por **GIANCARLO ALFONSO LOVON CANCHUMANI, COORDENADOR DO CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUCAO**, em 03/10/2022, às 15:44, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **RAFAEL GERMANO DAL MOLIN FILHO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 03/10/2022, às 15:48, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida [aqui](#) informando o código verificador **4954837** e o código CRC **3349B70B**.

Dedico aos meus pais, por todo incentivo que tive para a conclusão do meu trabalho.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado forças em todos os meus momentos.

Aos meus pais, Evaldo e Rosângela, que sempre me apoiaram e me incentivaram. A eles, dedico todo sucesso das minhas conquistas.

A minha irmã, Fernanda, por todos os grandes momentos juntas, que me ajudaram na construção da pessoa que sou hoje.

Ao meu primo, Guilherme, por todo auxílio e conhecimento compartilhado na execução deste trabalho.

Ao meu orientador Prof. Dr. Giancarlo Alfonso Lovón Canchumani por toda dedicação, ensinamento e paciência.

Aos professores Rafael Germano Dal Molin Filho e Raimundo Alberto Tostes, participantes das bancas de qualificação e defesa, pela disponibilidade e críticas construtivas.

A todos que me ajudaram direta ou indiretamente para a realização de mais uma conquista.

RESUMO

A matriz energética mundial é composta por fontes primárias, dentre as quais os combustíveis fósseis, prevalecem sobre as demais. No entanto, devido ao desenvolvimento tecnológico e industrial, e devido à preocupação ambiental, haverá um aumento na demanda de energia, sendo assim, necessária a busca por outras fontes energéticas. Dentre essas, destaca-se a energia solar fotovoltaica, por possibilitar a geração de energia de forma menos prejudicial ao meio ambiente. O presente trabalho tem como objetivo avaliar o ciclo de vida da produção de café solúvel, comparando o uso da energia da rede com a energia fotovoltaica. A metodologia utilizada foi a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), que tem como finalidade mensurar os impactos ambientais gerados a partir do ciclo de vida de um produto ou processo produtivo, de acordo com as normas ISO 14040 e 14044. Para o trabalho foi utilizado as categorias de impacto referente às emissões de gases do efeito estufa. Dois cenários foram propostos, um referente à utilização de energia de rede e outro referente à energia fotovoltaica. O cenário 1 foi resultado em um total de 37,485 kg CO₂ eq, e o cenário 2, em 36,367 kg CO₂ eq. Feita essa avaliação de impacto, foi possível identificar que os processos que mais geram emissões de gases do efeito estufa são o grão de café verde, que geram maiores impactos no processo de irrigação e na fertilização, e a torrefação, por utilizarem no processamento o gás natural. Ao final da análise identificou-se que a energia fotovoltaica emite menos gases do efeito estufa, sendo ela menos prejudicial ao meio ambiente.

Palavras-chave: Análise de Ciclo de Vida; Sustentabilidade; Energia solar; Fotovoltaica; Impactos ambientais; Efeito estufa.

ABSTRACT

A primary world energy matrix, among which fossil sources prevail over the others. However, to industrial development, and due to the demand for technological innovation, there will be an increase in energy, thus making it necessary to search for other energy sources. Among these, photovoltaic solar energy stands out, as it allows the generation of energy in a less harmful way to the environment. The present work aims to evaluate the life cycle of soluble coffee production, comparing the use of grid energy with photovoltaic energy. The methodology used was the Life Cycle Assessment (LCA), which aims to measure the life cycle of a product or production process, according to ISO 14040 and 14044 standards. For the work it was used as impact categories referring to greenhouse gases. Two scenarios were proposed, a reference to energy from network and other use of photovoltaic energy. Scenario 1 resulted in a total of 37,485 kg CO₂ eq, and scenario 2, in 36,367 kg CO₂ eq. Once this impact is made, it is possible to identify the processes that most aim to optimize the process of stowage of greenhouse gases, which generate the greatest impacts on irrigation processing and fertilization and roasting, through processing in the processing of natural gas. At the end of the analysis, it was identified that photovoltaic energy emits less greenhouse gases, being less harmful to the environment.

Keywords: Life Cycle Analysis. Sustainability. Solar energy. photovoltaic. Environmental impacts. Greenhouse effect.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA	22
FIGURA 2 - ESTÁGIOS DO CICLO DE VIDA DO PRODUTO	28
FIGURA 3 - METODOLOGIA DE EMPREGO DA ACV	29
FIGURA 4 - METODOLOGIA AICV	30
FIGURA 5 - ETAPAS DE ELABORAÇÃO DO CAFÉ	34
FIGURA 6 - ETAPAS PLANEJAMENTO DA PESQUISA	35
FIGURA 7 - PROCEDIMENTOS PARA ANÁLISE DO INVENTÁRIO	37
FIGURA 8 - FLUXOGRAMA DO CICLO DE VIDA DO CAFÉ	42
FIGURA 9 - MODELAGEM EM REDE	45
FIGURA 10 - AICV GRÃO DE CAFÉ VERDE	46
FIGURA 11 - AICV PELO MÉTODO DO IPCC REFERENTE À UTILIZAÇÃO DE ENERGIA DA REDE	48
FIGURA 12 - ÁREA DELIMITADA DA AICV PELO MÉTODO DO IPCC REFERENTE À UTILIZAÇÃO DA ENERGIA FOTOVOLTAICA	49
FIGURA 13 - AICV PELO MÉTODO DO IPCC REFERENTE À UTILIZAÇÃO DA ENERGIA FOTOVOLTAICA	51
FIGURA 14 - ÁREA DELIMITADA DA AICV PELO MÉTODO DO IPCC REFERENTE À UTILIZAÇÃO DA ENERGIA FOTOVOLTAICA	52
FIGURA 15 - COMPARAÇÃO DA ENERGIA DE REDE COM A ENERGIA FOTOVOLTAICA	54

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - METODOLOGIA IPCC	30
QUADRO 2 - METODOLOGIAS PARA AICV DISPONÍVEIS NO SIMAPRO®.....	31
QUADRO 3 - INVENTÁRIO GRÃO DE CAFÉ VERDE ARÁBICA	38
QUADRO 4 - ENTRADAS E SAÍDAS ELABORAÇÃO DO CAFÉ.....	43

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL PARA ALGUNS GEE DE ACORDO COM O CO2.....	18
TABELA 2 - CATEGORIAS DE IMPACTO REFERENTE À UTILIZAÇÃO DA ENERGIA DE REDE.....	49
TABELA 3 - CATEGORIAS DE IMPACTO REFERENTE À UTILIZAÇÃO DA ENERGIA FOTOVOLTAICA.....	53

LISTA DE SIGLAS

ABIC - Associação Brasileira da Indústria de Café
ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV - Avaliação do Ciclo de Vida
AICV - Avaliação do Inventário do Ciclo de Vida
ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica
ASG - Ambiental, Social e Governança
BNDS - Banco Nacional de Desenvolvimento
COP - Conferência das Nações Unidas
DS - Desenvolvimento Sustentável
EPE - Empresa de Pesquisa Energética
ESG - *Environmental, Social and Governance*
FR - Forçamento Radioativo
GEE - Gás Efeito Estufa
GHG - *GreenHouse Gases*
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBICT - Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia
IEA - *International Energy Agency*
INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ISO - Organização Internacional de Padronização
MME – Ministério de Minas e Energia
ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OMM - Organização Meteorológica Mundial
ONU - Organizações das Nações Unidas

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	11
1.2 JUSTIFICATIVA	13
1.3 PROBLEMA DE PESQUISA	14
1.4 OBJETIVOS	14
1.4.1 Objetivo Geral	14
1.4.2 Objetivos Específicos	14
1.5 APRESENTAÇÃO DO TRABALHO	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS	16
2.2 O EFEITO ESTUFA	17
2.2.1 Inventário de Emissões	19
2.3 SUSTENTABILIDADE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	20
2.4 ENERGIAS RENOVÁVEIS E NÃO RENOVÁVEIS	21
2.5 ENERGIA SOLAR	22
2.5.1 Sistemas Fotovoltaicos	23
2.5.2 Células Fotovoltaicas	25
2.6 O CAFÉ	25
2.7 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV)	27
2.7.1 <i>Software</i> para análise do Ciclo de Vida	31
3 MÉTODOS DE PESQUISA	33
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	33
3.2 CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE PESQUISA	33
3.2.1 Objeto de pesquisa	33
3.3 PROTOCOLO DA PESQUISA	35
3.3.1 Planejamento da pesquisa	35

3.4 METODOLOGIA ACV	36
3.4.1 Objetivo e escopo.....	36
3.4.2 Inventário.....	37
3.4.3 Coleta de dados	40
3.4.4 Avaliação do impacto do ciclo de vida – AICV	41
3.4.5 Tratamento e interpretação de dados.....	41
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
4.1 DEFINIÇÃO DO ESCOPO	42
4.2 ANÁLISE DO INVENTÁRIO	43
4.3 AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO CICLO DE VIDA – AICV.....	44
4.3.1 Modelagem em rede	44
4.3.2 Método IPCC.....	45
4.3.3 Comparação dos cenários.....	53
5 CONCLUSÃO	55
REFERÊNCIAS.....	57
APÊNDICE 1 - TABELA COLETA DE DADOS.....	63

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O sistema econômico que vivemos a partir da Revolução Industrial acelerou a degradação ambiental (JARDIM, 2006). De acordo com Pinheiro (2010), o principal impacto da crescente atividade fabril - em vigor até hoje - foi o aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera.

O efeito estufa é um fenômeno considerado natural, no qual o planeta retém o calor emitido pelo Sol, ou seja, é responsável por manter as temperaturas médias globais, evitando que haja grande amplitude térmica e permitindo o desenvolvimento de seres vivos. Os gases de efeito estufa, como o gás carbônico e outros gases residuais, formam um filtro na atmosfera, que durante o dia impedem a passagem de certa quantidade de energia solar evitando o superaquecimento da superfície terrestre, e durante a noite retém o calor, mantendo a temperatura em níveis adequados. No entanto, a intervenção humana no meio ambiente através da liberação demasiada de gases de efeito estufa na atmosfera tem potencializado os efeitos desse fenômeno, provocando alterações climáticas do planeta, caracterizadas principalmente pelo aumento da temperatura média na superfície terrestre (DRUMM, 2014).

Com o tempo e o avanço das tecnologias de produção, especialistas perceberam que a utilização de combustíveis fósseis pode aumentar as preocupações ambientais, podendo até esbarrar nos limites de finitude dos recursos naturais (MAY; LUSTOSA; VINHA, 2003).

Assim, devido aos problemas gerados pela exploração incessantes dos recursos naturais, em 1987, a comissão mundial da Organização das Nações Unidas (ONU) sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento apresentou um documento intitulado "Nosso Futuro Comum", onde propõe o conceito de desenvolvimento sustentável como um processo que satisfaça às necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades (BURSZTYN, 2018).

Em 1997, foi instituído o Protocolo de Quioto para controle da emissão de gases de efeito estufa na atmosfera. Seu principal objetivo era reduzir em torno de 5,2% das emissões registradas em 1990, conforme as metas e parâmetros

estabelecidos (OLIVEIRA, 2017). De acordo com Vieira (2021), em 2015, o Acordo de Paris foi o substituto deste protocolo, onde cento e noventa e cinco países e a UE se comprometeram, na Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas (COP21), a deter o aumento da temperatura do planeta abaixo dos 2°C, quando comparado à temperatura média industrial.

Entretanto, apesar do acordo continuar em vigor, a emissão dos gases que causam o efeito estufa, em especial o CO₂, continua crescendo (BURSZTYN, 2001). Devido a esses fatos, em particular o setor industrial, tem se desenvolvido em relação às práticas sustentáveis.

De acordo com Costa (2021), dentro das organizações globalizadas, a sustentabilidade é vista na atualidade, como um fator primordial nas decisões. Desta feita, o tripé encontrado nessas organizações, chamado pela abreviação de ESG (*Environmental, social and Governance*) ou ASG (Ambiente, Social e Governança), para resumir as práticas adotadas, substituiu o fator econômico para o termo governança corporativa.

Em consonância com o parágrafo anterior, o tripé ESG está cada vez mais valorizado e discutido no ambiente corporativo, fazendo as ações de organizações sustentáveis serem mais rentáveis que as de organizações não tão preocupadas com esta questão (FEREZIN, 2021).

Um dos maiores desafios do futuro próximo é obter a quantidade de energia limpa, necessária para tentar conter os efeitos do aquecimento global, reduzir a dependência de combustíveis fósseis e aliviar o impacto econômico da subida dos preços do petróleo. Uma das melhores formas de resolver os problemas anteriores é a utilização de recursos de energia renovável. Neste aspecto, os sistemas de energia solar fotovoltaica desempenham um papel fundamental na geração de eletricidade (BAYOD-RÚJULA *et al*, 2013).

A utilização da energia solar com o uso de painéis fotovoltaicos desenvolvidos com uma análise de viabilidade econômica surge como instrumento fundamental na concepção de um projeto efetivo, sejam eles industriais ou não, antecipando o uso dos recursos naturais e a partir daí proporcionar o desenvolvimento sustentável (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

1.2 JUSTIFICATIVA

Com o mercado atual se preocupando com sustentabilidade e visando a economia, melhorias são feitas corriqueiramente em empresas. Bursztyn (2018, p.43) afirma que: “a sustentabilidade é comumente definida de modo amplo, de forma a abranger crescimento e desenvolvimento econômicos com a conservação ambiental”. Sendo assim, é indispensável que o desenvolvimento sustentável seja visto como uma alternativa de longo prazo, onde os recursos naturais satisfaçam nossas necessidades.

Historicamente é possível observar a predominância do uso de combustíveis fósseis ou minerais nas matrizes energéticas dos países. Esses padrões de produção e consumo têm gerado efeitos ambientais negativos, como a emissão de poluentes locais e gases de efeito estufa, colocando em risco a sustentabilidade e suprimento de longo prazo do planeta (NASCIMENTO; MENDONÇA; CUNHA, 2012).

Em 2015, foi desenvolvido pela Organização das Nações Unidas (ONU) os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, que são um apelo global à ação para acabar com a pobreza, proteger o meio ambiente e o clima. Estes são os objetivos para os quais as Nações Unidas estão contribuindo a fim de que possamos atingir a Agenda 2030 no Brasil. A proposta da Agenda 2030 é ser “um plano de ação para pessoas, para o planeta e para a prosperidade” (ONU, 2015, p. 1), estimulando as ações dos países na busca pelo desenvolvimento sustentável. Assim, são propostos os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que elencam 169 metas universais, cujo avanço é monitorado por 232 indicadores globais.

Dentre todos os objetivos, no presente estudo o destaque é dado ao Objetivo 7 – “Energia limpa e acessível”, onde há o intuito de assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos.

Hoje em dia há um esforço conjunto, direcionado para a defesa das energias limpas, todavia, não apenas como uma alternativa para compor a matriz energética das nações, mas também, como fonte principal de abastecimento elétrico para a humanidade. Isso porque, o uso do petróleo é responsável por dois terços das emissões de gases que provocam o efeito estufa, tendo na indústria e no combustível de veículos automotores seus principais representantes (POMPELLI *et al.*, 2011).

De acordo com Nascimento, Mendonça e Cunha (2012), esse raciocínio tem levado a sociedade e empresas a um maior comprometimento em questões relacionadas à sustentabilidade, em busca de um novo formato de desenvolvimento.

Os fatores para a realização deste estudo referem-se à auxiliar a empresa na análise de questões sustentáveis, analisando os impactos ambientais gerados na produção de café solúvel através da ACV, utilizando a energia elétrica comparados com a energia fotovoltaica, com enfoque nas emissões de gases do efeito estufa relacionadas às diversas etapas de produção e subsidiar a conservação ambiental.

Aplicando a ACV, é possível ter uma estimativa precisa dos impactos ambientais, proporcionando assim, uma base sólida para identificar sua magnitude em uma determinada produção. As avaliações de diferentes alternativas podem formar uma comparação de estratégias de projeto, alternativas e ideias para proporcionar melhorias ambientais (OCHSENDORF *et al.*, 2011). Dando assim, suporte às indústrias na tomada de decisão quanto ao investimento em novas tecnologias voltadas para a preservação ambiental.

1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

De acordo com o IEA (2020), as indústrias são o segundo setor com maior representatividade de níveis de emissão de CO₂, perdendo apenas para os meios de transportes. Pensando nisso, o estudo visa analisar: quais os impactos ambientais gerados na produção de café solúvel, utilizando a energia elétrica comparados com a energia fotovoltaica? E apontar caminhos para a redução dos impactos ambientais, através da energia solar, promovendo também, uma redução de custos.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o ciclo de vida da produção de café solúvel, comparando o uso da energia da rede com a energia fotovoltaica.

1.4.2 Objetivos Específicos

Os principais objetivos específicos do presente trabalho são:

- Elaborar o inventário do ciclo de vida da produção de café solúvel;
- Realizar uma avaliação ambiental de uma empresa do setor de café com base na avaliação do ciclo de vida para identificar as emissões de gases do efeito estufa;
- Comparar a energia de rede com a energia solar em uma empresa do setor de café no norte do Paraná.

1.5 APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

Este estudo está dividido em quatro capítulos, conforme descrito abaixo:

No Capítulo I foi apresentada uma introdução sobre o tema de estudo, a justificativa e os objetivos gerais e específicos estabelecidos para o desenvolvimento desta monografia.

No Capítulo II foi abordado o referencial teórico, onde são tratadas as questões que possuem ligação com o tema do trabalho, nas quais a ferramenta fonte de estudo tem alguma influência ou das quais sofre influência.

No Capítulo III foi apresentada a metodologia utilizada neste trabalho, sendo percorrido sobre cada fase executada atingindo os objetivos propostos inicialmente.

O Capítulo IV foi apresentado resultados, apresentando um comparativo entre os sistemas abordados na monografia.

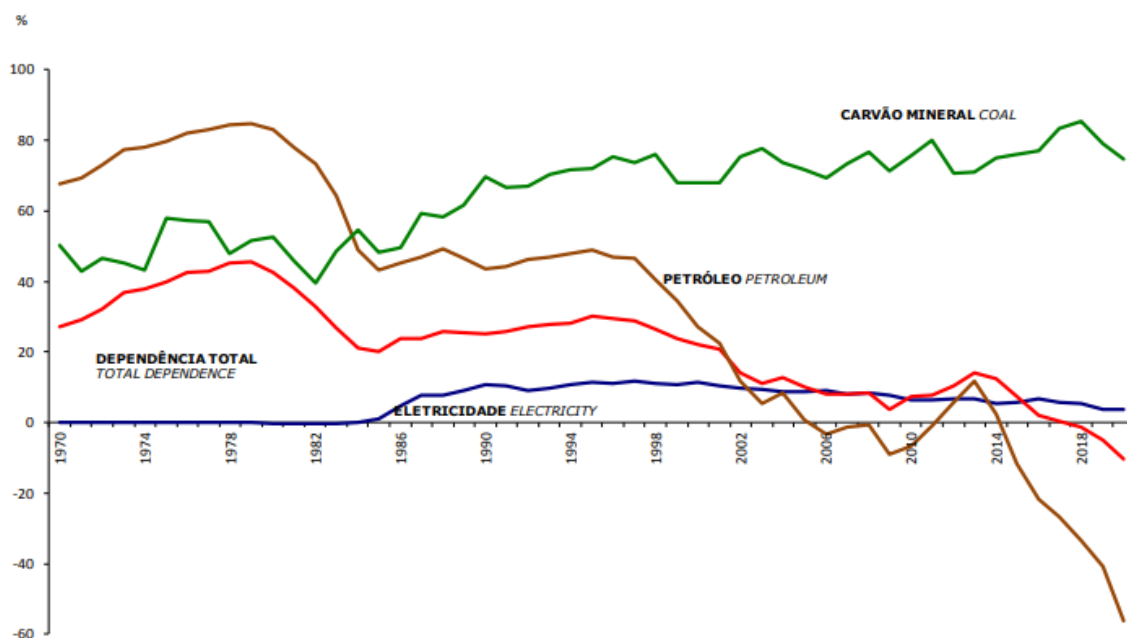
Por fim, no Capítulo V foram apresentadas as considerações finais a respeito do trabalho, e ideias complementares para um trabalho futuro.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Rocha *et al.* (2013, p. 1549), enfatizam que as mudanças climáticas estão diretamente ligadas ao petróleo e gás, e que os combustíveis fósseis são um ponto central na discussão entre recursos energéticos, desenvolvimento e impactos ambientais. Observa-se no GRÁFICO 1 a dependência energética total brasileira.

GRÁFICO 1 - DEPENDÊNCIA ENERGÉTICA BRASILEIRA



Fonte: Balanço Energético Nacional (2020)

Comparando-se os anos de 1998 e 2008, representados no GRÁFICO 1, nota-se o crescimento da participação do carvão mineral, e uma queda na participação da energia hidráulica e do petróleo.

Tais números revelam a profunda dependência por combustíveis fósseis, por esse motivo, esforços com o intuito de mitigar as emissões de gases de efeito estufa levaram a uma maior atenção e apoio às políticas de energias renováveis na última década (TORRES, 2018, p.33).

Camioto (2010) relata que, apesar das fontes renováveis se destacarem como as mais cotadas na substituição das fontes fósseis, esta seria uma condição

necessária, mas não suficiente, para atenuar a mudança climática, pois são necessárias mudanças na infraestrutura, na tecnologia e na economia dos países (BELINI, 2006).

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) foi criado em 1988 pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), para avaliar toda e qualquer informação científica sobre as alterações climáticas, e apontar suas causas, efeitos e riscos para a humanidade e o meio ambiente. O painel destaca quais os principais impactos ambientais, e como atenuar as consequências deles. No 4º Relatório de Avaliação, por exemplo, o IPCC concluiu que as provas do aquecimento do sistema climático global são “inequívocas” e constatou um nível de confiança maior que 90% de que haverá mais derretimento glacial, ondas de calor e chuvas torrenciais (IPCC, 2007a: p.5; e 2007b).

Nesse contexto, fazer a substituição de energias para opções com menos emissões de dióxido de carbono, é indispensável para reduzir riscos de mudança climática (BORBA; GASPER, 2010, p.60).

2.2 O EFEITO ESTUFA

Segundo Moreira (2007 apud SILVA, 2015), o gás de efeito estufa de maior importância é o dióxido de carbono que é o principal composto resultante da combustão completa de combustíveis. Quando em grande quantidade, o gás carbônico e outros poluentes acabam formando um filtro na atmosfera, durante o dia a Terra é aquecida pelo sol e à noite perde o calor armazenado tendo, por consequência, uma redução de temperatura. Entretanto, com a camada de poluentes presentes, o calor fica retido na Terra, provocando um aumento na temperatura média (MOREIRA, 2007).

As emissões globais de dióxido de carbono relacionadas à energia aumentaram 6% em 2021, para 36,3 bilhões de toneladas, seu nível mais alto de todos os tempos, à medida que a economia mundial se recuperou fortemente da crise do Covid-19 e dependia fortemente do carvão para impulsionar esse crescimento (IEA, 2021). O aumento das emissões globais de CO₂ de mais de 2 bilhões de toneladas foi o maior da história em termos absolutos, mais do que compensando o declínio induzido pela pandemia do ano anterior.

De acordo com a criação da Política Nacional sobre Mudanças do Clima em 2009, o Brasil assumiu como objetivo cortar as emissões de gases de efeito estufa em 37% até 2025, com o indicativo de redução de 43% até 2030 – ambos em comparação aos níveis de 2005, onde as emissões eram responsáveis por aproximadamente 60% dos GEE (ANEEL, 2008).

A unidade em que os GEE são contabilizados é tCO₂eq (toneladas de dióxido de carbono equivalente). O CO₂ foi escolhido como o gás de referência, por ser o mais emitido, e substância cuja emissão é afetada pelas emissões antrópicas que mais contribui para o aquecimento global (IPCC, 2007).

A TABELA 1 mostra detalhadamente alguns dos GEEs e algumas de suas características intrínsecas.

TABELA 1 - POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL PARA ALGUNS GEE DE ACORDO COM O CO₂

Gás	Fórmula química	Forçamento radiativo (W/M ²)	Tempo de vida (anos)	GWP		
				Horizonte de tempo		
				20 anos	100 anos	500 anos
Dióxido de Carbono	CO ₂	1,66	*	1	1	1
Metano	CH ₄	0,48	12	72	25	7,6
Óxido nitroso	N ₂ O	0,16	114	289	298	153
HFC-23	CHF ₃	0,0033	270	12.000	14.800	12.200
Tetrafluorometano	CF ₄	0,0034	50.000	5.210	7.390	11.200
Hexafluoreto de enxofre	SF ₆	0,0029	3.200	16.300	22.800	32.600

Fonte: IPCC (1996)

*O CO₂ não possui um único tempo de vida definido, pois é removido da atmosfera por diversos processos que operam em diferentes escalas de tempo.

O Forçamento Radiativo (FR) mede quanto o balanço de irradiação da Terra – balanço entre a radiação solar que está entrando e a radiação infravermelha que está saindo da atmosfera terrestre – está sendo retirado de seu estado normal devido aos causadores da mudança climática antrópica (IPCC, 2007). Ou seja, se o FR possuir um sinal positivo, indica um aquecimento da superfície terrestre, já um sinal negativo, um resfriamento.

Para que as emissões de cada GEE sejam transformadas em emissão de CO₂eq utiliza-se o Potencial de Aquecimento Global (*Global Warming Potential*, GWP). O GWP é um indicador da capacidade de um gás contribuir para o aquecimento global e compara o FR de uma tonelada de um GEE para um determinado intervalo de tempo com uma tonelada de CO₂, ou seja, mostra a contribuição relativa da emissão na atmosfera de 1t de um determinado GEE comparada com a emissão de 1t de CO₂ (IPCC, 2007; GOLDEMBERG, 2003). A esse intervalo de tempo dá-se o nome de horizonte de tempo, que representa o período de análise contado a partir da emissão instantânea do GEE (IPCC, 2007).

Vale ressaltar que, apesar do GWP de todos os gases ser maior que o GWP do CO₂, este se apresenta em maior quantidade que os demais, tendo, portanto, maior representatividade no efeito estufa.

2.2.1 Inventário de Emissões

O Inventário de emissões é uma forma fundamental para se identificar o nível de emissões de gases de efeito estufa e suas principais fontes. É a principal ferramenta para se compreender os impactos das alterações climáticas sobre as cidades, tendo como objetivo a identificação e quantificação de todas as fontes de emissões e remoções de gases de efeito estufa (LARA; EDUARTE; LEMOS, 2000, p.4).

De acordo com o *GreenHouse Gases Protocol* (GHG) Brasil:

O inventário de emissões é uma espécie de raio-X que se faz em uma empresa, grupo de empresas, setor econômico, cidade, estado ou país. Fazer a contabilidade em GEE significa quantificar e organizar dados sobre emissões com base em padrões e protocolos e atribuir essas emissões corretamente a uma unidade de negócio, empresa, país ou outra entidade. (GHG PROTOCOL, 2009, p. 4).

O Inventário também estabelece estratégias para a redução das emissões e combate às mudanças climáticas, propondo um plano de ação que contemple medidas objetivas a serem adotadas para a mitigação das emissões dos GEE nos governos locais (FEAM, 2008).

2.3 SUSTENTABILIDADE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

De acordo com Ayres (2008 citado por SARTORI; LATRÔNICO; CAMPOS, 2014), a sustentabilidade é um conceito normativo sobre a maneira como os seres humanos devem agir em relação à natureza, e como eles são responsáveis para com o outro e as próximas gerações. Neste contexto, observa-se que a sustentabilidade é condizente ao crescimento econômico baseado na justiça social e eficiência no uso de recursos naturais (LOZANO, 2012).

No fim da década de 1980, foi definido um o conceito de Desenvolvimento Sustentável, como sendo aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade das gerações futuras. Porém, ele só ganhou força a partir da Conferência Mundial de Desenvolvimento e Meio Ambiente, realizada no Rio de Janeiro, em 1992, onde introduziu-se a visão de que a sustentabilidade deve incluir a questão social (TEIXEIRA, 2021).

A iniciativa busca avançar nas três dimensões do desenvolvimento sustentável – social, econômica e ambiental – propondo modelos de desenvolvimento nos quais “ninguém fique para trás” (ONU, 2015).

O reconhecimento internacional da importância do desenvolvimento sustentável para o crescimento e desenvolvimento das nações concretizou-se recentemente na instituição da Agenda 2030. Por exigir um planejamento de longo prazo para atingimento dos Objetivos, a Agenda 2030 deve perpassar diferentes governos que se sucederem, devendo se refletir nos planejamentos governamentais dos próximos quinze anos, influenciando planejamentos de médio e longo prazo.

Frente a isso, as questões ambientais têm se tornado cada vez mais importantes, principalmente no setor industrial e comercial, sendo este um fator que atinge expressivamente as vidas das empresas NAHUS, (1995 apud ZABOTTO, 2019).

De acordo com Dovers e Handmer (1992):

Sustentabilidade é a capacidade de um sistema humano, natural ou misto resistir ou se adaptar à mudança endógena ou exógena por tempo indeterminado, e, além disso, o desenvolvimento sustentável (DS) é uma via de mudança intencional e melhoria que mantém ou aumenta esse atributo do sistema, ao responder às necessidades da população presente. Numa primeira visão, o DS é o caminho para se alcançar a sustentabilidade, isto é, a sustentabilidade é o objetivo final, de longo prazo (DOVERS; HANDMER, 1992; LATRÔNICO; CAMPOS, 2014, p.1).

Portanto, para alcançar a sustentabilidade requer-se o desenvolvimento sustentável, principalmente na implementação no setor industrial (PRUG; ASSADOURIAN, 2003).

2.4 ENERGIAS RENOVÁVEIS E NÃO RENOVÁVEIS

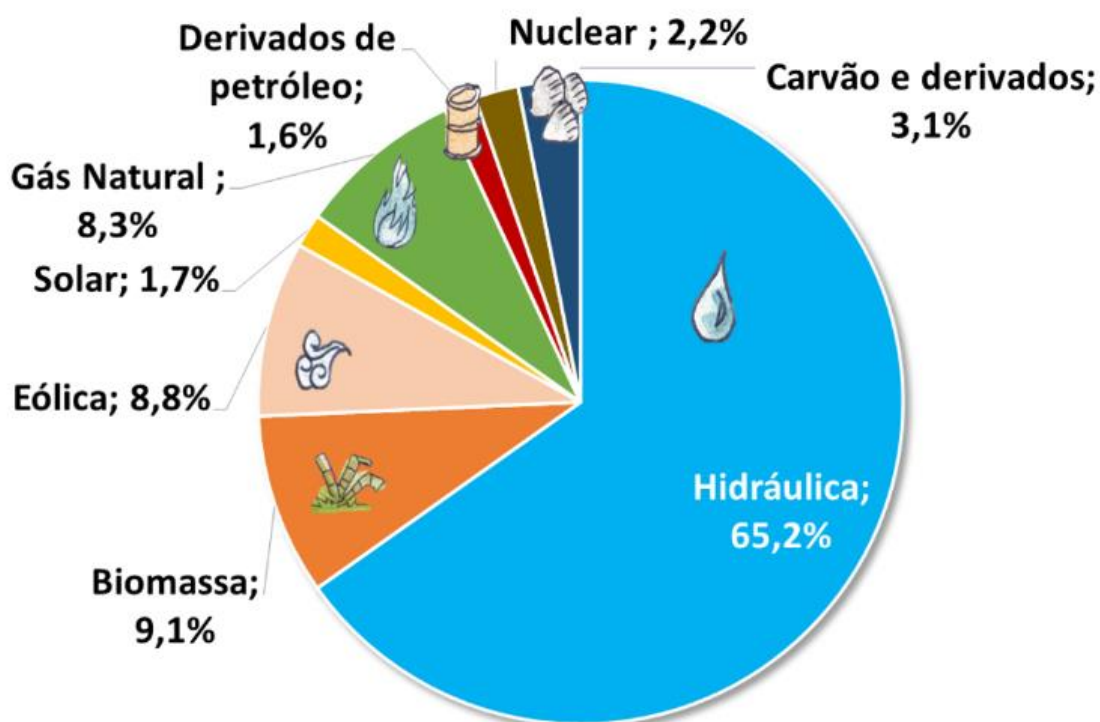
De acordo com Goldemberg (2007), as energias renováveis também possuem limites, mas esses estão longe de serem atingidos. O mundo possui vastos potenciais em renováveis, muitos dos quais já estão ao alcance da tecnologia atual. É o que acontece com a hidroeletricidade, a energia eólica, os potenciais geotérmicos e, especialmente no mundo em desenvolvimento, a biomassa moderna, além de estarem distribuídos de maneira mais igualitária sobre o planeta em relação aos combustíveis fósseis, não são poluentes (GOLDEMBERG, 2015).

A matriz elétrica brasileira é ainda mais renovável do que a energética, isso porque grande parte da energia elétrica gerada no Brasil vem de usinas hidrelétricas. Esse montante se divide conforme a FIGURA 1.

Enquanto a matriz energética representa o conjunto de fontes de energia disponíveis para movimentar os carros, preparar a comida no fogão e gerar eletricidade, a matriz elétrica é formada pelo conjunto de fontes disponíveis apenas para a geração de energia elétrica. Dessa forma, podemos concluir que a matriz elétrica é parte da matriz energética.

Alves (2019) relata que a energia renovável é considerada uma fonte de suprimento inesgotável a longo prazo e os elementos utilizados como matéria-prima podem ser recompostos na natureza. Em contrapartida, considera-se como fonte de energia não-renovável a utilização, por meio do sistema, de recursos que irão se esgotar na natureza (CEMIG, 2012).

FIGURA 1 - MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA



Fonte: Balanço Energético Nacional (2021)

Segundo Nascimento, Mendonça e Cunha (2012) e de acordo com o GRÁFICO 1 anexado no subcapítulo 2.1, a grade de produção energética atual, usa de maneira excessiva os combustíveis fósseis não renováveis (gás natural, carvão, petróleo etc.), fazendo com que uma grande quantidade de poluentes seja lançada na atmosfera, minando a sustentabilidade ao longo prazo.

2.5 ENERGIA SOLAR

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), assegura que a energia solar é uma fonte inesgotável. É uma das fontes mais limpas e por este motivo, o sol é uma das possibilidades energéticas mais promissoras para a humanidade.

“As fontes primárias de energia são aquelas disponíveis tal como se encontram na natureza e que não sofreram ainda qualquer conversão” (CEMIG, 2012).

De acordo com Ruther (1999), dentre as fontes renováveis de energia, a proveniente do Sol se destaca devido à abundância de recursos. De modo que,

segundo a Aneel (2008), entre os anos de 1973 e 2006, foi aumentada em 500% a sua participação na matriz energética mundial.

Por conseguinte, podemos considerar a energia solar ambientalmente vantajosa em relação a outras fontes de energia, tornando-se, assim, a peça fundamental de qualquer programa de desenvolvimento sustentável (TSOUTOS, 2005).

Em termos de Brasil, o estado do Paraná é o maior produtor de energia elétrica através das hidroelétricas, responsáveis por cerca de 96% da geração no estado (MME, 2017). Apesar disto, cerca de 2/3 da energia gerada no Paraná abastece principalmente as regiões Sudeste e Centro-oeste do país.

Apesar deste grande potencial hídrico, a expansão de hidroelétricas na matriz elétrica brasileira e paranaense encontra-se em declínio devido à dificuldade de explorar o potencial ainda não utilizado, e devido às pressões da sociedade e entidades públicas e ambientais, necessitando o estado de pesquisas através de outras fontes de energia complementares, principalmente através de sistemas fotovoltaicos conectados à rede-SFVCR (TIEPOLO, 2016).

2.5.1 Sistemas Fotovoltaicos

Entre as fontes renováveis, a energia solar fotovoltaica é uma das mais abundantes em toda a superfície terrestre e é inesgotável na escala de tempo humano. Por esta razão é uma das alternativas mais promissoras para a composição de uma nova matriz energética mundial e seu aproveitamento tem se consolidado em muitos países (VERMA; MIDTGARD; SATRE, 2011). É esperado que até 2040 esta seja a fonte renovável de energia mais importante e significativa para o planeta (BRITO *et al.*, 2011).

O programa solar brasileiro por tempos ficou voltado para o abastecimento rural e de comunidades isoladas, porém a matriz fotovoltaica brasileira tende a crescer, pois há o contínuo barateamento dos equipamentos, o crescente interesse de investidores, o surgimento de novas tecnologias e uma tendência à solidificação das políticas de incentivo, que já são aplicadas mundo afora de acordo com Nascimento (2019, apud Perlotti, *et al.*, 2012).

A energia solar fotovoltaica é obtida através da conversão direta da luz em eletricidade, o chamado “efeito fotovoltaico”. Edmond Becquerel relatou o fenômeno em 1839, quando nos extremos de uma estrutura de matéria semicondutora surgiu o aparecimento de uma diferença de potencial elétrico, devido à incidência de luz.

2.5.1.1 Sistemas *On-grid*

De acordo com Alves (2019), os sistemas *on-grid*, também conhecidos como sistemas conectados à rede elétrica, possuem um crescimento exponencial no mercado fotovoltaico em países desenvolvidos. Além de abastecer a própria demanda, são, também, capazes de abastecer a rede elétrica com energia, que pode ser utilizada por qualquer consumidor da rede. Por isso, são também definidos como sistemas de compartilhamento de energia (ALVES, 2019).

Esse sistema de energia solar fotovoltaico utiliza a luz do sol para gerar a energia elétrica. A rede da concessionária funciona como uma bateria que recebe todo excedente de energia gerado pelo sistema.

No entanto, os sistemas *on-grid* necessitam de regulamentação e legislação favorável, pelo fato de utilizarem a rede de distribuição das concessionárias para promover o escoamento da energia produzida (DEMONTI, 2008).

2.5.1.2 Sistemas *Off-grid*

Os sistemas *off-grid* são conhecidos como sistemas isolados ou, também, conhecidos como sistemas não conectados à rede elétrica. Estes sistemas trabalham de forma autônoma, isto é, não trabalham em paralelo com a rede elétrica convencional. Para isso, eles possuem um sistema de armazenamento de energia, por meio da utilização de baterias (ALMEIDA, 2016).

O propósito principal dos sistemas isolados é atender localidades em áreas remotas (ALVES, 2019).

2.5.1.3 Sistemas Híbridos

Brandão (2013) relata que os sistemas híbridos são capazes de funcionar tanto interligados à rede elétrica, como desconectados desta. Este é ligado

conjuntamente com outro sistema de formação de energia, ou seja, com um motor secundário.

Como relatou Santos (2021), este é um sistema de geração solar conectado à rede elétrica (*on grid*), integrado com um sistema de armazenamento de energia (sistema *off grid*).

O sistema fotovoltaico híbrido é um sistema dimensionado para o seu pico de produção seja atingido nos períodos de insolação e nem sempre possui um sistema de armazenamento de energia, o que pode aumentar sua autonomia durante a noite. No entanto, quando este é presente, a sua autonomia é menor ou igual a um dia (BLUESOL, 2015).

2.5.2 Células Fotovoltaicas

A geração de energia elétrica por meio do efeito fotovoltaico é simples. Quando fótons incidem em junções de materiais semicondutores dopados com certos tipos de elementos químicos ocorre a liberação de elétrons. A grande maioria das células fotovoltaicas emprega o silício como base para sua fabricação. Isto se deve ao fato deste material ser abundante na natureza e a própria tecnologia de microeletrônica avançou significativamente a manipulação do silício nos últimos anos (PATEL, 2006).

As células solares possuem um material absorvente de luz que está presente no interior da estrutura da célula para absorver fótons e elétrons livres gerados através do efeito fotovoltaico que é a base da conversão de luz em energia fotovoltaica (PARIDA; INIYAN; GOIC, 2011). Entretanto a célula fotovoltaica não armazena energia elétrica, apenas mantém um fluxo de elétrons estabelecidos num circuito elétrico enquanto houver incidência de luz sobre ela, fenômeno conhecido por Nascimento (2014) como efeito fotovoltaico.

2.6 O CAFÉ

Em 1727 o café havia chegado à América do Sul, trazido ao país pelas mãos de Francisco de Melo Palheta. Em pouco tempo, o café se tornou o principal produto econômico do Brasil, gerando riquezas e impulsionando o desenvolvimento em todos os setores de atividade agrícola e industrial, mantendo-se, até hoje, como um dos

principais produtos de nossa carteira de exportações chegando a representar, isoladamente, 70% do valor de nossas exportações no período de 1925/1929 (EMBRAPA, 2005).

O Norte Pioneiro do Paraná foi a porta de entrada para a colonização de toda a região norte paranaense, na ocasião em que foi implementada a cobrança de impostos para conter o avanço da cafeicultura em São Paulo. Contribuíram também para o desenvolvimento da economia cafeeira, a terra de boa qualidade, incentivos do governo do Estado em ocupar terras devolutas de forma permanente e a crise pela qual passava a cafeicultura brasileira, sobretudo a paulista, desde 1893, que gerou medidas restritivas em São Paulo (OLIVEIRA, 2009, p. 1).

O cultivo com mais de 100 anos de história, ligada à produção de café, determinou a vinda de diversos tipos de imigrantes, gerou construção de ferrovias e estabeleceu as relações econômicas da região em cidades como Jacarezinho, Cornélio Procopio, Londrina e Maringá.

O café é a segunda commodity mais comercializada globalmente depois do petróleo (DAVIS *et al.*, 2012) e, além de contribuir para o PIB agrícola, contribui significativamente para o desenvolvimento socioeconômico de muitos países tropicais em desenvolvimento e para a subsistência de mais de 120 milhões de pessoas em todo o mundo (TCI, 2016).

Como sendo o Brasil, o principal produtor de café do mundo, torna-se necessária a existência de leis para organizar a produção. Com esse objetivo foi criada, em 1973, a Associação Brasileira da Indústria de Café (ABIC).

A preocupação com sustentabilidade é muito importante para todas as indústrias, e isso não seria diferente com o setor do café. Tornar o processo de produção do café mais humano e sustentável é uma das características importantes de desenvolvimento dessa indústria.

A ABIC divulgou que parte das empresas do setor já colocaram programas de sustentabilidade. Além disso, ela destaca a importância de ensinar os produtores sobre o cuidado com o meio ambiente e com o produto.

A importância econômica, política e cultural do café, bem como seu alto volume de produção e consumo, justificam a preocupação com o impacto ambiental gerado durante seu ciclo produtivo. Além disso, o aumento na consciência ambiental do consumidor, tem estimulado a preocupação com sustentabilidade ambiental nos diversos tipos de produtos agrícolas, dentre estes o café, estimulando a busca de

formas mais sustentáveis de produção. (RIBEIRO; FILHO; SANTOS, 2019, p.1). Um método aceito internacionalmente para avaliação dos impactos ambientais associados a serviços ou produtos é a Análise do Ciclo de Vida (ACV), que permite também análises comparativas entre diferentes produtos ou processos, servindo como auxílio nas decisões de produção (CELLURA *et al.*, 2012; NIGRI, 2012).

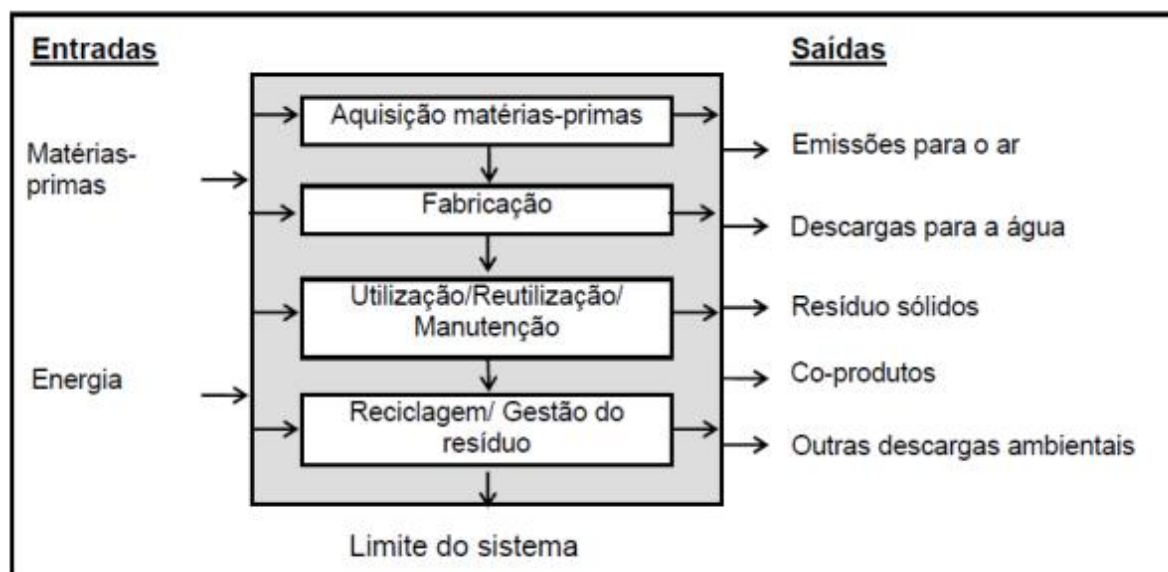
2.7 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV)

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta que permite avaliar o impacto ambiental potencial associado a um produto ou atividade durante seu ciclo de vida e desenvolver novas tecnologias que possibilitem a implementação de alternativas de produção que melhorem o desempenho ambiental de produtos, serviços ou mesmo processos (COLTRO, 2007).

Como define o Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia IBICT (2006), a ACV é uma técnica para avaliação dos aspectos ambientais e dos impactos potenciais associados a um produto, compreendendo as etapas que vão desde a retirada da natureza das matérias-primas elementares que entram no processo produtivo até a disposição do produto final, abordando parâmetros como: produção de energia, fluxograma das atividades, transporte, consumo de energia não renovável, o tipo de emissão atmosférica, entre outros.

No início de uma Avaliação de Ciclo de Vida, um fluxograma do processo é construído, especificando todos os fluxos de material e energia e entram e saem do sistema. O diagrama simplificado da FIGURA 2 mostra os principais estágios do ciclo de vida de um produto.

FIGURA 2 - ESTÁGIOS DO CICLO DE VIDA DO PRODUTO



Fonte: ABNT (2009b)

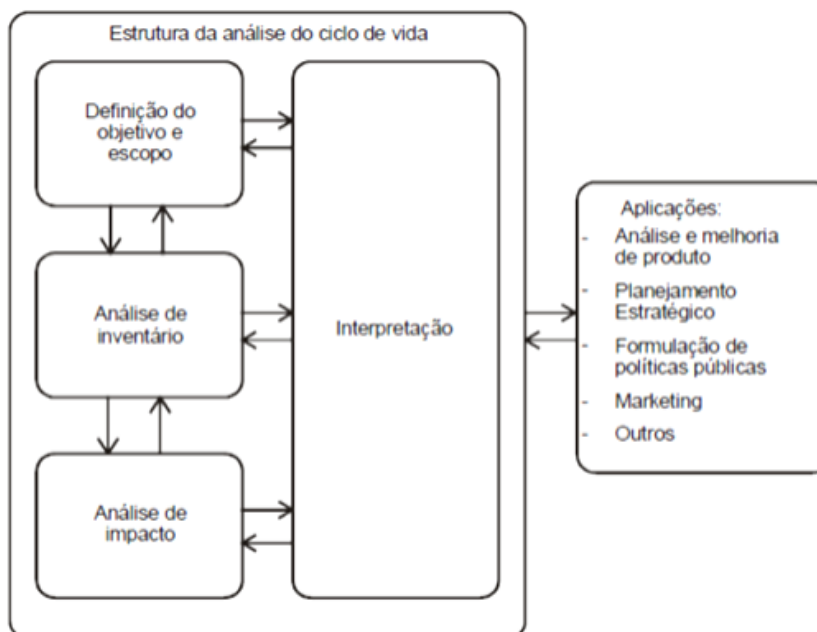
Com o avanço de estudos na área, em 1997, a Organização Internacional de Padronização (ISO) lançou a ISO 14040 Gestão Ambiental - Avaliação do Ciclo de Vida - Princípios e Estrutura. A norma sofreu diversas alterações durante os anos decorrentes, até os dias de hoje.

Em 2009, as diversas Normas da ISO foram atualizadas e unificadas em duas normas:

- ISO 14040 – Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e Estrutura;
- ISO 14044 – Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e Orientações.

Segundo a Norma ISO 14040 (ISO, 2006a), a estrutura da metodologia de emprego da ACV é composta por quatro fases: definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impactos ambientais e interpretação (FIGURA 3).

FIGURA 3 - METODOLOGIA DE EMPREGO DA ACV



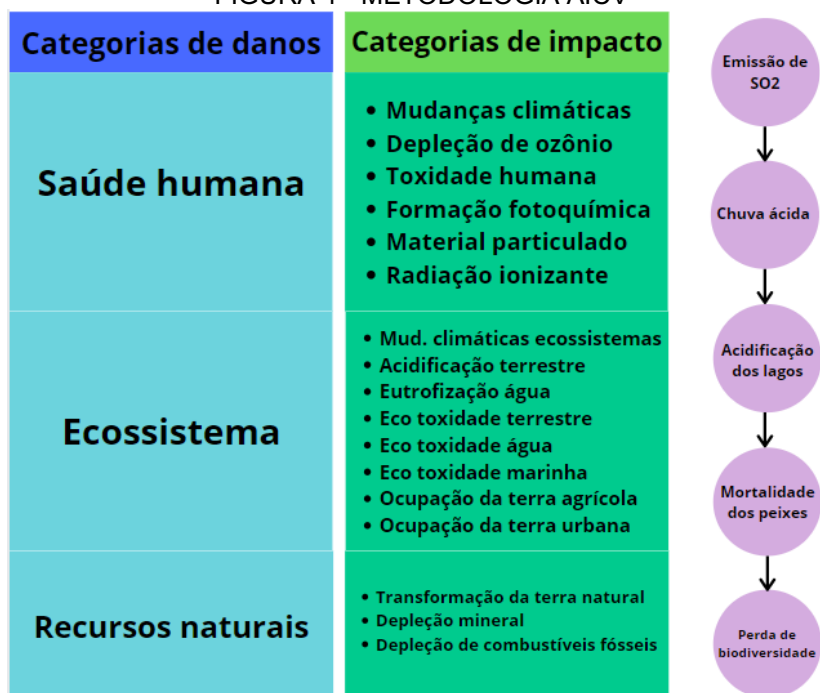
Fonte: ABNT (2009)

De acordo com Hauschild (2005), a etapa de definição do objetivo e escopo consiste na descrição do sistema de produto a ser estudado, na finalidade da pesquisa e na abrangência do estudo. O objetivo do estudo deve especificar a definição do contexto do estudo ao qual estão associados e o público-alvo a quem serão comunicados resultados.

A etapa seguinte, análise de inventário de ciclo de vida (ICV), corresponde à determinação de todos os aspectos ambientais identificáveis durante toda a etapa do processo produtivo. É feita a compilação e avaliação das entradas, das saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida (ABNT, 2001, p.3).

A Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV), permite avaliar a significância de aspectos ambientais apresentados durante a etapa do inventário e associar os dados do inventário (ICV), com as categorias de impactos específicas como ilustrado na FIGURA 4.

FIGURA 4 - METODOLOGIA AICV



FONTE: Adaptado de Lovón Canchumani *et al.* (2015)

No método de avaliação do impacto ambiental (AICV) do presente estudo, foi utilizado o método de acordo com o IPCC, conforme ilustrado no QUADRO 2.

QUADRO 1 - METODOLOGIA IPCC

Método de AICV adotado	Categoria de impacto	Indicador da categoria (Unidade)
IPCC 2021 - 100 anos	Mudanças Climáticas	kg CO ₂ eq

Fonte: O Autor (2022)

O IPCC 2021 é o sucessor do método IPCC 2013, desenvolvido pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. Este método lista os fatores de mudança climática do IPCC com prazo de 20, 100 e 500 anos.

No presente estudo, foi adotado o IPCC 2021 – 100 anos, dado em GWP (*Global Warming Potential*) ou potencial de aquecimento global. Os fatores GWP 100 são recomendados como padrão pelo UNEP-GLAM (2017).

A Norma ISO 14040:2001, considera que na fase da interpretação do ciclo de vida, as constatações da análise de inventário ou da avaliação de impacto, ou de ambas, são combinadas consistentemente com o objetivo e o escopo definidos. Ou seja, consiste na análise dos resultados e na formulação de conclusões e recomendações para a minimização de impactos ambientais potencialmente gerados pelo sistema (GRAEDEL, 1998 apud SOUZA, 2008).

2.7.1 Software para análise do Ciclo de Vida

O *Software* SimaPro® (*System for Integrated Environmental Assessment of Products*), desenvolvido em 1990 pela empresa *PRé Sustainability*, é o *software* mais utilizado para Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). É uma ferramenta para coletar dados e analisar o desempenho ambiental de produtos e serviços. Com ele é possível modelar e analisar ciclos de vida complexos de uma forma sistemática e transparente, seguindo normas NBR 14040 (2009) e 14044 (2014) (FURTADO, 2014).

O *software* também permite o gerenciamento da documentação dos dados primários levantados, além de conjuntos de dados de inventários de ciclo de vida, incluindo o banco de dados Ecoinvent®. O *software* permite realizar a análise de ICV e AICV do projeto por meio de várias metodologias, as quais foram apresentadas no QUADRO 3 e separadas em métodos “*midpoint*” e “*endpoint*”.

QUADRO 2 - METODOLOGIAS PARA AICV DISPONÍVEIS NO SIMAPRO®

Métodos “Midpoint”		Métodos de “Endpoint”
ReCiPe Midpoint	BEES+	Ecological scarcity 2013
Cumulative Energy Demand	TRACI 2.1	EPS 2000
Cumulative Exergy Demand	Ecological footprint	ReCiPe Endpoint
Ecosystem Damage Potential	IPCC 2013	IMPACT 2002+
Greenhouse Gas Protocol	USEtox	Water footprint: Boulay et al 2011 (Human Health)
Water footprint: Boulay et al 2011 (Water Scarcity)	CML-IA	Water footprint: Motoshita et al 2010 (Human Health)
Water footprint: Berger et al 2014 (Water Scarcity)	EDIP 2003	Water footprint: Pfister et al 2009 (Eco-indicator 99)
Water footprint: Ecological Scarcity 2006 (Water Scarcity)	EPD (2013)	Water footprint: Pfister et al 2010 (ReCiPe)
Water footprint: Hoekstra et al 2012 (Water Scarcity)	ILCD 2011	
Water footprint: Pfister et al 2009 (Water Scarcity)		

Fonte: *PRé Sustainability B.V.* (2022)

Segundo Freitas (2021 apud MENDES, *et al.*, 2016), a abordagem do método por ser *midpoint*, *endpoint* ou integrar as duas. A abordagem *midpoint* (caracterização), utiliza indicadores ao longo do mecanismo ambiental antes de chegar ao ponto final da categoria. Já o *endpoint* (avaliação de danos), considera todo o mecanismo ambiental até o ponto final da categoria, ou seja, refere-se a um dano específico relacionado com a área mais ampla de proteção, que pode ser saúde

humana, ambiente natural ou recursos naturais. Portanto, a abordagem *endpoint* é mais específica e mais aprofundada.

Sendo assim, o SimaPro® de um modo geral funciona como um gerenciador de planilhas, ou seja, após ajustado os dados de um ICV, determinar a metodologia de AICV o *software* efetua automaticamente os cálculos. Os resultados gerados podem ser mostrados de várias formas: por categoria de impacto, por substância no fluxo, em fluxogramas, por impacto, entre outras.

Como dito anteriormente, no presente estudo foi utilizado o método de avaliação de acordo com o IPCC – *Ecosystem Damage Potential*.

3 MÉTODOS DE PESQUISA

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

A natureza da pesquisa realizada é classificada como aplicada, pois de acordo com Silva e Menezes (2005), ela objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática e dirige à solução de problemas específicos. Além de envolver verdades e interesses locais.

Com relação a seu ponto de vista, o presente trabalho seguirá os pressupostos dos métodos de análise qualitativa, pois considera que há uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, isto é, um vínculo indissociável entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito que não pode ser traduzido em números. (SILVA; MENEZES, 2005). E, quantitativa, pois utilizaremos o uso de recursos e de técnicas estatísticas como por exemplo percentagem e média.

Quanto a seus objetivos, a pesquisa possui caráter exploratório, pois visa proporcionar maior familiaridade com o problema com vistas a torná-lo explícito ou a construir hipóteses (GIL, 1991, p.27).

Vale ressaltar que os procedimentos utilizados são referentes à um estudo de caso que, de acordo com Gil (1991, p. 57), é caracterizado pelo estudo profundo e exaustivo de um ou de poucos objetos, de maneira a permitir o seu conhecimento amplo e detalhado, tarefa praticamente impossível mediante os outros tipos de delineamentos considerados.

Segundo Yin (2001), um estudo de caso tem como objetivo explorar, descrever e explicar o acontecimento ou fornecer uma compreensão profunda a respeito do fenômeno.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE PESQUISA

3.2.1 Objeto de pesquisa

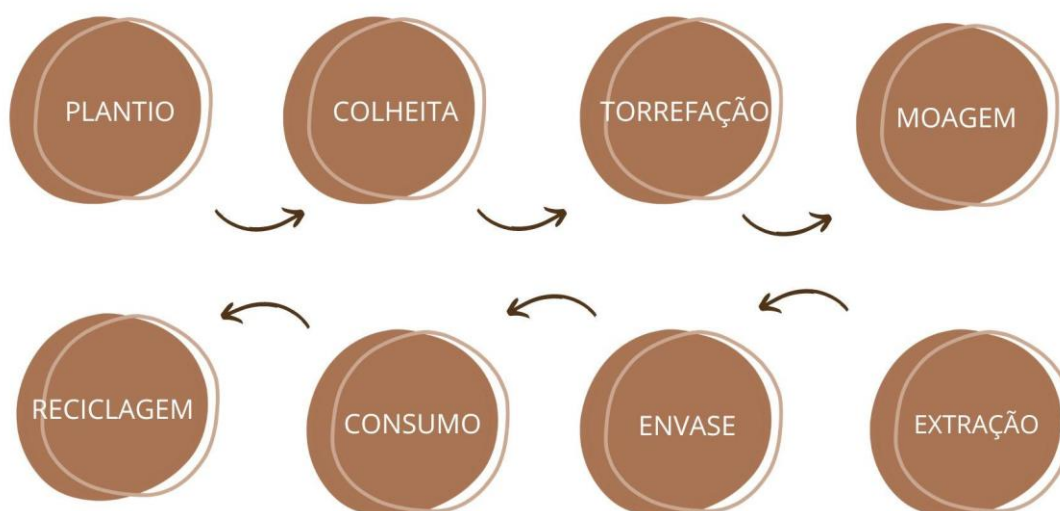
Nesta pesquisa, o nome da empresa em estudo não foi revelado por questões de sigilo. O nome fictício utilizado no trabalho foi "Beta", no entanto, os dados coletados são reais e foram coletados pela autora.

A empresa Beta está há mais de 60 anos no mercado, é uma das maiores indústrias de café do mundo, com capacidade para processar diariamente, aproximadamente 70 toneladas de café em pó, aglomerado e liofilizado, extrato de café e óleo de café.

A Beta trabalha com uma grande variedade de produtos, que atendem tanto o mercado interno quanto o externo. Os produtos elaborados pelas indústrias são oferecidos em diversos formatos, com características e qualidades específicas.

O complexo processo industrial de fabricação do café solúvel e suas diferentes formas, podem ser resumidas de acordo com a FIGURA 5.

FIGURA 5 - ETAPAS DE ELABORAÇÃO DO CAFÉ



Fonte: ABIC (2021)

A organização conta com mais de 500 empregados e expande sua atuação pelo Brasil e pelo mundo. Podendo assim, ser considerada uma empresa de grande porte (SEBRAE, 2013).

O Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES), apresenta uma classificação das empresas conforme receita operacional bruta ou renda anual, na qual consta que empresas de grande porte possuem uma renda anual maior que 300 milhões de reais.

Por ser uma grande indústria e de acordo com dados da empresa, a companhia conta com políticas de desenvolvimento sustentável, focando em ações

práticas e no uso de recursos naturais, em especial aqueles não renováveis. Conta com relatórios de emissões de gases de efeito estufa, e apresentação de resultados de relatórios de responsabilidade social.

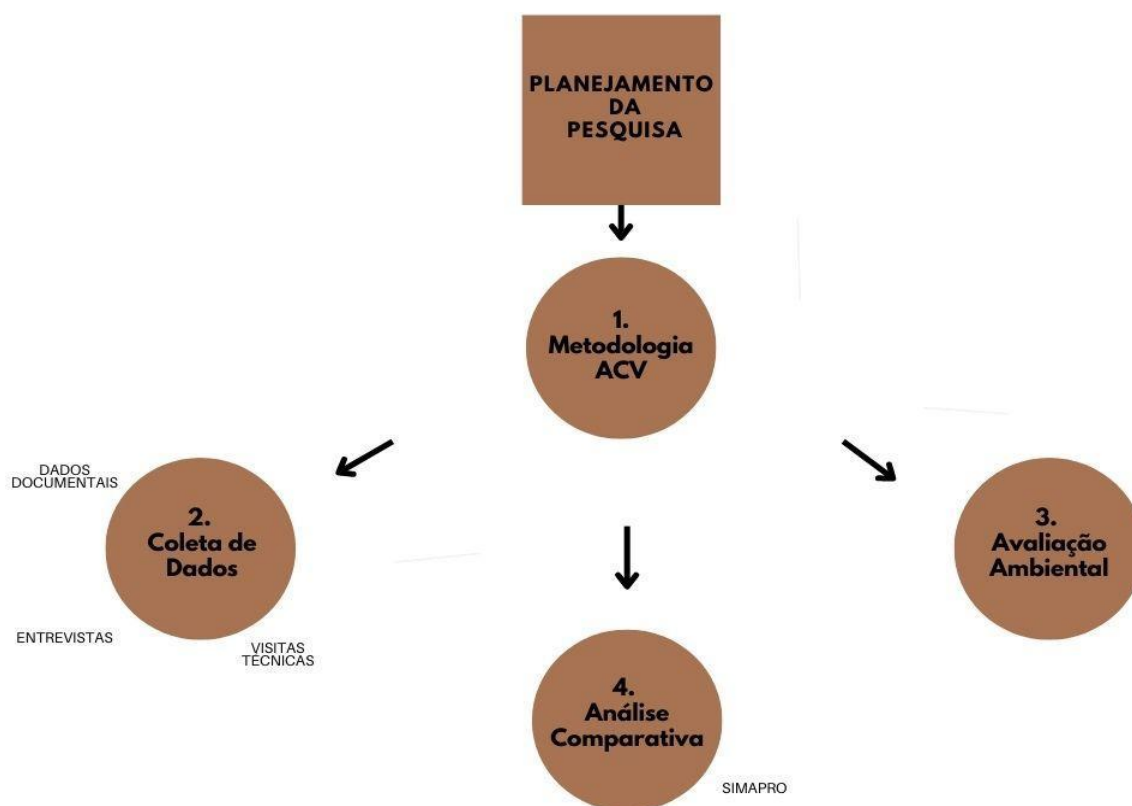
Mediante ao exposto, o estudo visa analisar quais os impactos ambientais gerados na produção de café solúvel, utilizando a energia de rede em comparação com a energia fotovoltaica.

3.3 PROTOCOLO DA PESQUISA

3.3.1 Planejamento da pesquisa

O presente trabalho está estruturado em quatro fases conforme mostra a FIGURA 6.

FIGURA 6 - ETAPAS PLANEJAMENTO DA PESQUISA



Fonte: O Autor (2022)

O presente trabalho foi realizado através da metodologia ACV, onde foi analisado e coletado dados documentais para a avaliação ambiental através do *software* Simapro®, para a comparação dos cenários em questão.

3.4 METODOLOGIA ACV

3.4.1 Objetivo e escopo

De acordo com a ISO 14040 (2009), a fase de definição do objetivo e escopo, deve expor de forma clara a aplicação pretendida, o público destinado e a justificativa para o estudo. É inteiramente qualitativa, devendo apresentar o propósito do trabalho, seu escopo e as fronteiras do sistema analisado. O escopo deve incluir a unidade funcional utilizada, o fluxo de referência, os limites geográficos do sistema analisado, o horizonte temporal, estimativas e limitações de sua análise, pressupostos, métodos de alocação, as categorias de impacto consideradas e outras informações relevantes (FREITAS, 2021).

A unidade funcional definida para o estudo foi de 1kg de café, com um recorte temporal anual, com base na produção de 2021.

Foram elaborados dois cenários referentes aos impactos ambientais, gerados através do consumo de energia.

Cenário 1: Produção de 1 kg de café solúvel na empresa Beta, utilizando a energia de rede;

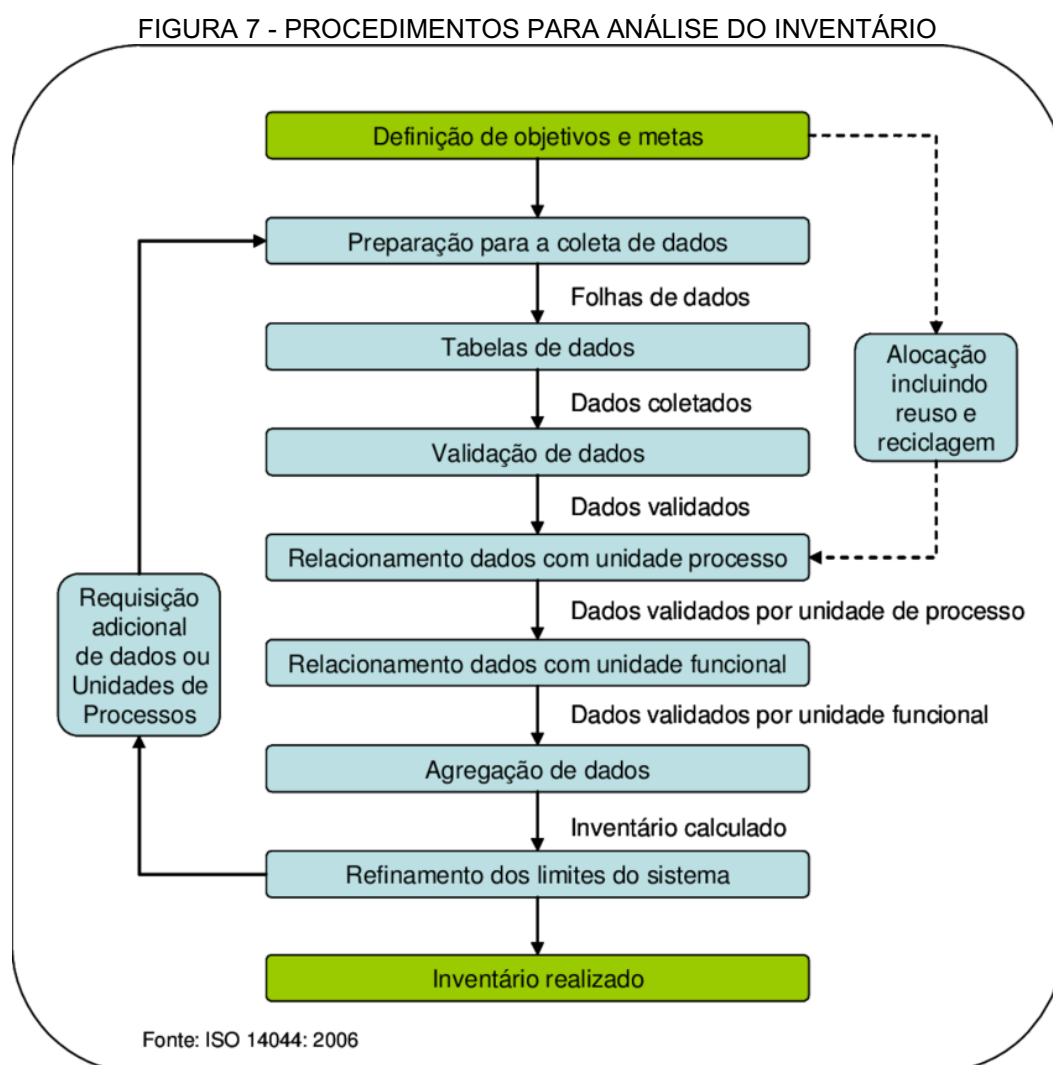
Cenário 2: Produção de 1 kg de café solúvel na empresa Beta, utilizando a energia fotovoltaica.

No caso específico do presente trabalho, antes de modelar o sistema, foram realizadas adequações para a realidade do Brasil. No presente estudo, não foram encontradas bases de dados correspondentes ao processo de torrefação e moagem do café. Nessa situação, a avaliação de impactos sobre esses dados é realizada com o auxílio de outras literaturas ou adaptando os dados de outros alimentos, que passam pelo mesmo processo.

3.4.2 Inventário

O principal objetivo do ICV é identificar e quantificar o uso de energia, água e materiais e liberações (emissões atmosféricas e resíduos sólidos e líquidos) (CURRAN *et al.*, 2005).

A fase de análise do inventário pode ser dividida em procedimentos, como mostrado na FIGURA 7.



Fonte: ISO 14044:2009

A análise do inventário é feita através de coletas de dados que, no caso do estudo, foi utilizado o banco de dados *Ecoinvent* para definir entradas e saídas de produtos (ABNT, 2009).

O conjunto de dados possuem informações sobre o processo industrial ou agrícola que modela, medindo os recursos naturais retirados do meio ambiente, as

emissões liberadas para a água, solo e ar, além de produtos exigidos por outros processos, como no caso da eletricidade, os produtos, coprodutos e resíduos produzidos (ECOINVENT, 2022).

Para desenvolver esta fase, primeiramente foi realizada a análise do inventário do grão de café verde, ou seja, o grão de café ainda cru. Devido ao seu maior consumo no Brasil, o café utilizado no trabalho foi o arábica. O QUADRO 3 apresenta todas as entradas e saídas referente ao grão.

QUADRO 3 - INVENTÁRIO GRÃO DE CAFÉ VERDE ARÁBICA

Produto		
Grão de Café Verde Arábica, BR	1	kg
Entradas		
Dióxido de Carbono	1,547944444	kg
Energia, poder calorífico bruto, em biomassa	16,39777778	MJ
Água	0,01143888889	m3
Ocupação, cultivo permanente, irrigado	5,570555556	m2a
Transformação, a partir de cultivo permanente, irrigado	0,277777778	m2
Transformação, para cultivo permanente, irrigado	0,277777778	m2
Materiais e Combustíveis		
Composto de bupiridílio	0,00115	kg
Ácido bórico	0,005722222222	kg
Óxido de cobre	0,002030111111	kg
Composto cíclico	0,0001032	kg
Estabelecendo pomar	0,195	p
Mudas frutíferas	0,195	p
Gesso, minerais	0,1365	kg
Irrigação	1,103894444	m3
Lima	0,34125	kg
Óxido de manganês (III)	0,002461111111	kg
Composto organofosforado	0,001472	kg
Embalagem, para fertilizantes	1,45966	kg
Embalagem, para pesticidas	0,04077728889	kg
Rocha fosfática, como P2O5, beneficiada, seca	0,01918	kg
Plantando árvore	0,195	p
Portafer	0,0009111111111	kg
Sulfato de potássio, como K2O	0,137	kg
Sulfite	0,003738888889	kg
Sistema de treliça, postes de madeira, madeira macia, impregnados de alcatrão	0,0005555555556	ha
Ureia	0,0959	kg
Monossulfato de zinco	0,0028	kg

continua...

...continuação

Eletricidade/calor		
Diesel, queimado em máquinas agrícolas	4,23	MJ
Eletricidade, baixa tensão {BR}	0,1794444444	kWh
Aquecimento central ou de pequena escala	5,715216667	MJ
Calor, distrito ou industrial	0,256	MJ
Emissions para o ar		
Amônia	0,0233037	kg
Dióxido de carbono, fóssil	0,300713	kg
Monóxido de nitrogênio	0,002265170554	kg
Óxidos de nitrogênio	0,0037812	kg
Água/m3	0,7166666667	m3
Emissões para a água		
DBO5, Demanda Biológica de Oxigênio	0,5	kg
Cádmio	2,02E-08	kg
Cádmio	5,98E-08	kg
Cromo	7,06E-06	kg
Cromo	1,14E-05	kg
DQO, Demanda Química de Oxigênio	1	kg
Cobre	2,01E-06	kg
Cobre	1,06E-05	kg
DOC, Carbono Orgânico Dissolvido	0,37037037	kg
Chumbo	5,59E-08	kg
Chumbo	1,12E-06	kg
Mercúrio	1,70E-08	kg
Mercúrio	4,45E-08	kg
Níquel	3,70E-06	kg
Níquel	1,25E-08	kg
Nitrato	0,1037573034	kg
Fosfato	0,0001024304022	kg
Fosfato	0,0004636298756	kg
Fósforo	0,0001808515711	kg
TOC, Carbono Orgânico Total	0,37037037	kg
Água, BR	0,07727222222	m3
Água, BR	0,3205277778	m3
Zinco	7,92E-06	kg
Zinco	8,16E-06	kg
Emissões para o solo		
Cádmio	8,33E-07	kg
Cromo	3,66E-05	kg
Cobre	0,0008191335038	kg
Ciproconazol	0,0001032	kg
Conduzir	4,27E-07	kg

...conclusão

Mercúrio	7,89E-08	kg
Níquel	-8,56E-07	kg
Paraquat	0,00115	kg
Terbufos	0,001472	kg
Zinco	-6,88E-06	kg
Saídas		
Resíduos biológicos	3,35	kg
Resíduos de madeira, não tratados	0,555417111	kg

Fonte: Adaptado do Ecolnvent (2022)

Em seguida, o inventário do grão de café verde foi adicionado aos processos de elaboração do café. Não foram encontrados no Simapro® os dados referentes aos processos de torrefação e moagem do café, então, foram criadas as entradas e saídas a partir dos dados documentais da empresa e, também, com auxílio de literaturas disponíveis.

3.4.3 Coleta de dados

O levantamento de dados primários para os inventários de ciclo de vida do processo em estudo, se deu por meio de visitas técnicas na empresa e observação do processo de produção. Além disso, foram analisados alguns dados documentais para realização do projeto. No Apêndice 1, pode ser encontrado formulário que foi utilizado para a coleta de dados da empresa em estudo.

Através das observações, entrevistas e dos dados documentais da empresa, foi possível delimitar o escopo do projeto e realizar a modelagem do sistema.

Já o levantamento dos dados secundários para elaboração do inventário do ciclo de vida da produção de café, foram obtidos com a utilização do banco de dados Ecolnvent, junto com o *software* SimaPro®.

O conjunto de dados do Ecolnvent são fornecidos como dados individuais do processo de unidade e documentação abrangente para todos os aspectos do banco de dados. Além disso, são publicados relatórios anuais que alteram o documento no banco de dados. Atualmente são mais de 18.000 conjuntos de dados, modelando atividades ou processos humanos. O conjunto de dados possuem informações sobre o processo industrial ou agrícola que modela, medindo os recursos naturais retirados do meio ambiente, as emissões liberadas para a água, solo e ar,

além de produtos exigidos por outros processos, como no caso da eletricidade, os produtos, coprodutos e resíduos produzidos (ECOINVENT, 2022).

3.4.4 Avaliação do impacto do ciclo de vida – AICV

No método de avaliação do impacto ambiental (AICV), os dados obtidos na análise do inventário são selecionados e quantificados para uma posterior classificação por categorias. São associados os dados do inventário (ICV), com as categorias de impactos específicas, por meio de métodos existentes, como o IPCC, método aplicado no presente estudo. Esses dados do indicador apontam a gravidade relativa na categoria de impacto ambiental (GOLSTEIJN, 2012).

3.4.5 Tratamento e interpretação de dados

Seguindo as recomendações das normas ISO 14040, a interpretação deve incluir a identificação dos impactos ambientais mais relevantes, avaliação mais ampla e completa do estudo, bem como conclusões e recomendações.

Para o tratamento de dados foi utilizado o *Software* Simapro®, no laboratório de Gestão de Resíduos e Tecnologia Sustentáveis, para análise dos cenários comparativos entre a energia de rede com a energia fotovoltaica.

O SimaPro® é uma ferramenta profissional que contém vários métodos de avaliação de impacto ambiental e diversas bases de dados de inventários, que podem ser editados e expandidos sem limitação. O *software* permite a análise comparativa entre produtos e estudos com ciclos de vida complexos (PRÉ CONSULTANTS, 2010).

O *software* SimaPro® conta com informações e dados de uma quantidade de insumos e processos produtivos de diferentes países. O Brasil conta com poucos dados no banco de dados, e por isso, muitas vezes, é necessária uma adaptação. Devido a isso, foi necessário fazer algumas alterações para que o resultado fosse o mais preciso e próximo da realidade brasileira.

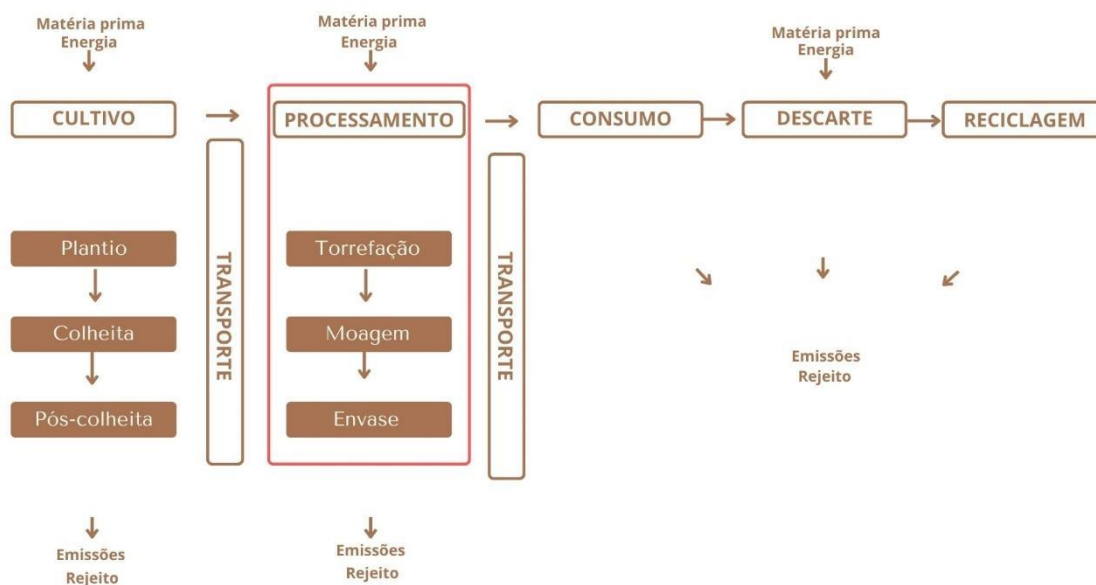
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 DEFINIÇÃO DO ESCOPO

O objetivo do trabalho é avaliar os impactos ambientais gerados na produção de 1 kg café solúvel com a energia de rede, comparados com os impactos gerados na produção de café com a energia solar.

Em concordância com a FIGURA 8, o ciclo de vida do café vai do cultivo até o descarte, seguindo depois para a reciclagem. Porém, o escopo do trabalho está delimitado apenas na etapa do processamento de fabricação do café e com enfoque na energia utilizada nessa etapa.

FIGURA 8 - FLUXOGRAMA DO CICLO DE VIDA DO CAFÉ



Fonte: O Autor (2022)

Cabe destacar que não foram considerados os processos de transportes. As entradas e saídas consideradas neste estudo foram apenas aquelas relacionadas diretamente com as etapas do processamento, como representado na FIGURA 8.

Os processos como plantio, colheita, pós-colheita, consumo, descarte e transportes foram descartados, pois não são diretamente impactados na produção caso haja a instalação de energia solar na fábrica.

4.2 ANÁLISE DO INVENTÁRIO

A análise de inventário de ciclo de vida (ICV), corresponde à determinação de todos os aspectos ambientais identificáveis durante toda a etapa do processo produtivo. É feita a compilação e avaliação das entradas, das saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida (ABNT, 2001, p.3). É necessário coletar e analisar dados através de cálculos como balanço de massa e energia.

Nesse estudo foi utilizado um ICV para a produção de 1 kg de café na base de dados *Ecoinvent*, que contempla todo o estoque de energia, processos, equipamentos, materiais de consumo e infraestrutura usados no seu processo produtivo.

O QUADRO 4 refere-se às entradas e saídas do processo de elaboração de café. Os fluxos de entrada de matéria-prima foram classificados, no *software* SimaPro®, como “entradas conhecidas da esfera tecnológica materiais” e o consumo de energia foi classificado como “entradas conhecidas da esfera tecnológica eletricidade”. Já os fluxos de saída foram classificados em “saídas conhecidas para a esfera tecnológica”.

QUADRO 4 - ENTRADAS E SAÍDAS ELABORAÇÃO DO CAFÉ

Entradas Torrefação	Unidade	Quantidade
Grão de Café Verde Arábico	kg	2,12
Dióxido de carbono	kg	1,81E+00
Energia, a partir de gás, natural	MJ	20,4
Ocupação, área industrial	m ²	7,90E+04
Transformação, para área industrial	m ²	425
Entradas conhecidas da esfera tecnológica (eletricidade/calor)		
Eletricidade de alta tensão, produção de electricidade, gás natural	MJ	3,96E-03
Entradas Moagem		
Café seco	kg	1,745
Ocupação, área industrial	m ²	7,90E+04

continua...

...conclusão

Transformação, para área industrial	m ²	425
Entradas conhecidas como esfera tecnológica (materiais/combustível)		
Água	kg	3,22E-06
Entradas Envasamento		
Café torrado	kg	1,047
Ocupação, área industrial	m ²	7,90E+04
Transformação, para área industrial	m ²	425
Polietileno, linear de baixa densidade	kg	2,05E-03
Entradas conhecidas da esfera tecnológica (eletricidade/calor)		
Energia de Rede	kWh	1,70E+00
Saídas conhecidas para a esfera tecnológica. Resíduos e emissões para tratamento		
Resíduos de polietileno	kg	2,28E-04
Café embalado	kg	1

Fonte: Adaptado do EcoInvent (2022)

A quantidade de café inicial, para que a saída seja 1 kg de café embalado, é maior devido às perdas que acontecem durante o processo. É necessário entrar aproximadamente 2,12 kgs de café cru no processo de torrefação para que saia 1 kg de café após a etapa do envasamento.

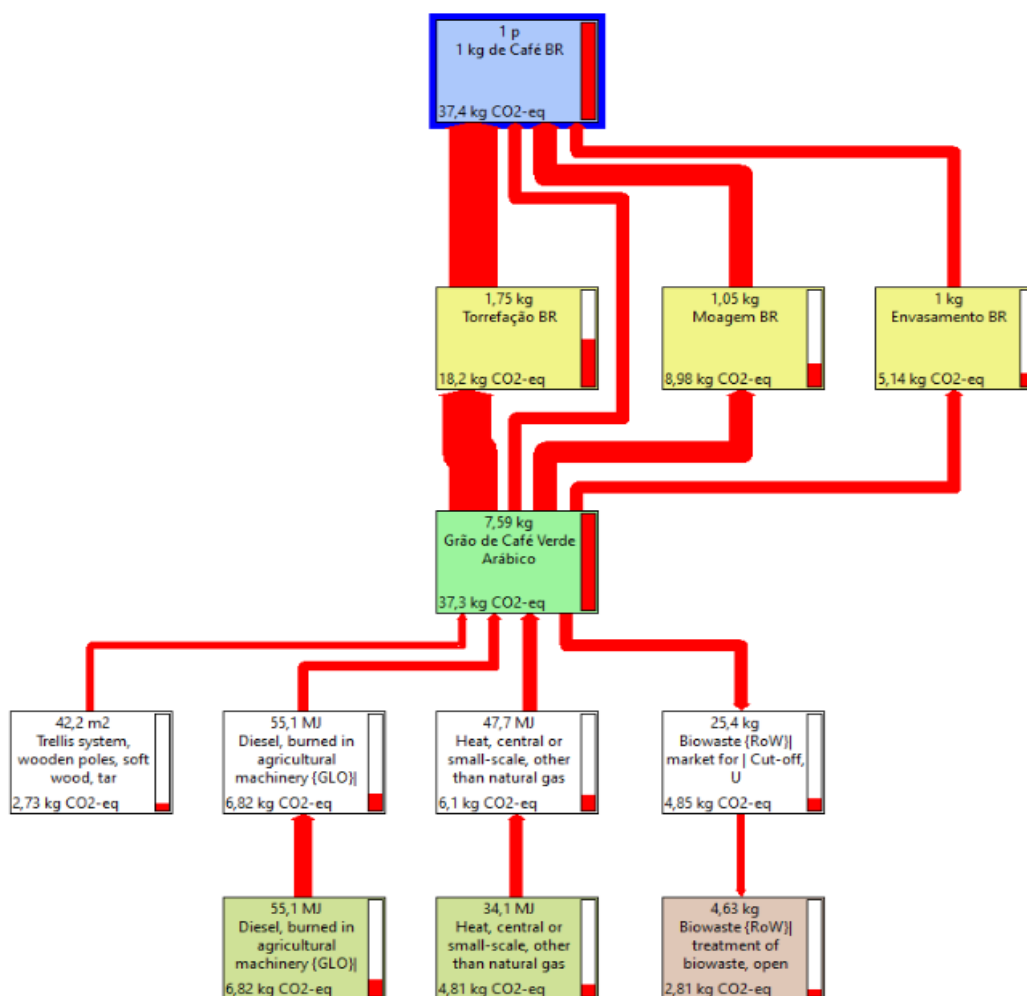
Feito o inventário referente à produção de café utilizando a energia da rede, foi elaborado o inventário utilizando a energia fotovoltaica. Foi empregado os mesmos dados do QUADRO 4, porém, trocando a “Energia da Rede” pela “Energia Fotovoltaica” no *software*.

4.3 AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO CICLO DE VIDA – AICV

4.3.1 Modelagem em rede

O *software* SimaPro® fornece uma árvore de fluxos, onde é possível ver todos os processos envolvidos até chegar ao produto final, como mostrado na FIGURA 9.

FIGURA 9 - MODELAGEM EM REDE



Fonte: Elaborado no SimaPro (2022)

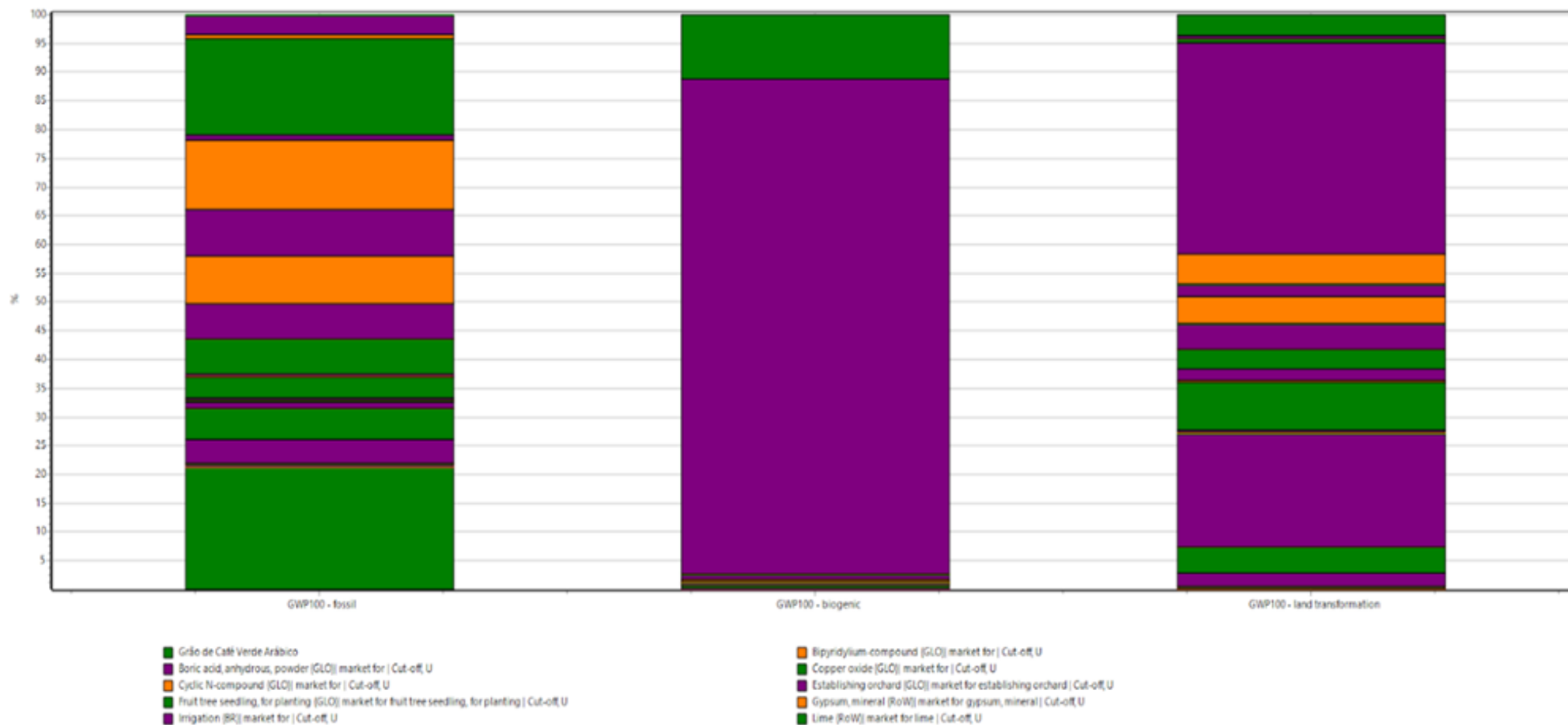
Os insumos que aparecem na primeira linha são os que mais geram impacto no processo. As linhas vermelhas representam os fluxos que ligam a diferentes produtos, quanto mais espessa a linha, maior a geração de impacto danosos ao meio ambiente. Assim, analisando a FIGURA 9, foi observado que na primeira linha estão os produtos que mais geram impactos ao meio ambiente, em seguida, são os que mais causam impacto nesses produtos e assim sucessivamente.

4.3.2 Método IPCC

4.3.2.1 AICV grão de café verde

O AICV do grão de café verde foi feito de acordo com o banco de dados do *Ecoinvent*. O inventário não precisou de nenhuma alteração (FIGURA 10).

FIGURA 10 - AICV GRÃO DE CAFÉ VERDE



A analisar 1 kg 'Grão de Café Verde Arábico'; Método: IPCC 2021 GWP100 V1.00 / Caracterização

Fonte: O Autor (2022)

De acordo com os resultados apresentados pela FIGURA 10, que estão relativizados ao total de 100% dos impactos, em três colunas, a primeira em relação ao GWP100 - fóssil, a segunda em relação ao GWP100 - biogênico e a terceira em relação ao GWP100 - ocupação da terra.

Em cada coluna foram representados os maiores impactos dos processos produtivos. A cor predominante nas três colunas, por consequência, que contribuíram com maior impacto, é a roxa, que é representada pelo processo de irrigação. De modo geral, os métodos de irrigação têm o potencial de gerar impactos no meio ambiente, sendo eles intrínsecos, ocorrendo o risco de degradação do solo, ou extrínsecos, através da contaminação por agroquímicos e mudanças na cobertura vegetal (MATOS, 2010).

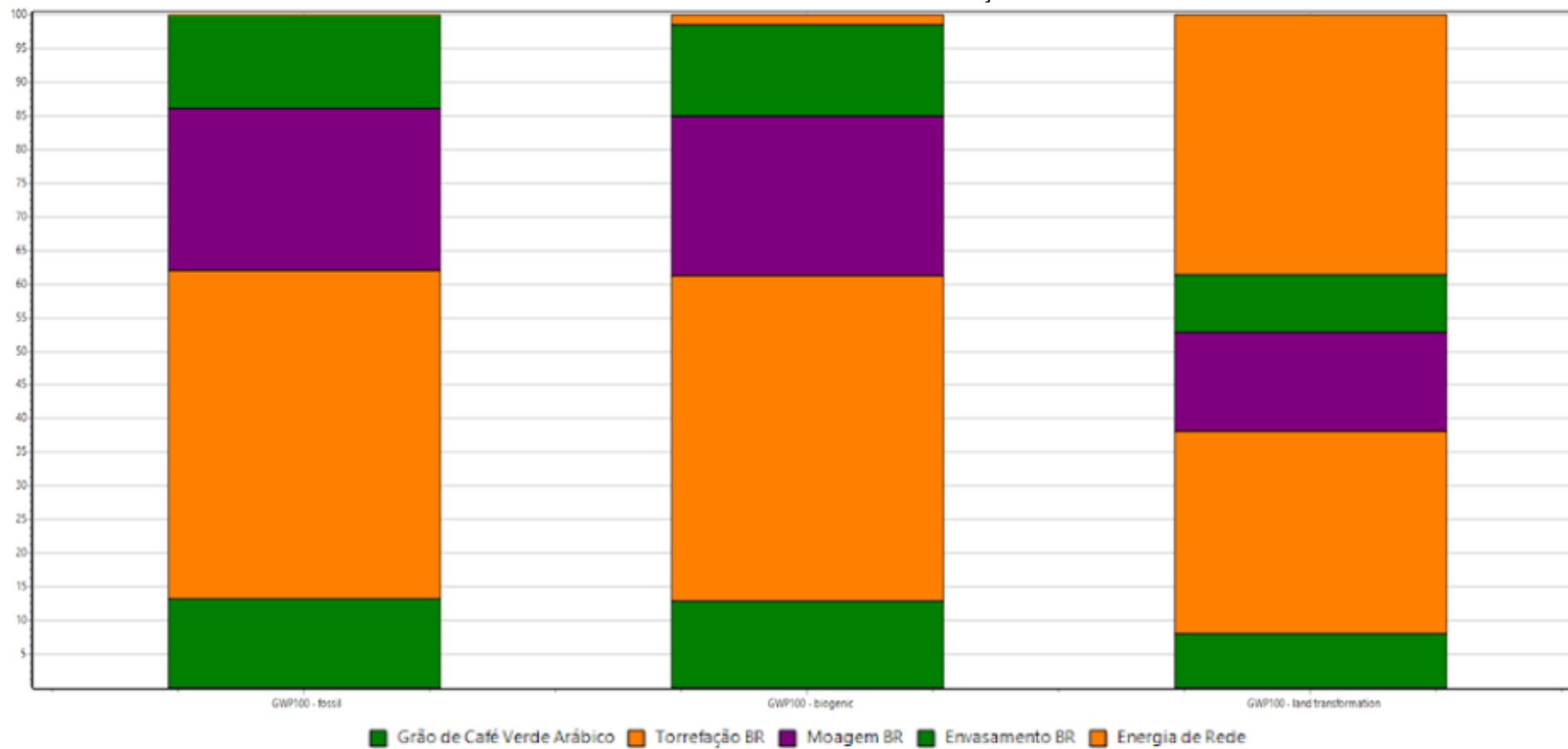
Em segundo lugar, o que contribuiu significativamente, foi o processo onde há o uso de fertilizantes, representado pela cor verde. Indo de encontro com o artigo “Inventário do impacto ambiental da produção cafeeira tipo arábica em uma propriedade certificada no Sul de Minas Gerais”, do ano 2019.

Em terceiro lugar com o menor valor, o processo de Secagem dos grãos contribuiu na categoria uso da terra, ele foi representado pela cor laranja.

4.3.2.2 AICV cenário 1

No cenário 1, foi utilizada a energia elétrica da rede para realizar as etapas do processo de produção do café. Os resultados da AICV foram ilustrados na FIGURA 11.

FIGURA 11 - AICV PELO MÉTODO DO IPCC REFERENTE À UTILIZAÇÃO DE ENERGIA DA REDE



Fonte: O Autor (2022)

Observa-se na FIGURA 12, que a torrefação é o processo que mais gera emissões de GEE, devido ao seu uso de combustíveis fósseis na etapa. É visível também, a quantidade de impactos ambientais gerados com o uso da energia elétrica, principalmente em relação à ocupação da terra.

FIGURA 12 - ÁREA DELIMITADA DA AICV PELO MÉTODO DO IPCC REFERENTE À UTILIZAÇÃO DA ENERGIA FOTOVOLTAICA



Fonte: O Autor (2022)

Os dados mostrados na TABELA 2 foram gerados a partir do método IPCC, onde é possível visualizar as emissões de GEE em kg CO₂ equivalentes, utilizando a energia de rede.

TABELA 2 - CATEGORIAS DE IMPACTO REFERENTE À UTILIZAÇÃO DA ENERGIA DE REDE

Categoria de impacto	Unidade	Quantidade	Energia de Rede
GWP - fóssil	kg CO ₂ eq.*	32,9	0,0105
GWP - biogênico	kg CO ₂ eq.*	4,39	0,000474
GWP – ocupação da terra	kg CO ₂ eq.*	0,077	0,0484

Fonte: O Autor (2022)

* kg CO₂ eq. – Quilo de CO₂ equivalente

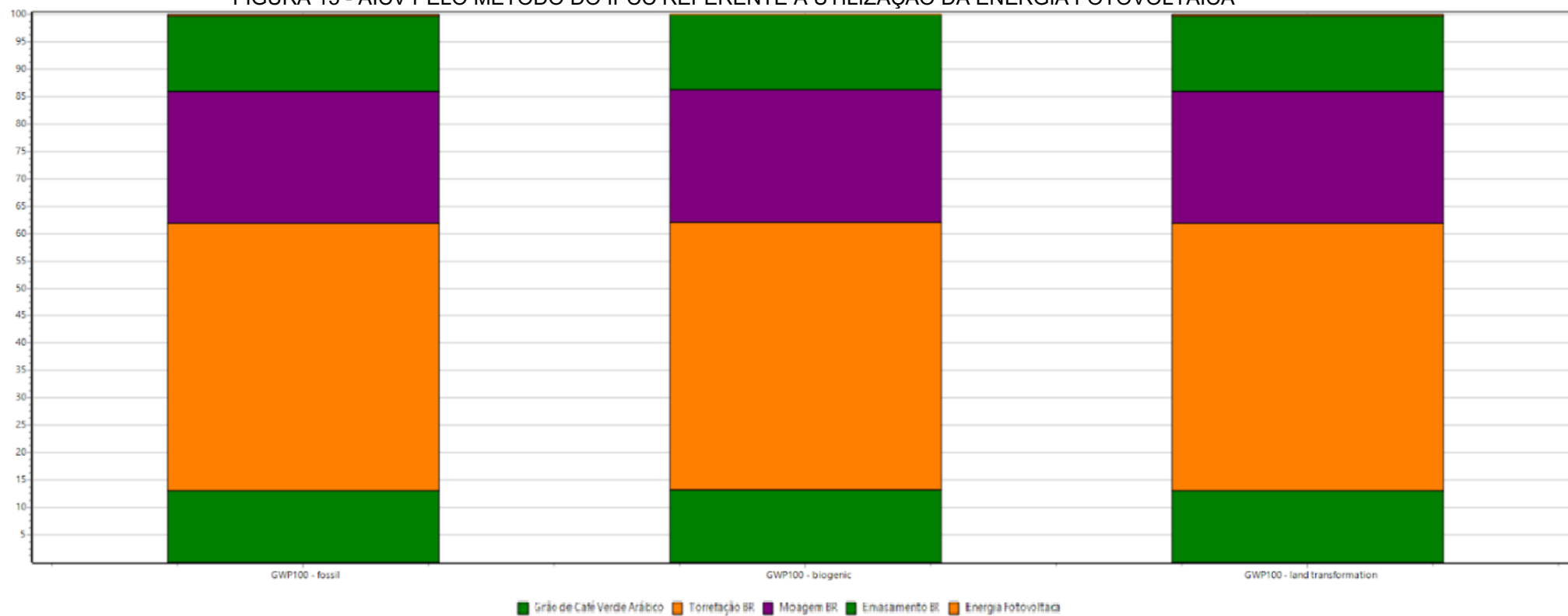
Um fato recorrente em ACVs, é a não inserção no *software* de um dado específico, presente no escopo, devido a sua indisponibilidade no conjunto de bases

de dados utilizados. A maioria dos dados cadastrados nos bancos de dados possuem dados globais ou regionais de origem Chinesa, o que pode diferir bastante no resultado, é por isso que se faz necessário o tratamento de dados incluindo a energia brasileira nos inventários utilizados dos dados primários.

4.3.2.3 AICV cenário 2

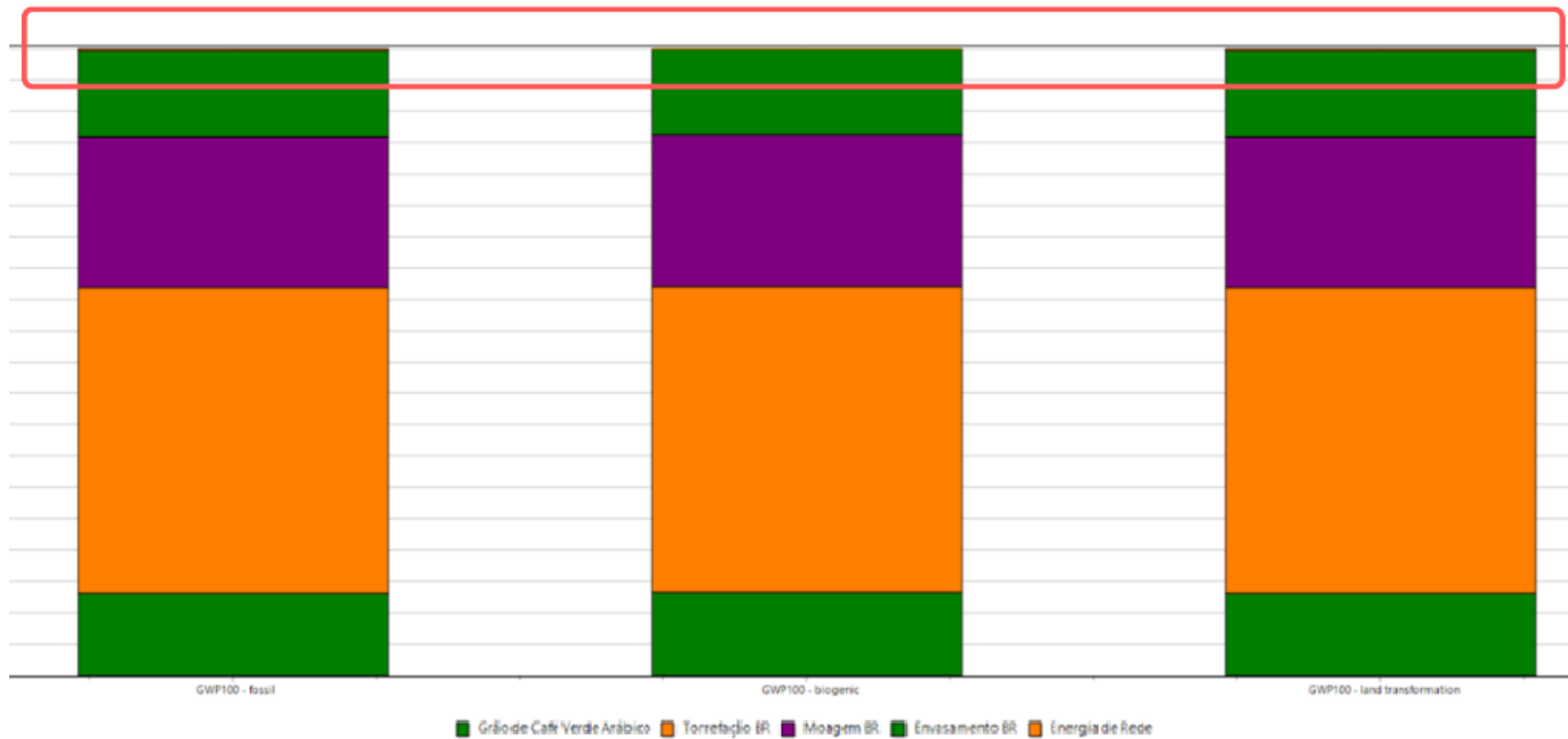
O cenário 2 utiliza os mesmos insumos do cenário anterior, mas, com o consumo de energia fotovoltaica para realizar as etapas do processo de produção do café. O resultado da AICV com a energia fotovoltaica é ilustrado na FIGURA 13.

FIGURA 13 - AICV PELO MÉTODO DO IPCC REFERENTE À UTILIZAÇÃO DA ENERGIA FOTOVOLTAICA



Fonte: O Autor (2022)

FIGURA 14 - ÁREA DELIMITADA DA AICV PELO MÉTODO DO IPCC REFERENTE À UTILIZAÇÃO DA ENERGIA FOTOVOLTAICA



Fonte: O Autor (2022)

Diferentemente do cenário 1, o cenário 2 (FIGURA 13), no consumo de energia do processo produtivo do café, gera menos emissões de GEE considerando o uso da energia fotovoltaica. Com base na área delimitada em vermelho na FIGURA 14, observa-se quase imperceptível o consumo da energia em questão.

Os dados mostrados na TABELA 3 foram gerados a partir do método IPCC, onde é possível visualizar as emissões de GEE em kg CO₂ equivalentes, utilizando a energia fotovoltaica.

TABELA 3 - CATEGORIAS DE IMPACTO REFERENTE À UTILIZAÇÃO DA ENERGIA FOTOVOLTAICA

Categoria de impacto	Unidade	Quantidade	Energia Fotovoltaica
GWP - fóssil	kg CO ₂ eq.*	32,9	0,127
GWP - biogênico	kg CO ₂ eq.*	3,39	0,0628
GWP – ocupação da terra	kg CO ₂ eq.*	0,077	0,0000246

Fonte: O Autor (2022)

* kg CO₂ eq. – Quilo de CO₂ equivalente

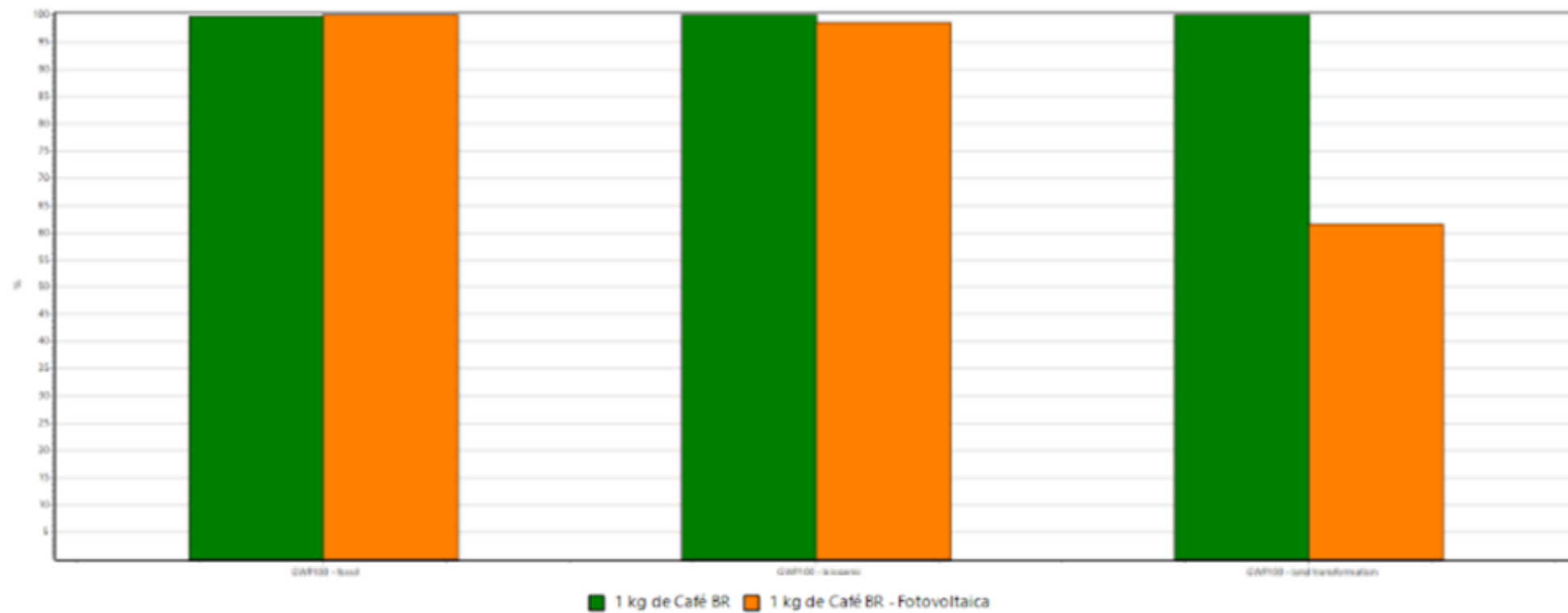
A categoria de maior impacto é a referente ao GWP - fóssil.

4.3.3 Comparação dos cenários

A partir do método IPCC, é possível perceber que as emissões de GEE são maiores quando a produção utiliza a energia de rede para produzir 1 kg de café, chegando a um total de 37,485 kg CO₂ eq., enquanto com a energia fotovoltaica, as emissões chegam a 36,367 kg CO₂ eq. A energia de rede tem um aumento de 1,118 kgs de emissões, totalizando um valor percentual de 2,98%. A diferença não é alta, porém, quando se tratando de kg CO₂ eq, é um valor considerável.

A diferença só não é maior devido ao processo de torrefação, que não utiliza energia de rede, tampouco energia fotovoltaica. É utilizado apenas gás natural em seu processo. Também é possível visualizar essa diferença na FIGURA 15.

FIGURA 15 - COMPARAÇÃO DA ENERGIA DE REDE COM A ENERGIA FOTOVOLTAICA



Fonte: O Autor (2022)

Na FIGURA 15, a cor verde representa a produção de 1 kg de café com a utilização da energia de rede, e a cor laranja representa a produção de 1 kg de café com o uso da energia fotovoltaica. Na primeira dupla de gráficos, a diferença entre produção de café com energia fotovoltaica e a produção com energia de rede é quase mínima, pois como dito anteriormente, no processo de torrefação, é usado apenas o gás natural, causando mais emissões de GEE.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo apresentar a avaliação do ciclo de vida da produção de café, utilizando a energia da rede em comparação com a energia fotovoltaica, fornecendo resultados que se aproximam a realidade do país.

Os resultados foram obtidos com base na correlação dos dados de inventário da produção de 1kg de café com as categorias de impacto ambiental, conforme fatores de equivalência já existentes do método. A Categoria de Impacto neste estudo foi Potencial de Aquecimento Global – GWP.

Os resultados evidenciaram que as categorias de impactos ambientais mais relevantes ao ciclo de vida do processamento café, são as relacionadas com a energia de rede. Foi possível identificar que o processo que mais gera emissões de gases do efeito estufa é o processo produtivo do grão de café verde, nos quais geram maiores impactos nas etapas de irrigação e na fertilização, e o processo produtivo da torrefação, por utilizarem no processamento o gás natural.

Os resultados demonstraram que o uso da energia elétrica no processamento do café, gerou emissões de GEE no valor total de 37,485 kg CO₂ eq, enquanto com o uso de energia fotovoltaica, 36,367 kg CO₂ eq. A diferença entre os dois cenários foi de 1,118 kgs, totalizando um valor percentual de 2,98%.

A utilização da energia solar é uma fonte de energia que pode contribuir para a diminuição das emissões de gases de efeito estufa nas indústrias, mas no estudo percebe-se que ela também tem o seu impacto no meio ambiente, começando pela fabricação das placas fotovoltaicas.

As limitações da pesquisa foram devido à falta de informações da empresa, pois manteve sigilo a respeito de partes do balanço de massa da produção. Então, foi utilizado o banco de dados EcolInvent, adaptando algumas informações referente às

entradas e saídas dos processos, considerando a realidade de produção do café com a realidade brasileira.

Para trabalhos futuros poderá ser realizado um estudo de todo o ciclo de vida da produção de café, desde o plantio até o descarte, utilizando a energia fotovoltaica, para a completa análise dos impactos ambientais. Se fossem incluídas todas as etapas de processo, seriam mais completa a diferença entre eles. Porém pode-se concluir que a energia fotovoltaica emite menos gases do efeito estufa, sendo ela menos prejudicial ao meio ambiente.

REFERÊNCIAS

ALVES, M. O. L. Energia solar: Estudo da geração de energia elétrica através dos sistemas fotovoltaicos *on-grid* e *off-grid*. 76 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Elétrica - Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO CAFÉ (ABIC). Brasil, 1973.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6023: informação e documentação – referências – elaboração. Rio de Janeiro, 2018.

BALAT, M. *Usage of energy sources and environmental problems*. In: **Energy Exploration & Exploitation**, v. 23, n. 2, p. 141-168, 2005.

BNDES. **Porte de empresa**. [S.I.], [S.I.]. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home>. Acesso em: 18/04/2022.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Protocolo de Quioto**: a convenção sobre mudança do clima: O Brasil e a convenção – quadro das nações unidas. Brasília, 1998. Disponível em: <https://livroaberto.ibict.br/bitstream/1/855/2/Protocolo%20de%20Quioto.pdf>. Acesso em: 29/03/2022.

BURSZTYN, Marcel. **A difícil sustentabilidade**: Política energética e conflitos ambientais. Rio de Janeiro: Garamond, 2001.

CAMIOTO, F. C. **O uso de fontes limpas de energia na indústria paulista**: um estudo envolvendo a técnica do incidente crítico e a análise conjunta. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos: 2010.

CAVALCANTE, L. V. C.; OLIVEIRA, V. M. U. L. Sistemas Fotovoltaicos: Uma alternativa na geração de energia elétrica. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, [S.I.], vol. 07, [S.I.], p. 104-126, nov. 2020. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-eletrica/energia-eletrica>. Acesso em: 07/03/2022.

CESSEL, B.G. **Avaliação do ciclo de vida da reciclagem dos resíduos eletroeletrônicos no município de Jandaia do Sul: estudo da fase do transporte**. Jandaia do Sul, 2020.

CRABTREE, G. W.; LEWIS, N. S. **Solar energy conversion**. *Physics Today*, 60 (3). p.37-42, 2007. Disponível em: <https://resolver.caltech.edu/CaltechAUTHORS:CRApt07>. Acesso em: 03/03/2022.

DINCER, I. *Energy and Environmental Impacts: present and future perspectives*. In: **Energy Sources**, [S.L.], v. 20, n. 4-5, p. 427-453, maio 1998. Informa UK Limited. Disponível em:

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00908319808970070>. Acesso em: ago. 2022.

DINCER, I; ROSEN, M. A. **Energy, environment and sustainable development. Applied Energy**, v. 64, p. 427-440, 1999. Disponível em: https://econpapers.repec.org/article/eeeappene/v_3a64_3ay_3a1999_3ai_3a1-4_3ap_3a427-440.htm. Acesso em ago. 2022.

DOVERS, S.; HANDMER, J. *Contradictions in Sustainability. Environmental Conservation*, 20(3), p. 217-222, 1993.

DUPONT, F. H.; GRASSI, F.; ROMITTI, L. Energias renováveis: Buscando por uma matriz energética sustentável. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, [S. l.], v. 19, p. 70–81, 2015.

ECCAPLAN. Eccaplan Inventário de Emissões. São Paulo, [S.I.]. Disponível em: <https://eccaplan.com.br/consultoria/inventario-de-emissoes>. Acesso em: 27/03/22.

EMBRAPA. **Estimativa do faturamento dos Cafés do Brasil atinge R\$ 71 bilhões em 2022**. Brasília, 2022. Disponível em: www.embrapa.br. Acesso em: 01/03/2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Mudanças Climáticas e Transição energética**. Rio de Janeiro, [S.I.]. 2020.

FAFESP. **Um futuro com energia sustentável: iluminando o caminho: relatório técnico**. São Paulo, 2010.

FERREIRA NETO, Amir Borges; CORRÊA, Wilson Luiz Rotatori; PEROBELLI, Fernando Salgueiro. Consumo de Energia e Crescimento Econômico: Uma análise do Brasil no período 1970-2009. **Análise Econômica**, v. 34, n. 65, p. 181-204, mar. 2016.

FGV EAESP. **Programa Brasileiro GHG Protocol**. São Paulo, [S.I.]. Disponível em: <https://eaesp.fgv.br/centros/centro-estudos-sustentabilidade/projetos/programa-brasileiro-ghg-protocol>. Acesso em: 12/04/2022.

FILHO, N. C.; KOPITKE, B. H. **Análise de Investimentos: Manual para solução de problemas e tomada de decisões**. 12. ed., São Paulo, Atlas, 2019.

FURTADO, J. M. S. **Comparação de Métodos e Ferramentas de Análise de Impacto de Ciclo de Vida, aplicados a processos químicos alternativos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial), - Instituto Superior Técnico de Lisboa, Lisboa, 2014.

GALLOTTI, V. D. M. Eficiência energética e empoderamento das suas políticas públicas. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, [S.I.], vol. 11, p. 93-113, mai. 2021. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-eletrica/energetica-e-empoderamento>. Acesso em: 05/03/2022.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOLDEMBERG, José; LUCON, Oswaldo. Energias renováveis: um futuro sustentável. **Revista USP**, São Paulo, n. 72, p. 6-15, dezembro/fevereiro, 2007.

GUTMAN, Verônica. Alcances e limitações da Análise Custo-Benefício (ACB) para a avaliação de medidas de adaptação à mudança climática: relatório técnico. [S.l.], 2019.

GVces; MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE; CEBDS; WBCSD; WRI. **Guia para a elaboração de inventários corporativos de emissões de gases do efeito estufa**. São Paulo: CETESB, 2009. 24 p. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/inventario-gee-sp/2008/10/24/guia-para-a-elaboracao-de-inventarios-corporativos-de-emissoes-de-gases-de-efeito-estufa-gee/>. Acesso em: 10/04/2022.

HAUSCHILD, M.; JESWIET, J.; ALTING, L. **From life cycle assessment to sustainable production: Status and perspectives**. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, Paris, 2005.

IBGE. **Estatísticas do Cadastro Central de Empresas 2018**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101720.pdf>. Acesso em: 20/04/2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Bibliografia Brasileira de Ciência da Informação: 1984/1986. Brasília: **IBICT**, 1987.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (**INPE**). SGI 2.5 – Introdução ao Sistema de Informações Geográficas – SGI. Imagem Geosistemas São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1995.

International Energy Agency (IEA, 2020). **SDG7: Data and Projections. Access to electricity**. Novembro, 2019. Disponível em: www.iea.org. Acesso em: março de 2022.

Intergovernmental Painel on Climate Change (IPCC). **Global warming of 1.5°C**. Suíça, 2018. ISBN 978-92-9169-151-7.

IPCC, 2007b: IPCC Fourth Assessment Report: **Climate Change 2007. Climate Change 2007: Working Group III: Mitigation of Climate Change**. Intergovernmental Panel on Climate Change, Executive Summary. Disponível em http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg3/en/ch1s1-es. Acesso em 12/04/2022.

JÚNIOR, A.C.; SOUZA, I. M. **Células fotovoltaicas: O futuro da energia alternativa**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia, 2018.

LARA, Leonardo Gomes; DUARTE, Neimar de Freitas; LEMOS, Carlos Fernandes. **A Importância de Inventários de Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) em**

Governos Locais. VIII Semana de Ciência e Tecnologia do IFMG campus Bambuí, Bambuí, [S.I.]. 5 p. Disponível em: <https://www.bambui.ifmg.edu.br/evento/images/SEP/2015/01.pdf>. Acesso em: 18/03/2022.

MATOS, A.T. 2010. Poluição ambiental: impactos no meio físico. Viçosa: UFV.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Atlas da Eficiência Energética: Brasil / 2020. Relatório de Indicadores:** relatório técnico. [S.I.], 2020.

NASCIMENTO, Luis Felipe. **Gestão ambiental e sustentabilidade.** 2. ed. Florianópolis: Departamento de Ciências da Administração/UFSC, 2012.

NBR ISO 14040: Gestão Ambiental - Avaliação do Ciclo de Vida - Princípios e Estrutura. Rio de Janeiro, 2009.

NBR ISO 14044: Gestão Ambiental - Avaliação do Ciclo de Vida - Requisitos e Orientações. Rio de Janeiro, 2009.

NOVAIS, Millena Pina de; ASSUNÇÃO, Raiane Oliveira; NASCIMENTO, Rudgero Oliveira do. Viabilidade de aplicação e reaproveitamento de energia solar conectada à rede elétrica para uma residência unifamiliar. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento.** [S.I.], vol. 03, p. 185-205, dez. 2021. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/viabilidade-de-aplicacao>. Acesso em: 10/03/2022.

OMM, Organização Meteorológica Mundial, 2017: “*WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals*”, WMO-TD No. 1203, Genebra, Suíça.

PBMC – PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS; BUSTAMANTE, Mercedes; LA ROVERE Emilio Lebre. **Mitigação das mudanças climáticas.** Rio de Janeiro; 2014. p. 1-26.

PINTO NETO, Aimé Fleury de Carvalho. **Avaliação do impacto de sistemas fotovoltaicos conectados à rede de distribuição de baixa tensão.** Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Energia. Universidade de São Paulo. São Paulo: 2017.

PINTO, Cristiano da Silva. **Inventário de Emissões de Dióxido de Carbono devido ao Uso de Energia:** a Região de Campinas e seu Setor Sucro-Alcooleiro. Orientador: Ennio Peres da Silva. 1999. 96 f. Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

PORTAL SOLAR. **Tipos de sistemas fotovoltaicos.** São Paulo, [S.I.]. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-sistemas-fotovoltaicos>. Acesso em: 12/04/2022.

PRé Consultants. *Introduction to LCA witch SimaPro 7.* Holanda, 2010.

RIBEIRO, I.; FILHO, E.; SANTOS, M. **Inventário do impacto ambiental da produção cafeeira tipo arábica em uma propriedade certificada no Sul de Minas Gerais**. Santos, São Paulo 2019.

SANTOS, R. M.; RODRIGUES, M. S.; CARNIELLO, M. F. Energia e Sustentabilidade: Panorama da matriz energética brasileira. **Revista Scientia**, Salvador, v.6, n. 1, p. 13-33, abr. 2021. Disponível em: <https://www.revistas.uneb.br/index.php/scientia/article/view/9396/7456>. Acesso em: 20/03/2022.

SCHELLING, T. C. *Global environmental forces*. In: **HELM, J. L. (Ed.) Energy production, consumption, and consequences**. National Academy Press, Washington, p. 75-84, 1990.

SEBRAE. **Anuário do trabalho na micro e pequena empresa 2013**. São Paulo, 2013. Disponível em: www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Anexos/Anuario%20do%20Trabalho%20Na%20Micro%20e%20Pequena%20Empresa_2013.pdf. Acesso em: 16/03/2022.

SILVA, Alexandre José de Souza. **Mitigação das emissões de dióxido de carbono na Região do Vale do Aço–MG, através da utilização do gás natural**. 69 f. Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação em Engenharia Ambiental Profissional, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4. ed. Florianópolis: Atual, 2005.

SIMAPRO. *About SimaPro: The world's leading LCA software chosen by industry, research institutes, and consultants in more than 80 countries*. Disponível em: SimaPro - *PRé Sustainability (pre-sustainability.com)*. Acesso em: 17/07/2022.

SVIECH, Vinicius; MANTOVAN, E. A. **Análise de investimentos: controvérsias na utilização da TIR e VPL na comparação de projetos**. Unicuritiba, Curitiba, v. 1, n. 13, p. 1-28, 2013.

TEIXEIRA, Júlio César. Sustentabilidade: como é, benefícios e exemplos. **Fundação Instituto de Administração**. [S.l.], 23 nov. 2021. Disponível em: <https://fia.com.br/blog/sustentabilidade/>. Acesso em: 03/04/2022.

TOLMASQUIM, M. T. **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. Rio de Janeiro: EPE, 2016.

VERMA, D.; MIDTGARD, O.-M.; SATRE, T. O. *Review of photovoltaic status in a European (EU) perspective*. In: *37th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)*. p. 3292-3297, 2011.

WENZEL, H., HAUSCHILD, M. Z., & Alting, L. **Environmental Assessment of Products, Volume 1: Methodology, tools and case studies in product development**. Chapman & Hall, 1997.

YIN, Robert K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

APÊNDICE 1 - TABELA COLETA DE DADOS

Este questionário visa coletar dados para a análise do presente estudo.

Processo:	Qtd.	Unid.
Entradas		
Entradas de matéria prima		
Entrada fonte energética		
Outras entradas:		
Saídas		
Produtos/ Subprodutos		
Resíduos Sólidos		
Efluentes		
Emissões		
Outros		