



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"**

SHIRLEI ARAÚJO DE ALMEIDA

**PELÍCULA PRATEADA: RESÍDUO DA INDÚSTRIA CAFEIEIRA COMO
ALTERNATIVA NA GERAÇÃO DE BIOGÁS**

SOROCABA

2024

Shirlei Araújo de Almeida

**PELÍCULA PRATEADA: RESÍDUO DA INDÚSTRIA CAFEEIRA COMO
ALTERNATIVA NA GERAÇÃO DE BIOGÁS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia, Campus de Sorocaba.

Orientador: Prof. Dr. Sandro Donnini Mancini.

SOROCABA

2024

	Almeida, Shirlei Araújo de
A447p	Película prateada : resíduo da indústria cafeeira como alternativa nageração de biogás / Shirlei Araújo de Almeida. -- Sorocaba, 2024
	38 p. : il., tabs., fotos, mapas
	Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba
	Orientador: Sandro Donnini Mancini
	1. Café. 2. Biogás. 3. Café - Resíduos. 4. Economia circular. I.
	Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de
Ciência e Tecnologia, Sorocaba. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada

Shirlei Araújo de Almeida

**PELÍCULA PRATEADA: RESÍDUO DA INDÚSTRIA CAFEEIRA COMO
ALTERNATIVA NA GERAÇÃO DE BIOGÁS**

Sorocaba, 15 de fevereiro de 2024

Prof.Dr. Sandro Donnini Mancini
Orientador

Trabalho aprovado por meio de parecer, homologado pelo Conselho de Curso em reunião de
15 de fevereiro de 2024

Sorocaba/SP
2024

AGRADECIMENTOS

São diversos os motivos para agradecer, e esses não poderiam iniciar de outra forma; agradeço a minha família por tornarem possível a conclusão desse ciclo, que sem dúvida alguma mudou a minha vida para sempre.

À minha mãe, Janeci, por ser minha melhor amiga, por todos os conselhos e acolhimento que me mantiveram fortes, quando a saudade de casa apertava.

Ao meu pai, Gerson, que sem pensar duas vezes me ajudou a entender o quanto íamos fazer com que tudo isso desse certo, e por demonstrar orgulho em todos os nossos passos.

À minha irmã, Adriana, que me apoiou e me fez enxergar um futuro tão lindo, nunca jamais imaginado; e que por meio de suas conquistas me incentiva todos os dias a ser intensa em todos os meus sonhos, em especial ao de engenheira ambiental.

À UNESP e sua equipe, por todos os aprendizados durante esses anos, por cada experiência e por cada desafio, que fizeram possível a formação na profissão que tanto me identifico.

Ao Prof. Dr. Sandro Donnini Mancini, por ter aceitado o convite para me orientar, acreditando na proposta do meu trabalho, e por sua atenção durante o processo para que pudesse concluir essa etapa.

As minhas amigas, que tornaram o período da faculdade inesquecível e que foram alicerce imprescindível em todos os momentos, lembrados com tanto carinho ao seu lado: Beatriz Hanada, Beatriz Marina, Gabriela Balieiro, Camila Naomi, Carolina Yumi, Danielle Javaro, Clórys Castro, Bianca Themoteo e Alessandra Yumi. Agradeço ainda a Abbie por unir tantas mulheres das quais me orgulham.

Ao Movimento Empresa Júnior (MEJ), em especial a empresa Dinâmica Engenharia Júnior, que trouxe a possibilidade para atuação em minha área de estudo, ainda durante o curso, contribuindo para a aplicação dos conhecimentos em projetos ambientais.

RESUMO

Café, a segunda bebida mais consumida no mundo, apresenta grande importância para a economia do Brasil, país maior produtor desde o ano de 1850, ainda que não seja o território de origem da planta. A liderança na produção faz necessário o incentivo a pesquisas que objetivem a minimização dos impactos ambientais atrelados ao subproduto nomeado como película prateada, obtida durante o processo de torrefação dos grãos. O modelo de economia circular (EC) para aproveitamento dos resíduos, demonstra correlação às políticas e objetivos vigentes no país, com viés a redução dos gases de efeito estufa (GEE), diretamente relacionados ao uso superabundante dos combustíveis fósseis, além da problemática aos montantes de resíduos descartados de forma inadequada, sem que seja explorada todas as possibilidades a partir do mesmo. Isto posto, o biogás apresenta-se como alternativa para a geração de energia através da decomposição anaeróbia da matéria orgânica, eliminando gases de preocupação global.

Palavras-chave: café; película prateada; economia circular; biogás.

ABSTRACT

Coffee, the second most consumed beverage in the world, is of great importance to Brazil's economy, which has been the largest producer since 1850, although it is not the plant's native territory. This leadership in production makes it necessary to encourage research aimed at minimizing the environmental impacts associated with the by-product known as silverskin, which is obtained during the grain roasting process. The circular economy (CE) model for waste recovery, and utilization shows a correlation with the policies and objectives in force in the country, with a view to reducing greenhouse gases (GHG), directly related by the overabundant use of fossil fuels, in addition to the problematics of the amounts of waste disposed of inappropriately, without exploring all its possibilities. That said, biogas is an alternative for generating energy through the anaerobic decomposition of organic matter, eliminating gases of global concern.

Keywords: coffee, silverskin, circular economy, biogas.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Países maiores produtores de café	11
Figura 2- Estrutura do grão de café	14
Figura 3- Gráfico de evolução da produção, exportação e importação de petróleo	17
Figura 4- Desenvolvimento dos tecidos durante a formação do fruto cafeeiro.....	24
Figura 5- Película prateada derivado do processo de torrefação dos grãos.....	25
Figura 6- Biogás no Brasil.....	27
Figura 7- Balanço de Massa Digestão Anaeróbica.....	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Características Coffea arábica e canephora.....	22
Tabela 2- Composição química do café cru	23
Tabela 3- Composição nutricional da película prateada (g por 100g).....	25
Tabela 4- Equivalência energética 1m ³ de biogás e outras fontes de energia	30
Tabela 5- Informações químicas e físicas da película prateada.....	30
Tabela 6- Valores obtidos decomposição anaeróbica película prateada	31

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BSCA	Associação Brasileira de Cafés Especiais
CNI	Confederação Nacional da Indústria
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
EC	Economia Circular
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GEE	Gases de Efeito Estufa
IBP	Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás
IRENA	Agência Internacional de Energia Renovável
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MDIC	Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
MMA	Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima
MRE	Ministério das Relações Exteriores
ODS	Objetivos de desenvolvimento sustentável
ONU	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
PDE	Plano Decenal de Expansão de Energia
PEB	Portal energia e biogás
PNE	Plano Nacional de Energia
PNMC	Plano Nacional sobre Mudanças Climáticas
PNP&D/Café	Programa Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento do Café
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
SNPA	Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS	13
2.1	Objetivo Geral	13
2.2	Objetivo Específico	13
3	REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1	Estrutura do Grão de Café	14
3.2	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ONU	15
3.3	Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e Economia Circular	16
3.4	Biocombustíveis	17
4	METODOLOGIA	19
5	RESULTADOS	21
5.1	Características das espécies de café produzidas no Brasil	21
5.2	Película Prateada	23
5.3	Expansão do biogás no Brasil	26
5.4	Aplicação da Película Prateada como biogás	27
6	CONCLUSÕES	33
	REFERÊNCIAS	34

1 INTRODUÇÃO

O café carrega consigo uma história de incerteza quanto ao seu descobrimento. Acredita-se ter início por volta do século XV nas terras altas da Abissínia, atual Etiópia, onde, de acordo com a Lenda de Kaldi registrada em manuscrito do Iêmen no ano de 575 d.C. Segundo o manuscrito, um pastor, ao notar efeitos estimulantes causados em suas cabras após o consumo de um fruto de coloração amarelo avermelhado até então desconhecido, decidiu também provar do fruto presente em arbustos no campo, o que resultou em uma sensação de energia após o consumo. Surpreso com o efeito, o pastor levou alguns desses frutos a um monge, que passou a utilizá-los em forma de chá, como ajuda para as rezas e vigílias noturnas (Martins, 2012). Essa é até os dias de hoje a história mais difundida quanto ao primeiro registro do consumo do café.

Com a descoberta dos efeitos causados pela planta, a procura pelo produto se deu de forma acelerada. Sua produção por já demonstrar grande vantagem econômica permaneceu por anos restrita ao Iêmen (atual Sudoeste da Ásia) sendo a primeira região a receber as sementes do fruto, onde limitavam por meio de políticas a quantia de café que poderia sair da região. Neste local, no século XVI, o café passou a ser produzido não mais em forma de chá, mas sim torrado como conhecido ainda em século XXI (Martins, 2012)

Ainda que o café tenha tido como território de origem o continente Africano, com a evolução dos processos produtivos em território árabe as plantas foram nomeadas como *kaweh* e sua bebida recebeu o nome de *kahwah* ou *cahue* que significa “força” em árabe. (Martins, 2012). O crescente interesse pelo produto reforçava a política mercantilista da Arábia, sendo posteriormente desenvolvido em todo Ocidente, por meio da economia capitalista, para o avanço da planta como produto de orientação para resistência às práticas espirituais, assim como quando descoberta na África (Martins, 2012).

Com toda evolução do consumo, a Turquia registra em 1475 a primeira cafeteria, conhecida como *Kiva Han*, localizada na capital Constantinopla e responsável pela popularização do consumo do café como ritual de socialização (Martins, 2012).

No Brasil, as mudas de café chegaram no início do século XVIII, mais precisamente no ano de 1727, através do diplomata português Francisco de Mello Palheta, vindo da Guiana Francesa para o estado do Pará (ABIC, 2021).

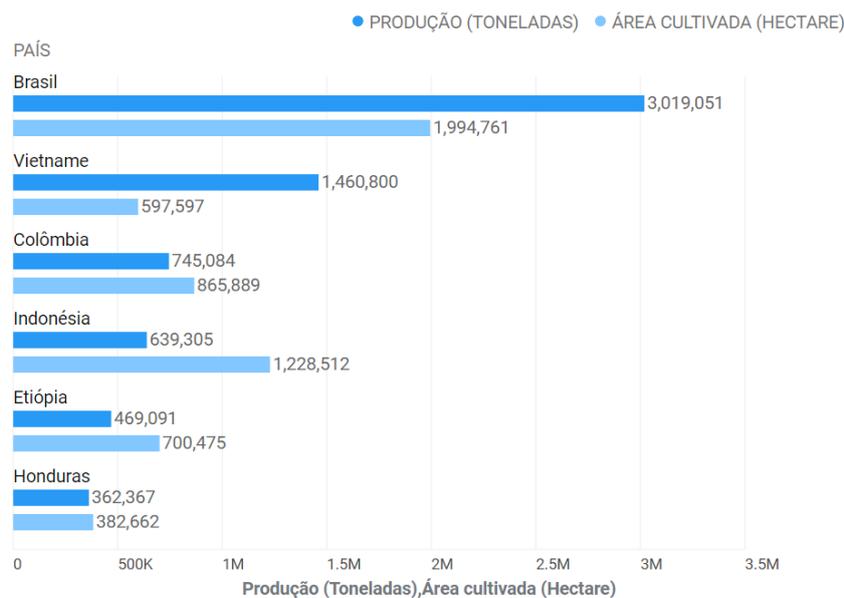
O cultivo no país se deu inicialmente na região nordeste e em pequenas proporções, como produto de uso doméstico. Sua expansão para a região sudeste trouxe transformação

quanto ao interesse do plantio, sendo que no ano de 1781 inicialmente na cidade do Rio de Janeiro, às plantações trouxeram reforma na economia cafeeira, posteriormente desenvolvida também no estado de São Paulo (ABIC, 2021).

Providos de condições climáticas, solo e relevo favoráveis para o crescimento do café, o Brasil já em no ano 1850 tornou-se o país maior produtor de café do mundo, responsável por 40% da produção mundial. A cidade de Vassouras, no Rio de Janeiro, era considerada a capital do café no mundo. (MAPA, 2022)

Atualmente, após cerca de 170 anos desde o alcance de tal título, o país permanece liderando a produção mundial do café, a qual equivale a aproximadamente 3 milhões de toneladas produzidas anualmente, segundo dados divulgados no ano de 2022 pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) e ranking apresentado na Figura 1 (Produção [...], [ca. 2020]).

Figura 1- Países maiores produtores de café



Fonte: Produção [...] ([ca. 2020])

Quanto às regiões de desenvolvimento do café, dados divulgados pela Associação Brasileira de Cafés Especiais (BSCA) identificam 32 regiões espalhadas por 14 estados produtores, sendo sete regiões localizada em Minas Gerais, seis no estado de São Paulo, três na Bahia, e no Rio de Janeiro; duas no Espírito Santos, Paraná e Rondônia; uma no Acre, Pernambuco, Distrito Federal, Mato Grosso, Goiás, Ceará e na divisa do Espírito Santos com Minas Gerais (BSCA, 2023).

A ampla conquista de espaço mundial faz do café importante aliado a economia do Brasil, que investe de forma crescente em tecnologia, contando com estruturas como o Consórcio Pesquisa Café elaborado em 1996 através do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), e do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC), com a formação do Protocolo de Intenções para a criação do Programa Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento do Café (PNP&D/Café), coordenado pela Empresa Brasileira de Pesquisa (EMBRAPA) e executado em parceria com as instituições do Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária (SNPA), de forma a fomentar a pesquisa e garantir a influência do café brasileiro em mais de 140 países (Consórcio Pesquisa Café, [ca. 2011]).

Dentre as pesquisas realizadas no país, os diversos resíduos obtidos durante os processos de industrialização do café, faz necessário alternativas que objetivem o modelo de Economia Circular (EC), com a priorização ao aproveitamento dos subprodutos gerados, a otimização dos processos industriais e sustentabilidade dos recursos, junto ao seu aproveitamento contínuo no setor econômico (National Geographic, 2022).

Um importante resíduo da indústria cafeeira, é nomeado como película prateada, a qual refere-se ao principal subproduto gerado no processo de torrefação dos grãos. Correspondendo a aproximadamente 4,2% da cereja do café; apresentando-se como oportunidade para geração de biogás, devido suas propriedades químicas e o volume em que é gerado, decorrente a produção do café no Brasil (Basílio, 2018).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Considerando a importância do café para o Brasil, o trabalho visa o estudo de alternativas para a inserção de um dos principais resíduos de sua produção, a película prateada do café. Dentre as alternativas possíveis para tornar a economia do café mais circular, a utilização da película para sua transformação em biogás será abordada.

2.2 Objetivo Específico

- Identificar Políticas Nacionais para tratativa de resíduos industriais
- Analisar composição química da película prateada
- Identificar fatores necessários para geração de biogás

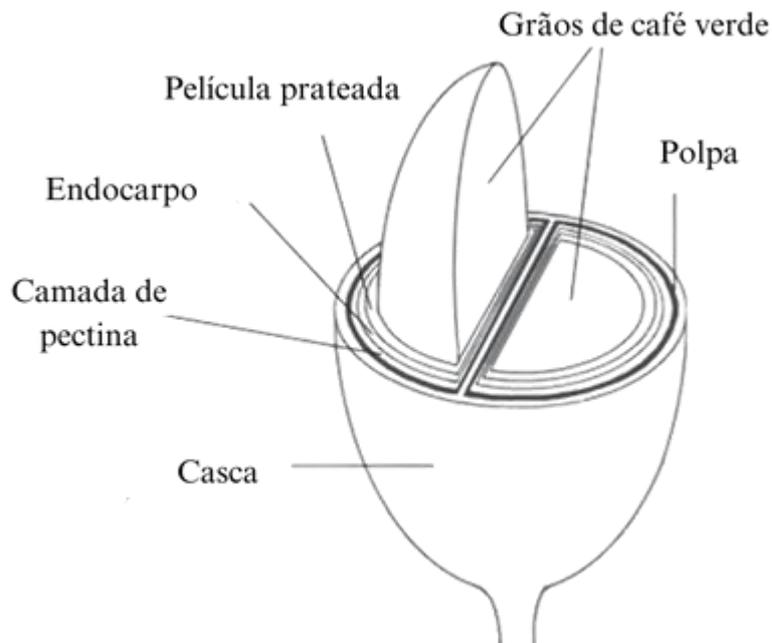
3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Estrutura do Grão de Café

O fruto do café é composto por diversas camadas (Figura 2) onde segue da casca (exocarpo), a polpa (mesocarpo), camada de pectina, endocarpo (pergaminho), este último envolto pela película prateada (tegumento) (Yusaku; Kuniyo, 2014).

Das camadas presentes no fruto, o grão de café é o principal produto comercializado, representando aproximadamente 50% da matéria seca do fruto. As demais camadas se tornam subprodutos durante o processo para industrialização (Franca *et al.*, 2009).

Figura 2- Estrutura do grão de café



Fonte: Adaptado de Yusaku e Kuniyo (2014).

Cerca de 7 meses são necessários, desde a floração, até o período de maturação. Nesta última fase, o fruto se denomina como grão cereja e apresenta umidade entre 44% e 55%, o que é condição ideal para a colheita. Esta será influenciada pela temperatura da região, fase de exposição do terreno, pelo sistema do plantio, e pelo sucedido período de chuvas. Com relação ao período de chuvas, quando este é apresentado de forma frequente, na etapa de granação e início de maturação, eleva o nível de umidade do solo, retardando o amadurecimento dos grãos (Diniz, 2020).

Em geral, as colheitas de café no Brasil ocorrem no período de março até setembro, e em alguns casos prolongam-se até dezembro. Mas a maior parte da colheita de café no país é realizada nos meses de junho e agosto (Diniz, 2020).

Diversos subprodutos são obtidos após a colheita dos grãos. Dentre eles, água residuária, resultante do processo de lavagem do fruto; polpa obtida após a lavagem dos grãos cerejas, e cascas após o descascamento dos grãos (Irawan; McLellan, 2023).

Quanto ao processo industrial, a produção do café abrange as etapas de secagem, resfriamento, torrefação e moagem, nas quais se tem o subproduto nomeado como película prateada, que se desprende devido a expansão do grão com o calor, sendo o único resíduo gerado no processo de torrefação dos grãos; etapa indispensável para a obtenção do produto. Com a conclusão do processo de torra, toneladas da película são geradas e destinadas através das indústrias ao descarte final. (Nolasco *et al.*, 2022).

3.2 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ONU

Com o crescente aumento populacional, a demanda pelo uso dos recursos naturais também cresce de forma acelerada, e o processo de urbanização requer da natureza uma quantidade de recursos dos quais o ecossistema não é capaz de gerar. Isso porque, com a grande demanda, o mesmo não possui tempo para renovação, processo também modificado pelo homem e que ocasiona desequilíbrio. Segundo dados da organização de pesquisa Global Footprint Network, no dia 2 de agosto de 2023 a humanidade entrou em déficit com o planeta. Ou seja, o consumo de recursos naturais até esse dia do ano ultrapassou a capacidade que o planeta apresenta de renovação natural (Global Footprint Network, 2023).

A preocupação quanto ao desenvolvimento sustentável, ou seja, capacidade de fornecimento dos recursos para a atual sociedade, sem que sejam comprometidas as gerações futuras, requer de toda a humanidade iniciativas para diminuição do impacto ambiental e restauração do equilíbrio dos ecossistemas. Com base na problemática, a Organização das Nações Unidas (ONU) firmou em 2015 um acordo global, envolvendo 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) a serem alcançados até o ano de 2030. Essas ODS juntam crescimento econômico, inclusão social e proteção do meio ambiente, e deverão ser implantados em conjunto, visando o equilíbrio e distribuição igualitária. O compromisso foi assumido por 193 países membros da Organização das Nações Unidas, comprometidos com a Agenda 2030, sendo o Brasil, um deles (MRE, 2022).

Segundo o Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA), os ODS que se referem à dimensão ambiental

Trata da preservação e conservação do meio ambiente, com ações que vão da reversão do desmatamento, proteção das florestas e da biodiversidade, combate à desertificação, uso sustentável dos oceanos e recursos marinhos até a adoção de medidas efetivas contra mudanças climáticas (MMA, 2022)

3.3 Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e Economia Circular

Durante muito tempo, de forma diária em todo o mundo, inúmeras matérias obtidas durante processos de fabricação e consumo eram descartadas como rejeitos, o que implicava em um grande volume de produtos e subprodutos inviabilizados, e na disposição deste em locais posteriormente contaminados e esgotados, devido a frequência com que tal processo ocorria (Melo *et al.*, 2018).

A valorização para a recuperação dos resíduos expõe a possibilidade para a redução dos impactos ambientais causados principalmente por atividades antrópicas, que colocam em risco todo o ecossistema e conseqüentemente comprometem a qualidade de vida de todos os seres. O consumo superabundante, faz necessário o estudo por alternativas que objetivem a conservação e recuperação dos recursos naturais (Melo *et al.*, 2018).

Desta forma, no dia 02 de agosto de 2010, após vinte e um anos de discussão quanto ao tema, foi promulgada a Lei Nº 12.305 que se refere a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Esta apresenta a hierarquia que deve ser obedecida na gestão de resíduos sólidos no país: “Não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos” (Brasil, 2010). Ademais, considera como rejeitos “aqueles resíduos sólidos em que foram esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, sendo o aterro sanitário a única tecnologia permitida para essa finalidade” (Brasil, 2010).

A Lei Federal explicita ainda, a obrigatoriedade da responsabilidade por parte de toda a sociedade, para o ciclo de vida dos produtos e a gestão de seus resíduos, de modo que haja oposição ao modelo de economia linear. Na economia linear se tem a extração do recurso, a produção e distribuição através destes, seu uso e consumo, para posterior descarte de seus subprodutos (Zago; Barro, 2012).

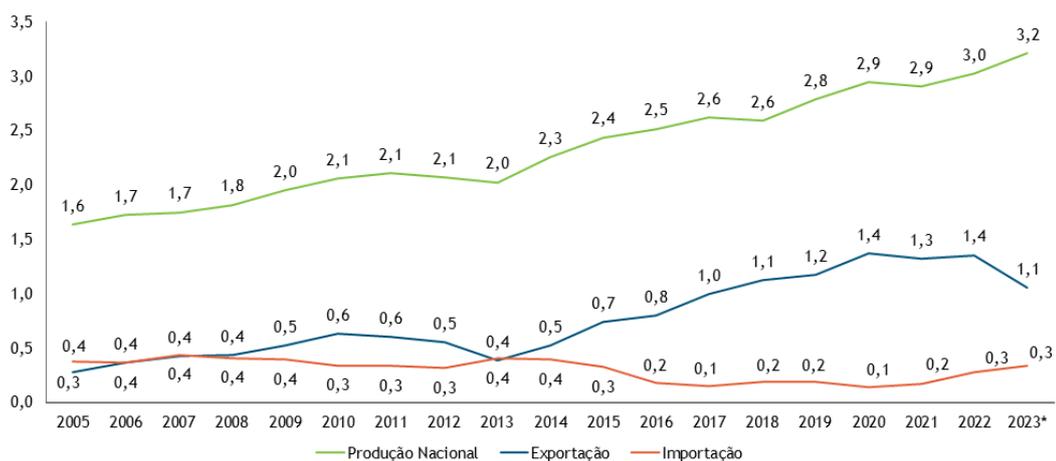
Como alternativa, a Economia Circular (EC) visa um sistema para aproveitamento eficiente dos recursos naturais de forma a otimizar os processos de fabricação priorizando por insumos recicláveis e renováveis (National Geographic, 2022). Nesse modelo é possível reduzir a quantidade de matéria prima extraída da natureza, e conseqüentemente diminuir o desperdício

ao longo de toda a cadeia (National Geographic, 2022). Para as indústrias, a Economia circular (EC) apresenta redução de custos, por meio de estoques finitos e fluxos renováveis, oferecendo de materiais de maior utilidade, lucros e na diminuição da extração de matérias primas (ONU, 2019).

3.4 Biocombustíveis

O potencial para esgotamento das tradicionais fontes fósseis e a problemática atrelada às questões ambientais, faz necessário o aumento da eficiência energética e o desenvolvimento de novas alternativas, de forma a despriorizar a utilização de combustíveis derivados do petróleo. Essa fonte energética teve suas exportações correspondentes a 31% da produção nacional no Brasil entre o ano de 2005 e 2022; além do que, apresentou, no mesmo período, média de 14% das importações, conforme apresentado na Figura 3 (IBP, 2023).

Figura 3- Gráfico de evolução da produção, exportação e importação de petróleo



Fonte: IBP (2023).

A queima de combustíveis fósseis está diretamente atrelada às emissões de gases de efeito estufa (GEE), como o dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O), que absorvem parte da radiação emitida pela Terra, ocasionando elevação da temperatura do planeta e influenciando na qualidade de vida. A redução dessas emissões tem sido questão de esforço mundial e, no Brasil, políticas para redução dos gases são fomentadas, como o Plano Nacional sobre Mudanças Climáticas (PNMC), Plano Nacional de Energia (PNE), Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE), dentre outros. Esses planos, entre outros aspectos, visam o incentivo para o desenvolvimento de ações de mitigação e aumento na eficiência energética (Martinez *et al.*, 2021)

Assim sendo, o uso de recursos naturais renováveis tem se tornado cada vez mais importante e a produção de biocombustíveis se demonstra como opção interessante, por serem obtidos através de fontes renováveis. A película prateada do café apresenta-se como aliada para a produção industrial de energia, e consequentemente, eliminação dos montantes de resíduos depositados muitas vezes em aterros sanitários, sem a devida valorização de seus componentes que favorecem a contaminação ambiental. (Czekala *et al.*, 2023)

4 METODOLOGIA

O presente trabalho trata-se de uma revisão bibliográfica, objetivando a inserção da película prateada no modelo de Economia Circular (EC), como alternativa para implementação no processo de geração de biogás, sendo fundamentado em base teórica.

Para estruturação, a pesquisa contou com a investigação de artigos identificados através da plataforma Google Acadêmico, e ademais com a junção de informações publicadas por órgãos públicos. A cronologia dos dados, dispõe de informações desde o ano de 575 d.C. onde se tem o marco do primeiro registro do conhecimento do café; até o atual ano de 2023, apresentando base para a importância do produto na economia do país no século XXI. A pesquisa priorizou por publicações entre o ano de 2012 a 2023 para obtenção de dados mais atualizados, visto que a história do café tem sido estudada a séculos. As palavras chaves utilizadas foram:

- Descoberta do café
- Importância do café no mundo
- Café no Brasil
- Economia circular
- Características dos grãos de café do Brasil
- Película prateada do café
- Petróleo no Brasil
- Biogás

A partir de informações quanto à estrutura do grão do café, realizou-se uma análise comparativa desde o plantio e composição, até o valor agregado para as duas espécies produzidas no Brasil, juntamente com o levantamento das previsões para o faturamento com a produção cafeicultura do país. Com a estimativa da produção, o estudo abrange ainda o impacto do subproduto (película prateada) obtido durante o processo de torrefação dos grãos, sua composição e volume.

Alinhado às legislações vigentes no Brasil, e aos objetivos para minimização dos impactos ambientais ocasionados pela alta demanda dos recursos naturais, realizou-se levantamento quanto às exportações, importações e consumo do petróleo no país, e a importância de alternativas para substituição dos combustíveis fósseis, e conseqüentemente o quanto a geração de gases do efeito estufa (GEE) poderia diminuir no caso de adição dessas alternativas.

Dentre as fontes de energia presentes no Brasil, o estudo priorizou o levantamento de dados para geração de biogás, partindo da análise da expansão e capacidade de tal fonte no país,

juntamente com as vantagens obtidas pelo processo. Neste estudo, considerou-se a película prateada como possível carga orgânica para a geração do biogás.

5 RESULTADOS

5.1 Características das espécies de café produzidas no Brasil

As etapas de processamento do café definem o sabor do produto e o preço agregado a ele. O café está entre as commodities alimentares mais importantes, ocupando ainda a posição de segunda bebida mais consumida no mundo, atrás apenas da água (MAPA, 2023).

Mais de 103 espécies de café são comercializadas, dentre elas, duas correspondem às variedades produzidas no Brasil: 1) o *Coffea arabica*, o qual conforme dados divulgados pela Embrapa representou 79% da área total de produção do país no ano de 2021, o que equivale a 1,43 milhão de hectares; e 2) o *Coffea canephora* (robusta e conilon), que apresentou porcentagem de 21% correspondendo a uma área de 389,19 mil hectares (Embrapa, 2022).

O sucesso no cultivo dos grãos inicia-se com a localização geográfica, temperatura, qualidade dos solos, adaptação das plantas às condições climáticas e tolerância às principais pragas da região. Para variedade do *coffea arabica*, a espécie é cultivada em altitude mais elevada, acima dos 1000 metros, com temperatura entre 18°C e 22°C e máxima de déficit hídrico em 100 mm/ano (Embrapa, 2004).

A espécie se desenvolve em mono caules de até 4 metros de altura e formação de folhas entre 10 cm e 15 cm de comprimento por 6 cm de largura, com coloração verde escuro dominante. As flores são hermafroditas e o fruto quando maduro apresenta cor vermelha ou amarela, em suma maioria composta por duas sementes, as quais são envolvidas pelo endocarpo (pergaminho), e recobertas por um perisperma delgado, conhecido como película prateada (Cortez, 2001).

Quanto a variedade *canephora*, presente em regiões com altitude inferior a 500 metros, e temperaturas elevadas, entre 24°C e 28°C, adaptam-se a déficit hídrico em 150 mm/ano devido o desenvolvimento de raízes maiores do que as da espécie arábica, o que possibilita maior absorção de nutrientes e água no solo (Embrapa, 2004). As plantas apresentam-se em arbustos com formação de multicaules e folhas em coloração verde menos intensa, com grande crescimento de flores brancas.

O fruto pode se dar de tamanhos variados e formato arredondado ou cumprido, com coloração vermelho claro a intenso, encontrando-se também na cor amarela, porém essa de forma mais rara (Embrapa, 2004). A Tabela 1 apresenta as variações de ambos os gêneros. (Embrapa, 2004).

Tabela 1- Características Coffea arábica e canephora

Características	Coffea arabica	Coffea canephora
Origem	Restrita (Etiópia)	Ampla (Bacia do Congo)
Altitude preferencial	Elevada, acima de 1000 m	Baixa, abaixo de 500 m
Temperatura preferencial	Amena, em torno de 18 °C e 22 °C	Elevada, entre 24 °C e 28 °C
Déficit Hídrico	Mais sensível, até 100 mm/ano	Menos sensível, até 150 mm/ano
Desenvolvimento Inicial	Rápido	Lento
Período de Maturação	Menor, em média 240 dias	Maior, em média 300 dias
Folha e Flor	Menores	Maiores
Cor do fruto	Mais claro	Mais escuro
Grãos Maduros	Caem no chão	Ficam na planta
Sólidos Solúveis	Menor teor	Maior teor
Bebida	Sabor suave	Sabor diferenciado
Cafeína	Menor	Maior
Ventos frios	Menos sensível	Mais sensível
Colheita	Permite mecanizar	Difícil mecanização
Secagem	Maior tempo	Menor tempo
Industrialização	Torrado e Moído	Solúvel e Blends
Preço	Maior	Menor
Mercado	Maior (70%)	Menor (30%)

Fonte: Adaptado de Embrapa (2004).

A composição de cada uma das espécies, apresenta-se diferente, devido as características distintas. A Tabela 2 identifica a composição do grão cru.

Tabela 2- Composição química do café cru

	Componente	Café Canephora (g 100g ⁻¹)	Café Arábica (g 100g ⁻¹)
	Cafeína	2,2	1,2
	Trigonelina	0,7	1
	Cinzas (41% correspondem a K)	4,4	4,2
	Clorogênico total	10	6,5
Ácidos	Alifático	1	1
	Quínico	0,4	0,4
	Sacarose	4	8
Açúcares	Polissacarídeos	3	44
	Lignina	2	3
	Pectina	2	2
	Proteína	11	11
	Aminoácidos livre	0,8	0,5
	Lipídeos	10	16

Fonte: Adaptado de Clarke (2003).

As condições que contribuem para o crescimento do *Coffea canephora* (robusta e conilon) fazem da espécie importante componente no preparado de misturas (blends) junto ao *Coffea arabica*, que são menos resistentes a pragas e demandam maior estabilidade para cultivo. A formação dos blends é uma importante estratégia para o fornecimento do café classificado em qualidade intermediária por sua composição conter grãos de ambas as espécies.

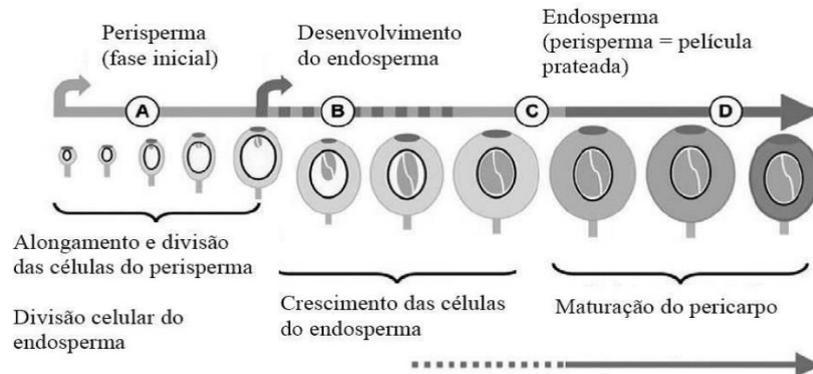
Estudos estimam faturamento de R\$48 bilhões através da produção cafeicultora do país em 2023, sendo que a espécie *Coffea arabica* deve gerar renda de R\$37 bilhões e a espécie *Coffea canephora* assume o previsto de R\$10,94 bilhões (Embrapa, 2023).

5.2 Película Prateada

Ainda que com a diferença nas etapas de crescimento dos grãos, as duas espécies cultivadas no Brasil, assim como todas as outras existentes, apresentam o endocarpo (pergaminho) encoberto por perisperma delgado, conhecido como película prateada. Esta se apresenta como um tegumento fino e corresponde aos vestígios do perisperma do óvulo, como representado na Figura 4. A película prateada é naturalmente observada durante a etapa de

torrefação, quando se desprende do endosperma, gerando o subproduto como uma fina camada de pó (Melo, 2011).

Figura 4- Desenvolvimento dos tecidos durante a formação do fruto cafeeiro



Fonte: Castro e Marraccini (2006).

A película prateada corresponde a aproximadamente 4,2% da cereja do café, sendo o principal subproduto gerado no processo de torrefação, quando se desprende do endosperma, conforme apresentado na Figura 5 (Basílio, 2018). Através do levantamento de dados de uma indústria brasileira, de forma mensal a cada mil toneladas de café torrado, cerca de 42 toneladas da película são geradas e descartadas. Ou seja, representa apenas 0,46% da massa da massa de café produzida, mas acaba se tornando um problema para a indústria. Ao considerarmos as 3 milhões de toneladas de café produzidas anualmente no Brasil, temos como resultante 126 mil toneladas de películas geradas ao descarte.

A película prateada é formada principalmente por celulose (24%), hemicelulose (17%); incluindo ainda elevada concentração de fibra dietética (60%), proteína (19%), gordura (3,28%) e cinzas (7%) que, ao serem descartados no meio ambiente, trazem riscos de poluição, por exemplo por meio do aumento na demanda de oxigênio em corpos hídricos, e pela grande quantia de substâncias orgânicas tóxicas, como cafeína, taninos e polifenóis. A porcentagem dos compostos em sua formação pode variar. (Durán *et al.*, 2016)

Figura 5- Película prateada derivado do processo de torrefação dos grãos



Fonte: Nolasco *et al.* (2022).

Pesquisas apontam a não interferências das áreas de cultivos e condições de crescimento das espécies, na composição de proteínas, gorduras, carboidratos, açúcares, cafeína e fibras alimentares da película do café, sendo tais resultados dispostos na Tabela 3 (Yusaku; Kuniyo, 2014).

Tabela 3- Composição nutricional da película prateada (g por 100g)

	Película Prateada		
	-	Coffea arábica	Coffea canephora
Proteínas	18,6	18,6	17,9
Gorduras	2,2	2,2	2,5
Carboidratos	62,1	65,1	47,0
Umidade	7,3	7,1	-
Cinzas	7	7	-
Cafeína	-	-	-
Fibra dietética total	62,4	62,4	53,4
Fibra alimentar insolúvel	53,7	53,7	48,5
Fibra alimentar solúvel	8,8	8,8	4,9

Fonte: Adaptado de Yusaku e Kuniyo (2014).

¹ Green coffee – Café verde

Roasted coffee – Café Torrado

Roasted coffee by product silverskin – Pele prateada, subproduto do café torrado

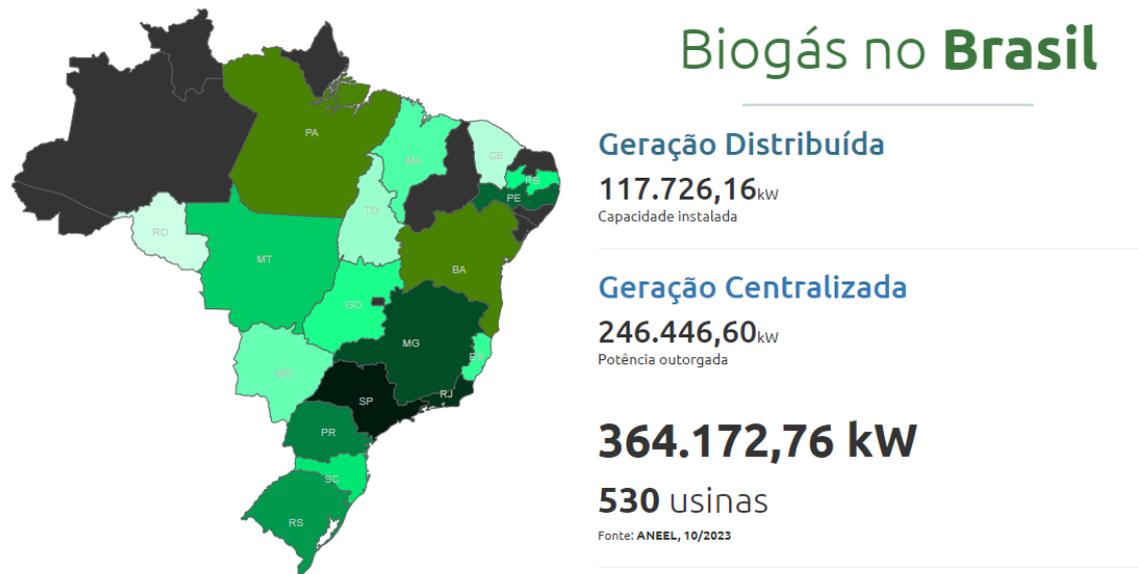
O subproduto demonstra ser uma fonte alternativa na utilização em biorrefinarias, por ser abundante em carboidratos e ter contínua produção ao longo do ano (Valsero *et al.*, 2018).

5.3 Expansão do biogás no Brasil

O biogás trata-se de um biocombustível gerado pela digestão anaeróbia da matéria orgânica (biomassa) presente em efluentes e resíduos domésticos, agropecuários e industriais. Apresenta-se como uma fonte alternativa de energia para a redução no consumo de combustíveis fósseis, emissão de metano e dióxido de carbono (CO₂) os quais estão diretamente atrelados aos gases de efeitos estufa (GEE) (Zanette, 2009).

No Brasil a crescente taxa populacional e a expressiva produção agropecuária e industrial indicam um potencial significativo de produção de biogás, além da necessidade de implementação de alternativas para reduzir o volume de resíduos dispostos inadequadamente no meio ambiente e conseqüentemente prevenir a poluição (Zanette, 2009). Dados divulgados pela Agência Internacional de Energias Renováveis, apontam que a capacidade mundial de geração de energia elétrica por meio do biogás no ano de 2000 era de 2.455 MW, havendo uma expansão nas últimas duas décadas no número de plantas de biogás para geração elétrica, atingindo no ano de 2020 capacidade de 20.150MW (IRENA, 2021). O estudo coloca ainda o Brasil como um dos sete países (Alemanha, Estados Unidos, Reino Unido, Itália, China, França e Brasil) que detém 73,8% das plantas de produção de energia elétrica por meio do biogás no mundo. O mapa representado na Figura 6 foi elaborado com dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e indica as regiões do Brasil em que se tem a geração do biogás em 2023. PEB – Portal energia e biogás, observa uma capacidade instalada de aproximadamente 118 MW e outros 246 MW autorizados para implantação.

Figura 6- Biogás no Brasil



Fonte: Biogás [...] (2023)

No Brasil, a matriz energética, para geração de biogás, ainda segundo dados divulgados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2023), conta com três principais vertentes, sendo elas a geração por meio de resíduos agrícolas, animais e industriais. As matrizes de geração por meio de resíduos agrícolas, encontram-se localizadas no estado de São Paulo (27.741,00 KW), Paraná (10.774,80 KW) e Rio Grande do Sul (330,40 KW). Quanto a geração do biogás por meio de resíduos animais, as matrizes estão localizadas no Mato Grosso (3.260,00 KW), Santa Catarina (1.266,00 KW), Pará (1.132,00), Paraná (670,00 KW), Minas Gerais (455,20), São Paulo (320,00 KW) e Espírito Santos (150,00 KW). (ANNEEL, 2023).

Por fim, o estado de São Paulo (81.480,00 KW), Pernambuco (28.520,00 KW), Rio de Janeiro (24.230,00 KW), Bahia (19.730,00 KW), Minas Gerais (15,233,60 KW), Rio Grande do Sul (14.744,00 KW), Paraná (9.982,00 KW), Paraíba (5.704,00 KW) e Santa Catarina (2.264,00 KW) contam com matrizes outorgadas para geração do biogás através de resíduos industriais (ANNEEL, 2023).

5.4 Aplicação da Película Prateada como biogás

O processo de geração do biogás tem como principal mecanismo a digestão anaeróbia, em que se tem a decomposição da matéria orgânica através de bactérias em um meio com a ausência de oxigênio. Nesse processo bioquímico, mediante a um sistema biodigestor, há uma câmara revestida e coberta por uma manta impermeável, para manter o metano no sistema, além de torna possível a fermentação bacteriana a qual gera energia, sem ter que gastá-la, resultando na obtenção de toda a energia gerada e armazenada (Bohn, 2013).

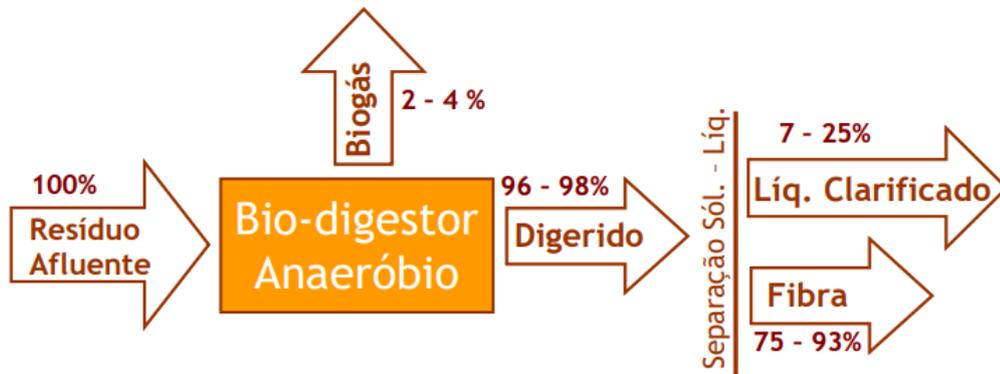
Para a completa biodigestão, três principais fases são necessárias: a hidrólise enzimática, onde se tem a quebra de macromoléculas como amido, proteínas e lipídios, por decomposição em meio extracelular, através de enzimas liberadas pelas bactérias. Isso faz com que polímeros como celulose e hemicelulose sejam transformados em monômeros (carboidratos) solúveis e indispensáveis para a seguinte etapa (Ferraz, 1980). A segunda fase, nomeada como acetogênica, faz com que os carboidratos gerados na etapa anterior, sejam metabolizados bioquimicamente, resultando em ácidos orgânicos de cadeia curta como acético, propiônico, metanóico e láctico, dentre outros (Ferraz, 1980).

Por fim, há a fase metanogênica. O substrato de maior importância para geração do metano é o ácido acético, pois pesquisas indicam que 70% do metano produzido é resultante de tal ácido, sendo que na fase metanogênica o ácido é fermentado a metano (CH_4) e gás carbônico (CO_2) (Ferraz, 1980). Contudo, para geração do biogás, o percentual de metano presente no sistema deve ser superior ao do o gás carbônico (CO_2), que será reduzido pela dissolução em água, fazendo a concentração do metano (CH_4) ser superior e possibilitando a obtenção do biogás. Este será mais puro quanto maior for o teor de metano, gás determinante para geração de calor (Arruda *et al.*, 2002).

Assim sendo, o biogás é o biocombustível constituído pela mistura de vários gases, sendo eles o gás metano (CH_4), com cerca de 60%, o gás carbônico (CO_2), que varia em torno dos 40%, vapor de água (H_2O), com aproximadamente 5%, sulfeto de hidrogênio (H_2S) com 3%; amônia (NH_3), em torno de 2% e outros gases que aparecem em proporções menores do que 1% (Biogás [...], 2023).

O biogás resulta de 2% a 4% do peso da matéria orgânica utilizada no processo e seu poder calorífico varia de 5.000 a 7.000 kcal/m³, sendo capaz de atingir até 60% do poder calorífico do gás natural. Ainda 1 m³ do biogás é equivalente a 0,66 litros de diesel e 0,77 litros de gasolina (Barros, 2021). A Figura 9 representa o balanço de massa de uma digestão anaeróbica.

Figura 7- Balanço de Massa Digestão Anaeróbica



Fonte: Durão (2009)

Diversos são os setores possíveis para uso do biogás, o que diferenciam pela porcentagem de metano, onde para o biogás bruto, com porcentagem inferior a 95% de metano, pode ser implementado para geração de calor em caldeiras, através de sua queima, ou em sistemas de aquecimento em geral. Porém a presença de gás sulfídrico (H_2S), ocasiona corrosão e conseqüentemente a perda de condição básica da máquina, além da alta porcentagem de gás carbônico (CO_2), que reduz o poder calorífico (Milanez, 2021). Tais questões podem ser resolvidas através de revestimentos à corrosão e pela instalação de purgadores e linhas de condensação (Milanez, 2021).

A purificação do biogás constitui-se em isolar o gás metano (CH_4) de qualquer outra substância e impurezas presentes no sistema através de processos como purificação por membranas, purificação criogênica, purificação por absorção, purificação biológica ou lavagem com água (Silva, 2017). Essa purificação resulta num gás com maior porcentagem de metano, e nomeado como biometano, que se alinha às propriedades do gás natural veicular (GNV) e todas as suas aplicações (Milanez, 2021). A Tabela 4 demonstra equivalência energética de 1 m^3 de biogás com outras fontes de energia.

Tabela 4- Equivalência energética 1m³ de biogás e outras fontes de energia

Fonte	Faixa
Gasolina (L)	0,61 - 0,70
Querosene (L)	0,58 - 0,62
Óleo Diesel (L)	0,55
GLP (kg)	0,40 - 1,43
Álcool (L)	0,8
Carvão mineral (kg)	0,74
Lenha (kg)	3,5
Eletricidade (kWH)	1,25 - 1,43

Fonte: Milanez (2021)

Das diversas matérias orgânicas que possibilitam a geração de biogás, o uso da película prateada demonstra ter bastante potencial, muito precisamente pelo volume em que é gerada e por sua composição química (Tabela 3), que apresenta elevada porcentagem de carboidratos. Estes são alvos prediletos em sistemas biodigestores, através da decomposição anaeróbica. (Martinez, 2021). A Tabela 5 apresenta teor de carbono, matéria volátil, teor de umidade na película e potencial energético.

Tabela 5- Informações químicas e físicas da película prateada

Aspecto	Película prateada
Teor de carbono (FC) (% em peso)	16,1
Matéria volátil (VM) (% em peso)	80,7
Teor de umidade (MC) (% em peso)	7,5
Calor (MJ kg ⁻¹)	17,6

Fonte: Adaptado de Martinez. et. al (2021)

Considerando os números médios de um balanço de massas típicos de um sistema de biodigestão anaeróbia, submeter as 126 mil toneladas de película prateada gerada anualmente

no Brasil, a porcentagem de 4% da matéria orgânica obtida ao fim do processo seria resultante a 5.040 toneladas.

Quanto a geração de biogás, um estudo realizado em universidades na Polônia, demonstrou que os sólidos totais da película prateada foi de 93,37%, e 93,34% dos sólidos voláteis (Czekala *et al.*, 2023). A decomposição da matéria orgânica no sistema de digestão anaeróbia ocorreu em 25 dias, sendo considerado rápido (Czekala *et al.*, 2023). A Tabela 6 apresenta os resultados obtidos para dióxido de carbono (CO₂) metano (CH₄), e sulfeto de hidrogênio (H₂S) (Czekala *et al.*, 2023).

Tabela 6- Valores obtidos decomposição anaeróbica película prateada

Dia	Volume [dm ³]	CO ₂ [%]	CH ₄ [%]	H ₂ S [ppm]
1	0.29	61.1	38.9	81
2	0.6	61.1	38.0	81
3	0.65	61.1	38.9	81
4	0.52	54.1	45.9	38
5	0.59	49.2	50.5	25
6	0.58	42.6	57.4	41
7	0.55	36.9	63.1	35
8	0.33	30.9	69.1	36
9	0.27	30.9	69.1	36
10	0.19	29.3	70.7	250
11	0.15	29.3	70.7	250
12	0.13	29.3	70.7	250
13	0.11	27.5	72.5	20
14	0.1	27.5	72.5	20
15	0.1	27.5	72.5	20
16	0.09	27.5	72.5	20
17	0.07	27.5	72.5	20
18	0.1	23.9	76.1	19
19	0.05	23.9	76.1	19
20	0.07	23.9	76.1	19
21	0.04	23.9	76.1	19
22	0.06	23.9	76.1	19
23	0.05	23.9	76.1	19
24	0.03	23.9	76.1	19
25	0.02	23.9	76.1	19

Fonte: Czekala et al. (2023)

Observa-se que a produção diária máxima de biogás com valores superiores a 0,5 dm³ ocorreu no terceiro e quarto dia e a produção de metano no sexto e sétimo dia foi inferior a 0,3 dm³ (Czekala *et al.*, 2023). Ademais, os valores referentes ao metano (CH₄) esteve entre 38,9% e 76,1%. Com o aumento na porcentagem de metano (CH₄), há a diminuição do dióxido de

carbono (CO₂) no biogás, evidenciando as informações presentes na literatura e apresentadas no decorrer dessa pesquisa (Czekala *et al.*, 2023).

O poder cumulativo do biogás por matéria fresca resultou em 329,50 m³. Mg⁻¹ e metano com eficiência de 173,59 m³. Mg⁻¹, onde o teor médio de metano apresenta-se em 52,68% (Czekala *et al.*, 2023).

Os resultados obtidos na pesquisa demonstram a possibilidade para geração de biogás, através da película do café, devido ao alto poder de sólidos totais e voláteis que favorecem a digestão anaeróbica; contribuindo com o desenvolvimento de alternativas que objetivem a potencialização sustentável da matriz energética, além da inserção do subproduto no modelo econômico circular (Czekala *et al.*, 2023).

Ademais, a geração de biogás pode apresentar ainda, a oportunidade para junção de resíduos de processos distintos, sendo que ao considerarmos a matriz energética do Brasil, tal possibilidade se dá a resíduos da indústria, agricultura e animais. Desse modo, a aplicação da película prateada, pode contribuir ainda de forma conjunta para intensificar a velocidade de decomposição da matéria, e geração do biogás (Czekala *et al.*, 2023).

6 CONCLUSÕES

O Brasil, por ser líder mundial na produção de café, conta com políticas que impulsionam a presença do café brasileiro em todo o mundo. Uma vez que há condições climáticas que favorecem o crescimento da planta, o país apresenta grande importância para o desenvolvimento de alternativas em setores com impactos globais, como o setor energético.

A geração de energia através de fontes renováveis dispõe de possibilidade para aproveitamento de subprodutos, de forma a contribuir não só com o avanço da eficiência energética e limitação dos gases causadores do efeito estufa, bem como aumentar a circularidade de certas economias, como a cafeeira. Empregar resíduos como matéria prima para geração de biocombustíveis, ao invés do destino previsto para aterros sanitários, ainda reduz a necessidade de extração de combustíveis fósseis e, conseqüentemente, os impactos atrelados a eles. Nesta vertente, o biogás tem demonstrado ser importante ferramenta para a obtenção de energia eficiente, através da decomposição da matéria orgânica em sistema biodigestor, com capacidade para diminuição dos gases representativos na elevação da temperatura do planeta.

Ademais, a inserção da película prateada, como alternativa para geração de biogás é de grande relevância em pesquisas futuras, que necessita viabilizar caminhos sustentáveis. Como resultado isso traria a rotatividade de todos os recursos e a permanência destes em todos seus estágios no ciclo econômico do país, que nos últimos anos tem apostado na ampliação de sua matriz energética.

Finalmente, o volume abundante da película prateada como biogás pode apresentar retorno às indústrias produtoras de café, através da geração de energia para fabricação do produto, em diretriz à economia circular.

REFERÊNCIAS

- ABIC. **A expansão do café no Brasil**. [S. l.]: ABIC, 2021. Disponível em: <https://www.abic.com.br/tudo-de-cafe/a-expansao-do-cafe-no-brasil/>. Acesso em: 15 ago. 2023.
- ANEEL. **Sistema de informações de geração da ANEEL SIGA**. [S. l.]: ANEEL, 2023. Disponível em: [Internet Security by Zscaler \(bit.ly\)](https://internetsecurity.zscaler.com). Acesso em: 21 nov. 2023.
- ARRUDA, Mariliz; AMARAL, Lúcio; PIRES, Odair; CHAVES, Barufi. **Dimensionamento de biodigestor para geração de energia alternativa**. 2002. Disponível em: [notatecnica01.doc \(revista.inf.br\)](#). Acesso em 10 out. 2023.
- BARROS, Talita. **Biogás**. Embrapa. 2021. Disponível em [Biogás - Portal Embrapa](#) Acesso em 15 out. 2023.
- BASÍLIO, Emiliana. **Caracterização da película prateada de café arábica, aplicação em bolo de chocolate e seus efeitos no teor de fibra alimentar, atividade antioxidante e atributos sensoriais**. Adriana França. 2018. 96. Dissertação (Pós- graduação) - Ciência de alimentos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- BIOGÁS no Brasil e no mundo. [S. l.]: Portal Energia e Biogás, 2023. Disponível em: <https://energiaebiogas.com.br/biogas-no-brasil>. Acesso em: 19 ago. 2023.
- BOHN, Carolina. **Viabilidade econômica da implantação de uma etapa de purificação de biogás no processo de geração de energia elétrica em um abatedouro de aves**. Frare Laercio. 2013. 82. TCC (Graduação) – Engenharia de produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, Medianeira, 2013.
- BRASIL. **Política nacional de resíduos sólidos (Lei no 12.305/2010)**. Brasília: Diário Oficial da União, 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 12 ago. 2023.
- BSCA. **Regiões**. [S. l.]: BSCA, 2023. Disponível em: <https://brazilcoffeenation.com.br/region/list>. Acesso em: 15 ago. 2023.
- CONAB. **Produção de café está estimada em 50,38 milhões de sacas na safra de 2022**. [S. l.]: CONAB, 2022. Disponível em: [Conab - Produção de café está estimada em 50,38 milhões de sacas na safra 2022](#). Acesso em: 20 nov. 2023.
- CONAB. **Safra brasileira de café**. [S. l.]: CONAB, 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe>. Acesso em: 16 ago. 2023.

CONSÓRCIO PESQUISA CAFÉ. **Atos constitutivos e regimentos do Consórcio Pesquisa Café e da Embrapa Café.** [S. l.], [ca. 2011]. Disponível em: consorciopesquisacafe.com.br. Acesso em: 19 ago. 2023.

CORRÊA, Paulo; OLIVEIRA, Gabriel; BOTELHO, Fernando; TRETTO, Pedro; ALVES; Enrique. **Propriedades físicas e químicas interferentes na pós-colheita do café.** 2017. Embrapa. Disponível em: [Cafe na Amazonia CORREA.pdf \(embrapa.br\)](#) . Acesso em: 03 set. 2023.

CZEKALA, Wojciech; LUKOMSKA, Aleksandra; PULKA, Jakub; BOJARSKI, Wiktor; POCHWATKA, Patrycja; JUSKO, Alina; ONISZCZUK, Anna; DACH, Jacek. **Waste-to-energy: Biogas potential of waste from coffee production and consumption.** 2023 Polónia.

DINIZ, Anísio; Ferreira, Lucas. **Colheita e pós-colheita: etapas importantes para garantir qualidade e agregação de valor aos cafés do Brasil.** 2020. Embrapa. Disponível em: [Colheita e pós-colheita: etapas importantes para garantir qualidade e agregação de valor aos Cafés do Brasil - Portal Embrapa.](#) Acesso em: 02 set. 2023.

DURÁN, Carlos; TSUKUI, Anna; SANTOS, Filipe; MARTINEZ, Sabrina; BIZZO, Humberto; REZENDE, Claudia. **Café: Aspectos gerais e seu aproveitamento para além da bebida.** 2017. Disponível em: [ClaudiaNoPrelo.pdf \(amazonaws.com\)](#). Acesso em: Acesso em 21 nov. 2023.

DURÃO, Vera. **Análise comparativa de sistemas centralizados e descentralizados de valorização de chorumes de suiniculturas utilizando o software UMBERTO.** Nuno Lapa. 2009. Dissertação (Mestrado) – Engenharia do ambiente, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2009.

EMBRAPA. **Faturamento bruto do total das lavouras brasileiras aumenta 45% em cinco anos e deve atingir R\$ 804 bilhões em 2023.** [S. l.]: EMBRAPA, 2023. Disponível em: [Faturamento bruto do total das lavouras brasileiras aumenta 45% em cinco anos e deve atingir R\\$ 804 bilhões em 2023 - Portal Embrapa.](#) Acesso em: 09 set. 2023.

EMBRAPA. **Produção dos cafés do Brasil ocupa 1,82 milhão de hectares em 2022.** [S. l.]: EMBRAPA, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/68437155/producao-dos-cafes-do-brasil-ocupa-182-milhao-de-hectares-em-2022>. Acesso em: 09 set. 2023.

ENERGIA e Biogás. **Panorama da geração de energia elétrica com a fonte Biogás.** [S. l.]: Energia e biogás, 2023. Disponível em: <https://energiaebiogas.com.br/biogas-no-brasil>. Acesso em 12 out. 2023.

FERRAZ, José; MARRIEL, Ivanildo. **Biogás Fonte alternativa de energia.** 1980. Embrapa 1980. Disponível em: [Infoteca-e: Biogás: fonte alternativa de energia. \(embrapa.br\)](http://infoteca-e:Biogás: fonte alternativa de energia. (embrapa.br)). Acesso 09 out.2023.

FIGUEIREDO, Nayara. **Produção de biodiesel será recorde no Brasil em 2023.** GR. Disponível em: [Produção de biodiesel será recorde no Brasil em 2023 \(globo.com\)](http://Produção de biodiesel será recorde no Brasil em 2023 (globo.com)): Acesso em : 08 out. 2023.

FORNAZIER, Mauricio; MUNER, Lúcio; MARTINS, David; ARLEU, Renato; BENASSI, Vera; FONSECA, Aymbiré; PAGIO, Vanildo; ALMEIDA, Luciano. **Tipificação do café arábica produzido no estado do Espírito Santos – Safra 98/991.** Disponível em: [Indust38.PDF \(embrapa.br\)](http://Indust38.PDF (embrapa.br)). Acesso em 18 set. 2023.

FRANCA, Adriana; OLIVEIRA, Leandro; FERREIRA, Mauro. **Kinetics and equilibrium studies of methylene blue adsorption by spent coffee grounds.** 2009. Universidade Federal de Minas Gerais, DEMEC/UFMG, Minas Gerais.

GLOBAL Footprint Network. **Earth Overshoot Day - Global Footprint Network.** Disponível em: <https://www.footprintnetwork.org/our-work/earth-overshoot-day/>. Acesso em: 19 nov. 2023.

IBP. **Evolução da produção, exportação e importação de petróleo no Brasil.** Rio de Janeiro: IBP, 2023. Disponível em: <https://www.ibp.org.br/observatorio-do-setor/producao-importacao-e-exportacao-de-petroleo/?lang=en>. Acesso em: 08 set. 2023.

IRENA. **Bioenergy & biofuels.** [S. l.]: IRENA, 2022. Disponível em: [Bioenergy and biofuels \(irena.org\)](http://Bioenergy and biofuels (irena.org)). Acesso 08 out. 2023.

Lemkuhll, E.F; Sena, R.F; Rosenhaim, R; Sousa, A.D; COELHO, A.F.S. **Análise da composição centesimal da pele de prata do café e estudo do seu potencial na indústria de alimentos.** Disponível em: [ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DA PELE DE PRATA DO CAFÉ E ESTUDO DO SEU POTENCIAL NA INDUSTRIA DE ALIMENTOS \(abq.org.br\)](http://ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DA PELE DE PRATA DO CAFÉ E ESTUDO DO SEU POTENCIAL NA INDUSTRIA DE ALIMENTOS (abq.org.br)). Acesso em: 20 nov. 2023.

MAPA. **Conheça a história do café no mundo e como o Brasil se tornou o maior produtor e exportador da bebida.** [S. l.]: MAPA, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/conheca-a-historia-do-cafe-no-mundo-e-como-o-brasil-se-tornou-o-maior-produtor-e-exportador-da-bebida>. Acesso em: 16 ago. 2023.

MARTINEZ, Clara; SAARI, Jussi; MELO, Yara; CARDOSO, Marcelo; ALMEIDA, Gustavo; VAKKILAINEN, Esa. **Evaluation of thermochemical routes for the valorization of solid coffee residues to produce biofuels: A Brazilian case.** 2021. 18. University Yliopistonkatu, Finland e Universidade Federal de Minas Gerais.

MARTINS, Ana Luiza. **História do café.** 2ed. São Paulo: Contexto, 2012.

MELO, Benjamim; Sousa Larissa. **Biologia da reprodução de coffea arábica. L.e coffea canéfora pierre.** Dialnet, 2021. 7. Artigo Científico – Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

MELO, Daniel; EL-DEIR, Soraya; SILVA, Rodrigo; SANTOS, JOÃO. **Resíduos sólidos: Gestão pública e privada.** 1ed. Recife: UFRPE, 2018.

MIDR. **Rota da economia circular.** [S. l.]: MIDR, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/desenvolvimento-regional/rotas-de-integracao-nacional/rota-da-economia-circular>. Acesso em: 08 set. 2023.

MILANEZ, Artur; MAIA, Guilherme; GUIMARÃES, Diego. **Biogás: Evolução recente e potencial de uma nova fronteira de energia para o Brasil.** Disponível em: [PR_Biogas_215276_P_BD.pdf \(bndes.gov.br\)](#). Acesso em 25 de out. 2023.

MMA. **Histórico ODS.** [S. l.]: MMA, 2022. Disponível em: [Histórico ODS — Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima \(www.gov.br\)](#). Acesso em: 06 set. 2023.

MRE. **Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável.** [S. l.]: MRE, 2022. Disponível em: [Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável — Ministério das Relações Exteriores \(www.gov.br\)](#). Acesso em: 03 set. 2023.

NATIONAL Geographic. **Economia circular: o que é e por que ela beneficia o meio ambiente.** Disponível em: <https://www.nationalgeographicbrasil.com/meio-ambiente/2022/05/economia-circular-o-que-e-e-por-que-ela-beneficia-o-meio-ambiente>. Acesso em: 20 nov. 2023.

NOLASCO, Agata; SQUILLANTE, Jonathan; VELOTTO Salvatore; AURIA, Giovanni; FERRANTI Pasquale; MAMONE, Gianfranco; ERRICO, Maria; AVOLIO, Roberto; CASTALDO Rachele; CIRILLO, Teresa; ESPOSITO, Francesco. **Valorization of coffee industry wastes: Comprehensive physicochemical characterization of coffee silverskin and multipurpose recycling applications.** 2022. 10. University of Naples, Italy.

ONU. **Economia circular pode ajudar países a combater mudanças climáticas, diz relatório.** [S. l.]: ONU, 2019. Disponível em: [Economia circular pode ajudar países a combater mudanças climáticas, diz relatório | As Nações Unidas no Brasil](#). Acesso em: 20 nov. 2023.

PRESSE, France. **Humanidade esgotará os recursos renováveis de 2018 em 1º de agosto diz ONG.** G1. Disponível em: [Humanidade esgotará os recursos renováveis de 2018 em 1º de agosto, diz ONG | Natureza | G1 \(globo.com\)](#). Acesso em: 06 set. 2023.

PRODUÇÃO mundial de café por país. [S. l.]: Atlas Big, [ca. 2020]. Disponível em: <https://www.atlasbig.com/pt-br/paises-por-producao-de-cafe>. Acesso em: 16 ago. 2023.

SOUZA, Flávio; SANTOS, Júlio; COSTA, José; SANTOS, Milton. **Características das principais variedades de café cultivadas em Rondônia.** Embrapa, 2004. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/906832/1/Doc93cafe.pdf>. Acesso em: 24 set. 2023.

VALSERO, Maria; CAMBRONERO, Jerson; GARCÍA, Ana; ANTOLÍNEZ, Rebeca. **Biobutanol production from coffee silverskin.** 2018. 17. Disponível em: [Biobutanol production from coffee silverskin | Microbial Cell Factories \(springer.com\)](#). Acesso em 21 nov. 2023.

YUSAKO, Narita; KUNIYO, Inouye. **Review on utilization and composition of coffee silverskin.** 2014. 6. Universidade de Kyoto, Sakyo-ku, Quioto 606-8502, Japão.

ZAGO, Valéria; BARROS, Raphael. **Gestão dos resíduos sólidos orgânicos urbanos no Brasil: do ordenamento jurídico à realidade.** Scielo, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/MY53xbTzPxYhz783xdmKc8F/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 19 ago. 2023.

ZANETTE, André. **Potencial de aproveitamento energético do biogás no Brasil.** Roberto Schaeffer. 2009. 105. Dissertação (Mestrado) – Planejamento energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.