



**ESTUDO PRELIMINAR DE VIABILIDADE ECONÔMICA
PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DA
BORRA DE CAFÉ**

**Carolina Trotte Caloiero
Jade Perro Deister**

Projeto Final de Curso

Orientador

Prof. Fábio de Almeida Oroski, D.Sc

Junho de 2021

ESTUDO PRELIMINAR DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DA BORRA DE CAFÉ

Carolina Trotte Caloiero

Jade Perro Deister

Projeto Final de Curso submetido ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Engenheiro Químico.

Aprovado por:

Carlos André Vaz Junior, D.Sc.

Matheus Calheiros Fernandes Cadorini

Orientado por:

Fábio de Almeida Oroski, D.Sc.

Rio de Janeiro, RJ - Brasil

Junho de 2021

Caloiero, Carolina Trotte.

Deister, Jade Perro.

Estudo preliminar de viabilidade econômica para a produção de biodiesel a partir da borra de café/Carolina Trotte Caloiero e Jade Perro Deister; Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2021.

x, 79 p.; il

Projeto Final - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2021.

Orientador: Fábio de Almeida Oroski

1. Biodiesel. 2. Borra de café. 3. Viabilidade Econômica. 4. Projeto Final de Curso (Graduação - UFRJ/EQ). 5. Fábio de Almeida Oroski I. Estudo preliminar de viabilidade econômica para a produção de biodiesel a partir da borra de café.

Às nossas famílias

AGRADECIMENTOS

Carolina Trotte Caloiero

Primeiramente, gostaria de agradecer à minha família. Aos meus pais, Patricia e Ronaldo, ao meu marido, Vítor, aos meus irmãos de sangue, Giovanna e Victor, e de alma, Renata, e aos meus padrinhos, Rosangela e Sylvio, por todo apoio, amor, e, principalmente, por toda paciência. Serei eternamente grata por todos os ensinamentos e jamais desistirei de colocar em prática o que aprendi e venho aprendendo com vocês - que família é união, é perdão, é colo e sobretudo amor.

Agradeço ao grande presente que ganhei nesta Universidade, minha querida amiga Jade. Sem ela, dificilmente eu teria conseguido enfrentar diversas dificuldades ao longo de nossa trajetória. Independentemente de onde estivermos e da distância, você sempre estará no meu coração. Te amo para sempre. Muito obrigada por tudo!

Gostaria de agradecer também à minha Universidade, que, inclusive, foi um dos grandes sonhos que se tornaram realidade. Eu passava por ela e imaginava se um dia conseguiria fazer parte da imensidão azul do Centro de Tecnologia. Para mim, é uma honra inestimável ser aluna dessa instituição. Obrigada pelos aprendizados, pelas experiências, pelas grandes amizades construídas. Sentirei saudades.

Por fim, mas não menos importante, gostaria de agradecer ao meu professor e orientador, Fábio Almeida Oroski. Um dos melhores professores que tive na faculdade e que despertou, em suas aulas de economia, uma paixão em mim pela área e que resultou no meu primeiro emprego. Professor, muito obrigada pela paciência e pela atenção. Espero que um dia todos os alunos de nosso país possam ter a oportunidade de ter um professor como senhor.

AGRADECIMENTOS

Jade Perro Deister

Agradeço, primeiramente, à minha família. Aos meus pais, Ricardo e Ana, aos meus irmãos, Paula, Christian, Luana e Pedro, e à minha avó Alzira, por todo o amor, carinho e suporte que nunca faltaram durante todos os anos de faculdade. Muito obrigada por me ensinarem a acreditar na educação e no amor, os dois caminhos que, com certeza, podem mudar vidas. Perto ou longe, sempre torcemos pela felicidade uns dos outros, e isso é o que nos une, independente da distância. Amo vocês.

Agradeço à minha amiga, Carolina Trotte, que além de parceira neste trabalho, é uma amizade que quero ter para sempre. Tenho certeza de que se não fosse pelos seus conselhos, inspiração e parceria, eu não teria chegado até aqui. Obrigada, amiga!

Não posso deixar de agradecer aos amigos que a UFRJ me trouxe, especialmente aos dois que compõem o nosso trio: Amim e Dresch, pessoas extraordinárias que eu quero levar para toda a vida. Não poderia imaginar que uma Universidade com mais alunos do que habitantes da minha cidade natal não seria intimidadora, mas sim um porto seguro que abarca tantas pessoas incríveis que eu tive o privilégio e a sorte de conhecer.

Por fim, agradeço ao professor e orientador Fábio Oroski, que nos guiou durante as aulas de Economia, PAP, e agora no projeto final. Obrigada por ensinar de maneira tão brilhante e por incentivar e contribuir dia após dia com o nosso projeto.

Resumo do Projeto Final de Curso apresentado à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Químico.

Estudo preliminar de viabilidade econômica para a produção de biodiesel a partir da borra de café

Carolina Trotte Caloiero
Jade Perro Deister

Junho, 2021

Orientador: Prof. Fábio de Almeida Oroski, D.Sc.

A valorização da borra de café para a produção de biodiesel contribui não só para o reaproveitamento de um resíduo que atualmente é descartado, mas também para a redução da competitividade de matérias primas da indústria alimentícia na produção de biodiesel, como a soja. O viés ambiental do estudo também engloba os crescentes avanços dos biocombustíveis no mercado, especialmente a obrigatoriedade de um maior percentual de biodiesel no diesel. O objetivo deste estudo é avaliar a viabilidade da produção do biodiesel a partir do óleo extraído da borra de café proveniente da indústria de café solúvel com validação técnica e econômica em uma planta localizada no estado de São Paulo. Para isso, foi realizada uma descrição detalhada do processo de produção, especificações dos equipamentos e insumos, bem como a determinação dos indicadores de viabilidade econômica como o valor presente líquido (VPL), a taxa interna de retorno (TIR) e o *payback*. A partir da determinação da escala de produção de 1000 ton/ano de biodiesel, definiu-se o investimento fixo, custos e receitas utilizando os coeficientes técnicos obtidos após o detalhamento do processo produtivo. Assim, foi possível concluir que a viabilidade do projeto em questão não é atingida com os critérios definidos. O aumento de escala poderia ser uma possibilidade de melhoria, mas a indústria de café solúvel no Brasil não produz a quantidade necessária de borra de café para suprir uma escala elevada. Com a escala de 1000 ton/ano, o preço praticado de venda de biodiesel deveria ser 132% maior do que o atual, cenário que não seria aceito pelo mercado, especialmente por se tratar de um produto de baixa diferenciação.

Índice

| | |
|--|----|
| Capítulo I – Introdução | 12 |
| I.1. Justificativa do Estudo | 13 |
| Capítulo II - Revisão Bibliográfica | 17 |
| II.1. Cadeia produtiva de biodiesel | 17 |
| II.1.1. Óleos e gorduras, biodiesel e suas matérias-primas | 17 |
| II.1.2. Mercado de Biodiesel no Brasil | 20 |
| II.2. Cadeia produtiva de café | 25 |
| II.2.1. Tipos de café | 25 |
| II.2.2. Borra de café e a produção de café solúvel | 26 |
| II.2.3. Mercado brasileiro de café | 29 |
| II.3. Produção de biodiesel a partir da borra de café | 33 |
| II.3.1. Equipamentos | 35 |
| Capítulo III - Metodologia | 41 |
| III.1. Análise de artigos e relatórios | 41 |
| III.2. Estimativa de Investimento | 43 |
| III.3. Estimativa de custos de produção | 46 |
| III.3.1. Estimativa de custos fixos de produção | 46 |
| III.3.1.1. Custos de mão de obra | 47 |
| III.3.1.2. Custos de manutenção | 48 |
| III.3.1.3. Custos com seguro | 48 |
| III.3.1.4. Despesas operacionais | 49 |
| III.3.2. Estimativa de custos variáveis de produção | 49 |
| III.3.2.1. Custos de matéria-prima e consumíveis | 49 |
| III.3.2.2. Custos de utilidades | 50 |
| III.3.3. Imposto de Renda | 51 |
| III.3.4. Depreciação | 51 |
| III.4. Elaboração das demonstrações contábeis | 52 |
| III.5. Estimativa de Receitas | 52 |
| III.6. Indicadores de viabilidade econômica | 53 |
| IV. Resultados e Discussão | 55 |
| IV.1. Cenários para a avaliação econômica | 55 |
| IV.2. Escolha da localização | 56 |
| IV.3. Investimento | 56 |
| IV.4. Custos de produção | 57 |
| IV.4.1. Custos fixos de produção | 58 |
| IV.4.1.1 Custos de mão de obra | 58 |
| IV.4.1.2. Custos de manutenção | 59 |
| IV.4.1.3 Custos com seguro | 59 |

| | |
|--|----|
| IV.4.1.4 Despesas operacionais | 60 |
| IV.4.2. Custos variáveis de produção | 61 |
| IV.4.2.1. Custos de matéria-prima e consumíveis | 61 |
| IV.4.2.2. Custos de utilidades | 62 |
| IV.5. Estimativa de Receitas | 63 |
| IV.6. Elaboração das Demonstrações Contábeis | 64 |
| IV.7. Cálculo dos indicadores de viabilidade econômica, estudos de cenários e sensibilidade do projeto | 68 |
| V. Conclusão | 73 |
| VI. Referências | 75 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 01 - Teor percentual obrigatório de biodiesel no diesel por ano..... | 14 |
| Figura 02 - Produção de Biodiesel no Brasil referente ao ano de 2020 | 21 |
| Figura 03 - Fluxograma de produção de café solúvel | 27 |
| Figura 04 - Possíveis rotas de aproveitamento da borra de café | 29 |
| Figura 05 - Representação geral de uma reação de transesterificação | 35 |
| Figura 06 - Área de secagem da borra de café e recuperação do óleo | 37 |
| Figura 07 - Área do processo de transesterificação..... | 38 |
| Figura 08 - Área de recuperação do metanol..... | 38 |
| Figura 09 - Área de recuperação do biodiesel e processo de purificação do produto. | 39 |
| Figura 10 - Fatores de localização para diferentes países | 45 |
| Figura 11 – Fluxo de Caixa | 66 |
| Figura 12 - Demonstração de Resultado do Exercício | 67 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 01 - Capacidade nominal e produção de biodiesel (B100) no Brasil por região (mil m ³ /ano) | 21 |
| Tabela 02 - Empresas produtoras de biodiesel no Brasil e suas capacidades instaladas (m ³ /dia) | 22 |
| Tabela 03-Volume negociado, valor total da compra e preço de compra por região referente ao Leilão nº001/21 para comercialização de biodiesel organizado pela ANP | 24 |
| Tabela 04 - Preços do café Arábica praticados no mercado doméstico brasileiro (R\$ 60 kg/saca) | 31 |
| Tabela 05 - Balança mundial de oferta e demanda de café | 33 |
| Tabela 06 - Coeficientes técnicos para a produção de biodiesel a partir da borra de café | 39 |
| Tabela 07 - Capacidade produtiva de plantas de produção de biodiesel de grande, médio e pequeno porte localizadas no Brasil e demanda de borra de café | 40 |
| Tabela 08 - Dados dos artigos selecionados para análise completa | 43 |
| Tabela 09 - Estimativa do investimento fixo a partir do custo dos equipamentos principais | 44 |
| Tabela 10 - Componentes do Investimento Fixo | 46 |
| Tabela 11 - Determinação do investimento total a partir do custo de aquisição dos equipamentos | 57 |
| Tabela 12 - Determinação do custo anual de mão de obra | 59 |
| Tabela 13 - Valores estimados de custos fixos e seus itens | 61 |
| Tabela 14 - Custos de importação das matérias-primas e consumíveis | 62 |
| Tabela 15 – Coeficientes Técnicos | 62 |
| Tabela 16 – Estimativa de Receitas | 64 |
| Tabela 17 - Cálculo dos indicadores de viabilidade econômica (TMA de 10% a.a) ... | 68 |
| Tabela 18 - Impacto da taxa de desconto (TMA) sobre o VPL do projeto | 69 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 01 - Perfil nacional de matérias-primas consumidas para produção de biodiesel | 20 |
| Gráfico 02 - Produção de biodiesel no Brasil por estado (em m ³) | 20 |
| Gráfico 03 - Relação entre os volumes de biodiesel referente aos leilões de 2020 | 24 |
| Gráfico 04 - Produção anual de café por variedade e continente | 25 |
| Gráfico 05 - Diferenças de preço entre as variedades Arábica e Robusta | 31 |
| Gráfico 06 - Produção e exportação de café no mundo (1990/91-2018/19) | 32 |
| Gráfico 07 - Representatividade dos componentes sobre o custo total | 63 |
| Gráfico 08 - Metas para a taxa Selic entre Maio/2011 e Maio/2021 | 68 |
| Gráfico 09 - Impacto do preço do biodiesel sobre o VPL e a TIR | 69 |
| Gráfico 10 - Impacto do custo de utilidades sobre o VPL e a TIR | 70 |
| Gráfico 11 - Impacto do custo de matéria prima sobre o VPL e a TIR | 71 |

I. Introdução

O Brasil passou a investir consideravelmente em pesquisas sobre biocombustíveis na década de 70 devido à crise do petróleo, já que a preocupação com a utilização de outras fontes de energia se intensificou nesse período. Ainda nessa época, foi criado o programa Pró-álcool, responsável por introduzir o etanol de cana-de-açúcar na matriz energética brasileira. Já os estudos quanto à utilização de biodiesel só engataram nos anos 2000, com a criação do Programa Nacional de Produção de Biodiesel. (APROBIO; PETERSON SOLUTIONS, 2015).

Atualmente, segundo a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), em matéria compilada pelo portal 'Energia que fala com você', em 11 de março de 2021, o Brasil possui a maior matriz energética renovável do mundo, sendo 46% das fontes de energia de origem renovável. Como consequência, o país virou referência na compensação de emissão de dióxido de carbono com destaque para o uso dos biocombustíveis.

Denomina-se biocombustível o combustível produzido a partir da biomassa (matéria orgânica), ou seja, proveniente de fontes renováveis, podendo ser de origem animal ou vegetal (PETROBRÁS; MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2019). A definição de biocombustíveis está presente na Lei 12.490/2011, Art. N° 6, e é estabelecida, também, em regulamentos da ANP. Segundo esta, os biocombustíveis podem ser empregados diretamente ou mediante alterações em motores de combustão interna ou para outro tipo de geração de energia, podendo substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil.

Existem quatro gerações de biocombustíveis, sendo a primeira caracterizada pelo uso de açúcares, amidos ou vegetais, pelo uso de técnicas convencionais e baixa eficiência. A segunda geração faz uso de matérias-primas não concorrentes com a indústria alimentícia, como resíduos agrícolas, e possui capacidade de reduzir 90% das emissões de gás carbônico na atmosfera comparado aos combustíveis fósseis. A terceira se baseia em técnicas mais eficientes no campo da genômica e design de colheita transgênica. E, por fim, a quarta geração possui foco na retirada de gás carbônico da atmosfera. Nesta, a biomassa funciona como uma máquina captadora de CO₂, armazenando-o em seus galhos, tronco e folhas. Em seguida, a biomassa é convertida em combustível por técnicas de segunda geração. (COSTA, 2016).

Dentre as múltiplas matérias-primas de origem vegetal para produção do biodiesel está a borra de café, um subproduto da linha de produção de café, produzido após a etapa de consumo de café solúvel em cafeterias e empresas alimentícias. Estima-se que anualmente sejam geradas 6 milhões de toneladas de borra de café no mundo, sendo o maior resíduo da indústria cafeeira global. (Tokimoto et al., 2005). Apesar da grande

quantidade de borra de café gerada, observa-se, ainda, um baixo aproveitamento desse resíduo.

Duas variedades de café estão entre as mais produzidas no mundo: *coffea arábica* e *coffea robusta* ou *coffea canéfora*. O café Arábica é cultivado majoritariamente em áreas tropicais e em altitudes elevadas (superiores a 1500 metros acima do nível do mar), diferentemente do café Robusta, que tem seu cultivo favorecido em altitudes mais baixas (entre 0 e 800 metros acima do nível do mar), climas mais quentes e condições de baixa umidade, fatores que favorecem a redução de seus custos. Ressalta-se, ainda, que o café Arábica possui algumas desvantagens em relação aos demais, como baixa produção de grãos e custo de produção elevado. Já o café Robusta apresenta algumas vantagens, como um fruto com maior teor de cafeína e com características que facilitam sua produção. (Sanz et al., 2002)

Tradicionalmente, os subprodutos do café são produzidos em altas quantidades, mas somente uma pequena parte é reutilizada em outros processos. A borra de café pode ser aproveitada e empregada em diversas áreas como, em especial, o setor energético. Algumas das possibilidades de utilidades dentro desse setor são: produção de biogás por processo de digestão anaeróbia, produção de biochar por processo de pirólise, bioetanol por processo de hidrólise e fermentação e biodiesel a partir da transesterificação dos óleos presentes na borra ou via microbiológica. (ACS Sustainable Chem. Eng. 2013).

I.1. Justificativa do Estudo

O crescimento populacional e a redução das reservas de combustível de origem fóssil geram uma maior demanda energética global. Consoante a este fato, a alta emissão de gases estufa associados principalmente a combustíveis derivados de petróleo tem sido um grande incentivo ao uso de combustíveis originados de fontes renováveis, sendo estes, então, a alternativa mais promissora para o uso dessa classe de combustíveis em diferentes setores em escala comercial até 2030. (COSTA, 2016)

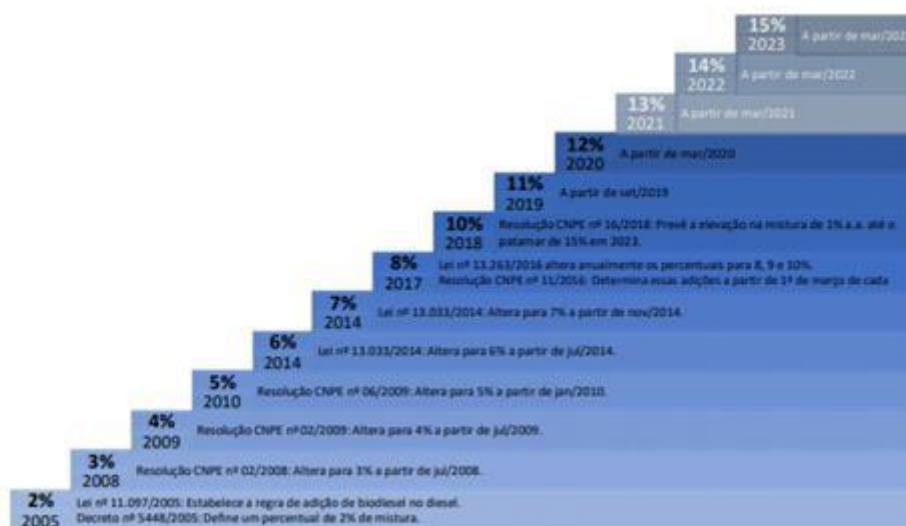
O diesel é um combustível resultante do craqueamento do petróleo bruto que, quando comparado a outros combustíveis, induz um risco maior ao meio ambiente. A queima incompleta desse é responsável por grande parte dos gases de efeito estufa na atmosfera. Em 2018, as emissões evitadas pelo uso de etanol (anidro e hidratado) e biodiesel, em comparação aos equivalentes fósseis (gasolina e diesel) somaram 63,7 megatoneladas de dióxido de carbono (MCTIC, 2019). Dentre as consequências geradas por essas emissões, destaca-se a degradação da atmosfera terrestre e o enfraquecimento

da camada de ozônio, que estão diretamente ligados ao aquecimento da Terra, ao surgimento da chuva ácida e à degradação de diversos ecossistemas.

Com o objetivo de diminuir a utilização do diesel, e, portanto, reduzir os impactos causados por ele, o biodiesel surgiu como alternativa. Esse se trata de um biocombustível que pode ser extraído de gorduras de vegetais, logo, é uma fonte renovável. No Brasil, em 13 de janeiro de 2005, foi estabelecido o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), pela Lei N° 11.097.

Em de 24 de setembro de 2014 foi publicada a Lei n° 13.033, alterada pela Lei n° 13.263, de 23 de março de 2016, delegando ao Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) a autorização para elevar a mistura obrigatória de biodiesel ao óleo diesel, gradualmente, em até 15% em volume em todo o território nacional. A evolução gradual dos teores obrigatórios de diesel no óleo diesel estão presentes na figura 01.

Figura 01: Teor percentual obrigatório de biodiesel no diesel por ano.



Fonte: NOTA TÉCNICA DPG-SDB N° 01/2020

Um dos grandes impasses para a implementação não só do biodiesel, mas de biocombustíveis em geral, é a competição de território destinado à produção de alimentos. Apesar de estudos recentes apresentarem que a produção de bioenergia no Brasil pode ser suportada sem comprometer a agricultura e a preservação do ecossistema natural (MONTEIRO, 2020), a utilização de matérias-primas que não fazem parte dessa disputa é uma excelente alternativa.

Atualmente, cerca de 75% do biodiesel consumido no território brasileiro é produzido a partir do óleo de soja bruto e recuperado, produto esse que faz parte de

diversos outros setores, além de ser o principal insumo da cadeia de rações de aves, peixes e suínos. (ANP, 2020).

O Brasil enfrenta uma crise de escassez de soja desde 2020 devido à forte demanda mundial pelo grão, principalmente em decorrência dos baixos estoques nos EUA e a crescente demanda na China. Inclusive, a crise provocou um aumento não só no preço do biodiesel, mas também gerou como efeito colateral um aumento nos custos para a produção de carnes de frango e porco, que constituem uma fonte de proteína de baixo custo para a população brasileira já penalizada pela pandemia provocada pelo COVID-19. (APROBIO, 2021)

Em resposta, o Governo Federal, em abril de 2021, diminuiu o percentual obrigatório de biodiesel no diesel de 13% para 10%. Segundo o Ministério de Minas e Energia, a ação tem o objetivo de preservar o interesse do consumidor quanto a preço, qualidade e oferta de produtos.

Dessa forma, a situação atual do mercado de biodiesel brasileiro ressalta a relevância da procura por matérias-primas alternativas, não só em relação às de origem fóssil, mas também em relação às que não competem com outros setores. Uma possível fonte seria a borra de café, que possui aproximadamente 20% de óleo em sua composição, que pode ser utilizado para produção de biodiesel a partir do processo de transesterificação. (DE ALMEIDA SILVA; SALA PASQUIM, 2018)

O conceito de economia circular pode ser encarado como a transformação de bens que estão no final de sua vida útil em outros recursos, fechando circuitos nos ecossistemas industriais e minimizando o desperdício (STAHEL, 2016). A produção de biodiesel a partir da borra de café - fonte que não compete por território – está intrinsecamente ligada a esse conceito, já que acarretará o aproveitamento de um material que geralmente é descartado em um segmento da indústria de alimentos.

Ainda são poucos os estudos que abordam a viabilidade econômica da produção do biodiesel a partir da borra de café. Isso sem levar em consideração os enormes desafios para a estruturação dessa oportunidade. Sendo assim, identificada a oportunidade de se estudar o reaproveitamento de um resíduo abundante para a produção de um biocombustível, pergunta-se: a produção de biodiesel a partir da borra de café é viável no mercado brasileiro? Além disso, quais os principais desafios tecnológicos e não tecnológicos dessa oportunidade?

Nesse contexto, o objetivo principal deste trabalho consiste em analisar a viabilidade técnico-econômica da instalação de uma unidade de produção de biodiesel a partir da borra de café de microescala (1.000 toneladas por ano), a partir dos indicadores

econômicos resultantes do estudo. Essa unidade será acoplada a uma planta de produção e café solúvel localizada no estado de São Paulo.

Para atender a esse objetivo principal, foram traçados os seguintes objetivos específicos:

- Estruturar uma visão geral da indústria do biodiesel e do café no Brasil a fim de analisar os seus principais processos produtivos e seus mercados;
- Realizar buscas por estudos de viabilidade econômica do processo proposto já feitos em outras localidades e conjunturas político-econômicas;
- Identificar os desafios tecnológicos e não tecnológicos para a implementação do projeto;
- Elaborar demonstrativos de resultado em exercício (DRE) e demonstrativos de fluxo de caixa (DFC) a partir de estimativas de custos, despesas, preços de venda e investimentos necessários para a instalação da planta;
- Analisar e interpretar indicadores de viabilidade técnico-econômica que serão calculados a partir desses demonstrativos, como o valor presente líquido (VPL), a taxa interna de retorno (TIR) e o *payback*.

Além desta introdução, o projeto possui mais 4 capítulos: Revisão Bibliográfica, Metodologia, Discussão e Análise de Resultados - onde será detalhado o estudo de viabilidade econômica - e Conclusão. A revisão bibliográfica aborda as cadeias produtivas de biodiesel e do café - incluindo a borra - bem como de seus mercados no Brasil e no mundo, além de apresentar as rotas químicas de produção do biodiesel a partir da borra de café e as tecnologias utilizadas. O terceiro capítulo apresenta as metodologias utilizadas para elaborar o projeto, demonstrando a estrutura de pesquisa da revisão bibliográfica e detalhando os cálculos dos custos, despesas e receitas que irão compor os indicadores de viabilidade econômica apresentados no capítulo seguinte. O capítulo de análise de resultados e discussão constitui a apresentação dos resultados obtidos no estudo, bem como as análises de sensibilidade do projeto. E, por fim, a conclusão fornece as principais reflexões e a consolidação dos aspectos presentes nos capítulos anteriores, além de possíveis pontos de aprofundamento para estudos posteriores.

II. Revisão Bibliográfica

Neste capítulo serão abordados os conceitos necessários para embasar o entendimento do processo de uma planta de produção de biodiesel a partir da borra de café. Primeiramente, serão abordados tanto a cadeia produtiva de biodiesel quanto a cadeia produtiva da borra, além das oportunidades e aspectos mercadológicos de ambos. Por fim, será apresentado o processo de produção de biodiesel a partir da borra de café em uma planta de microescala localizada no estado de São Paulo, Brasil.

II.1. Cadeia produtiva de biodiesel

Para analisar a viabilidade econômica de uma planta de produção de biodiesel a partir da borra de café, é necessário obter um entendimento prévio de toda cadeia produtiva, desde a produção até a comercialização e seus desafios.

II.1.1. Óleos e gorduras, biodiesel e suas matérias-primas

Óleos e gorduras são substâncias insolúveis em água – hidrofóbicas - de origem animal ou vegetal, formados por ésteres de triacilgliceróis - produtos resultantes da esterificação entre glicerol e ácidos graxos. Quando os triacilgliceróis se encontram na forma sólida são chamados de gorduras. Em contrapartida, na forma líquida são denominados óleos. Além desses, estão presentes também, em menor proporção, mono e diglicerídeos, ácidos graxos livres, tocoferol, proteínas, esteróis e vitaminas. Em geral, é possível dividir óleos e gorduras em dois grupos: glicerídeos (produtos da esterificação de uma molécula de glicerol com até três moléculas de ácidos graxos) e não-glicerídeos. Ressalta-se que a composição do óleo depende essencialmente da matéria-prima escolhida e das condições do processo e que diferentes composições de óleos e gorduras resultam em diferentes propriedades físico-químicas. (REDA; CARNEIRO, 2007).

Já o óleo diesel se trata de um combustível líquido, produzido através da combinação de diversas correntes provenientes das etapas de processamento do petróleo bruto, utilizado em motores de ciclo diesel. Sua composição é formada majoritariamente por hidrocarbonetos de cadeias de 8 a 16 carbonos. Segundo o Art. 2 da Resolução N° 50 de 20 de dezembro de 2013, que também define as características que o óleo diesel rodoviário deve apresentar para comercialização, dispôs que esse pode ser classificado em:

“I – Óleo diesel A: combustível produzido nas refinarias, nas centrais de matérias-primas petroquímicas e nos formuladores, ou autorizado nos termos § 1º do art. 1º, destinado a veículos dotados de motores do ciclo Diesel, de uso rodoviário, sem adição de biodiesel;

II - Óleo diesel B: óleo diesel A adicionado de biodiesel no teor estabelecido pela legislação vigente.” (ANP, 2013)

O biodiesel, segundo o Programa Nacional de Produção de Uso do Biodiesel (PNPB), pela Lei Nº 11.097/2005, foi classificado como:

Art.6º: “biocombustível derivado de biomassa renovável para o uso de motores a combustão interna com ignição por compressão ou, conforme regulamento, para geração de outro tipo de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil.” (BRASIL, 2005)

Já a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) classifica o biodiesel como combustível para motores de combustão interna com ignição por compressão, biodegradável e renovável, derivado de gorduras animais ou óleos vegetais, que possa substituir parcial ou totalmente o óleo diesel originado do craqueamento do petróleo – origem fóssil.

O biodiesel é constituído de uma mistura de ésteres metílicos ou etílicos de ácidos graxos, obtidos pela esterificação ou transesterificação de um triglicérido com um álcool de cadeia curta - metanol ou etanol. A produção pode ser feita a partir de diversos óleos vegetais ou gordura de origem animal. Ressalta-se que as características físico-químicas do biodiesel, como poder calorífico, viscosidade, inflamabilidade, ponto de fluidez, resíduo de carbono etc. diferem de acordo com a matéria-prima ou com o agente de esterificação utilizado. (GONZALEZ, 2008)

Comparado ao óleo diesel comercial, o biodiesel é ambientalmente benéfico, pois é menos poluente e reduz o impacto ao aquecimento global. Ele reduz sensivelmente as emissões de monóxido de carbono, óxidos sulfúricos, partículas de carbono e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos. Além disso, no caso da produção a partir de óleos vegetais, o gás carbônico liberado na atmosfera é absorvido pelas oleaginosas durante o crescimento, equilibrando o balanço negativo gerado pela emissão na atmosfera. (RAMOS, 2016)

Além da questão ambiental, o biodiesel pode ser economicamente atraente, pois permite o aumento da arrecadação regional de ICMS, a valorização de subprodutos de

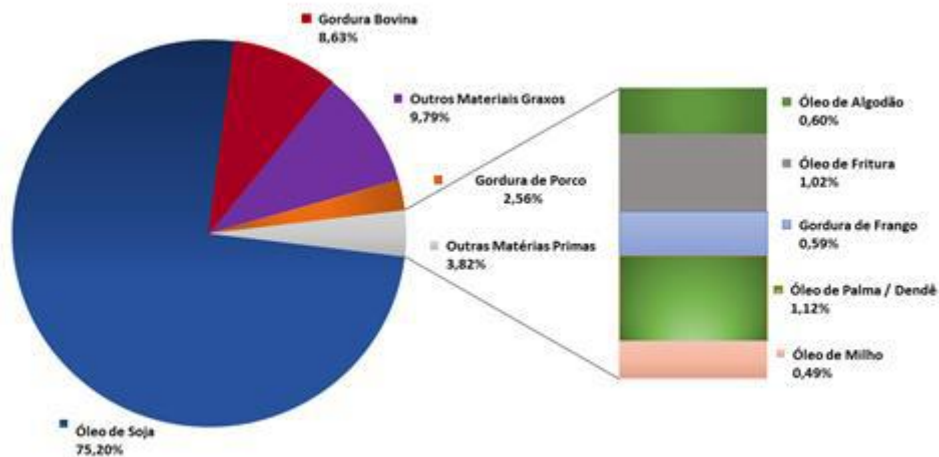
atividades agroindustriais e aumento de investimentos em atividades rurais. Outro fator relevante é a pluralidade de matérias-primas, pois permite a implantação de plantas em diversas localidades a depender da disponibilidade de matéria-prima. (GONZALEZ, 2008).

Há uma fonte diversificada de recursos para produção de biodiesel. O Brasil, por sua extensão territorial, é detentor de matérias-primas como a soja, mamona, girassol, caroço de algodão, canola, amendoim, dendê, buriti, entre outros. Há, também, as de origem animal, como o sebo bovino e as gorduras de suíno e frangos e óleos residuais resultantes de processamentos domésticos, industriais e comerciais. O perfil de consumo dessas matérias-primas a partir de dados da ANP (2021), referente a abril de 2020, estão presentes no gráfico 01. Pelo gráfico, é possível perceber que, mesmo com uma vasta gama de possibilidades de matérias-primas, a soja ainda predomina em todo o território brasileiro. Além disso, o gráfico aponta que ainda não há um aproveitamento notável de fontes residuais, como a borra de café.

Geralmente, ésteres alquílicos de ácidos graxos podem ser produzidos a partir de qualquer matéria-prima oleaginosa, mas nem todas resultam em um combustível dentro das especificações internacionais do biodiesel. Por exemplo, os tocoferóis (antioxidantes que conferem maior estabilidade à rancificação) são perdidos durante as etapas de refino, fazendo com o que óleo se torne mais suscetível à oxidação, acarretando um aumento indesejável na concentração de ácidos graxos poli-insaturados. A solução comum para essa intempérie consiste na transesterificação do óleo bruto, entretanto, ao empregá-la, o teor de fósforo no biodiesel aumentaria (originário do fosfato presente na parede dos catalisadores empregados) de forma a ultrapassar o especificado. (RAMOS, 2016). No Brasil, as especificações são regulamentadas pela Resolução Nº 50 da ANP de 23 de dezembro de 2013.

Segundo a Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais, se não houver uma diversificação nas fontes de matéria-prima de produção de biodiesel, o Brasil deverá acrescentar 10 milhões de toneladas de soja à sua matriz de processamento interno até 2023, para suprir a demanda estimada com base nos percentuais de biodiesel no diesel definidos por lei. (ABIOVE, 2020).

Gráfico 01: Perfil nacional de matérias-primas consumidas para produção de biodiesel



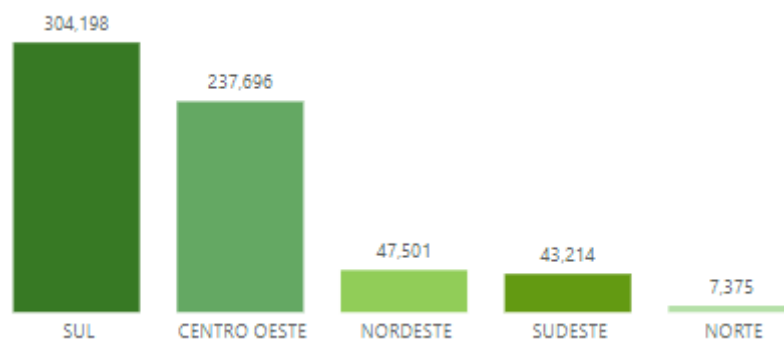
Fonte: Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2020.

(*) Outros materiais graxos = mistura de matérias-primas tradicionais em tanque e reprocessamento de subprodutos gerados na produção de biodiesel

II.1.2 Mercado de biodiesel no Brasil

O Brasil encerrou o ano de 2020 como o terceiro maior produtor de biodiesel do mundo, com uma produção de aproximadamente 4,3 milhões de metros cúbicos distribuídos por 34 produtos em 37 municípios. A distribuição das usinas de produção de biodiesel no território brasileiro está disposta na figura 02, enquanto o gráfico 02 possibilita concluir que as regiões Centro-Oeste e Sul possuíram a maior produção. (ANP, 2021)

Gráfico 02: Produção de biodiesel no Brasil por estado (em m³)



Fonte: ANP, 2021

Figura 02: Produção de Biodiesel no Brasil referente ao ano de 2020



Fonte: Painel dinâmico do mercado brasileiro de Biodiesel da ANP.

Ainda segundo a ANP, apesar da alta capacidade de produção, grande parte está ociosa em todas as regiões (taxas de ocupação inferiores a 65% da capacidade instalada) conforme apresentado na tabela 01, fator que pode ser utilizado como incentivo para a otimização dessas plantas, especialmente a partir do uso de matérias primas residuais. Além disso, na tabela 02 é possível verificar a produção diária das empresas produtoras de biodiesel no Brasil.

Tabela 01: Capacidade nominal e produção de biodiesel (B100) no Brasil por região (mil m³/ano)

| Região | Capacidade | Produção | % |
|--------------|------------|----------|-------|
| Norte | 241,6 | 7,8 | 3,2% |
| Nordeste | 455,4 | 290,9 | 63,9% |
| Sudeste | 664,0 | 334,1 | 50,3% |
| Centro-Oeste | 3.026,3 | 1.896,3 | 62,7% |
| Sul | 2.918,3 | 1.762,2 | 60,4% |
| Brasil | 7.305,6 | 4.291,3 | 58,7% |

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ANP, 2018.

Tabela 02: Empresas produtoras de biodiesel no Brasil e suas capacidades instaladas (m³/dia)

| Empresa | Município | UF | Capacidade (m³/dia) |
|------------------------------|--------------------|-----------|---------------------------------------|
| ADM | Rondonópolis | MT | 1.352 |
| POTENCIAL | Lapa | PR | 1.063 |
| OLEOPLAN | Veranópolis | RS | 1.050 |
| GRANOL | Anápolis | GO | 1.033 |
| GRANOL | Cachoeira do Sul | RS | 933 |
| BIANCHINI | Canoas | RS | 900 |
| CARGILL | Três Lagoas | MS | 700 |
| CAMERA | Ijuí | RS | 650 |
| CARAMURU | Ipameri | GO | 625 |
| CARAMURU | São Simão | GO | 625 |
| PETROBRAS | Candeias | BA | 603 |
| BSBIOS | Passo Fundo | RS | 600 |
| COFCO | Rondonópolis | MT | 600 |
| OLFAR | Erechim | RS | 600 |
| BSBIOS | Marialva | PR | 580 |
| FIAGRIL | Lucas do Rio Verde | MT | 563 |
| JBS | Lins | SP | 560 |
| ADM | Joaçaba | SC | 510 |
| GRANOL | Porto Nacional | TO | 500 |
| TRÊS TENTOS | Ijuí | RS | 500 |
| BINATURAL | Formosa | GO | 450 |
| OLFAR | Porto Real | RJ | 450 |
| PETROBRAS | Montes Claros | MG | 423 |
| BUNGE | Nova Mutum | MT | 414 |
| BIOCAPITAL | Charqueada | SP | 400 |
| ORLÂNDIA | Orlândia | SP | 367 |
| OLEOPLAN NORDESTE | Iraquara | BA | 360 |
| BIOPAR | Nova Marilândia | MT | 338 |
| PETROBRAS BIOCOMBUSTÍVEIS | Quixadá | CE | 302 |
| BIOCAMP | Campo Verde | MT | 300 |
| BOCCHI | Muitos Capões | RS | 300 |
| DELTA | Rio Brillhante | MS | 300 |
| FUGA COUROS | Camargo | RS | 300 |
| SPBIO | Sumaré | SP | 200 |

| | | | |
|----------------------------|----------------------|----|-----|
| BIO PETRO | Araraquara | SP | 194 |
| BARRALCOOL | Barra dos Bugres | MT | 190 |
| CESBRA | Volta Redonda | RJ | 167 |
| BIO ÓLEO | Cuiabá | MT | 150 |
| BIOPAR | Rolândia | PR | 120 |
| TAUÁ | Nova Mutum | MT | 100 |
| TRANSPORTADORA CABIENSE | Rondonópolis | MT | 100 |
| BIO BRAZILIAN | Barra das Garças | MT | 98 |
| AMAZONBIO | Ji-Paraná | RO | 90 |
| BIOTINS | Paraíso do Tocantins | TO | 81 |
| JATAÍ | Jataí | GO | 50 |
| SSIL | Rondonópolis | MT | 50 |
| MINERVA | Palmeiras de Goiás | GO | 45 |
| BIO VIDA | Várzea Grande | MT | 18 |
| COOPERFELIZ | Feliz Natal | MT | 10 |
| RONDOBIO | Rondonópolis | MT | 10 |
| BIG FRANGO | Rolândia | PR | 6 |

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ANP, 2018.

Atualmente, segundo a Biodiesel DATA, o maior fabricante de biodiesel no Brasil é o Grupo Olfar, que possui quatro usinas: Erechim (RS), Porto Real (RJ) e Porangatu (GO). O grupo passou a controlar 1,24 milhão de metros cúbicos em capacidade instalada. (BIODIESELBR, 2021).

O modelo brasileiro de comercialização de biodiesel ocorre por meio de leilões públicos, que segundo a ANP:

“visam à aquisição de biodiesel pelos adquirentes para atendimento do percentual obrigatório de adição de biodiesel ao óleo diesel e para fins de uso voluntário, cujo volume deve ser entregue pelas unidades produtoras de biodiesel.”. (ANP, 2020)

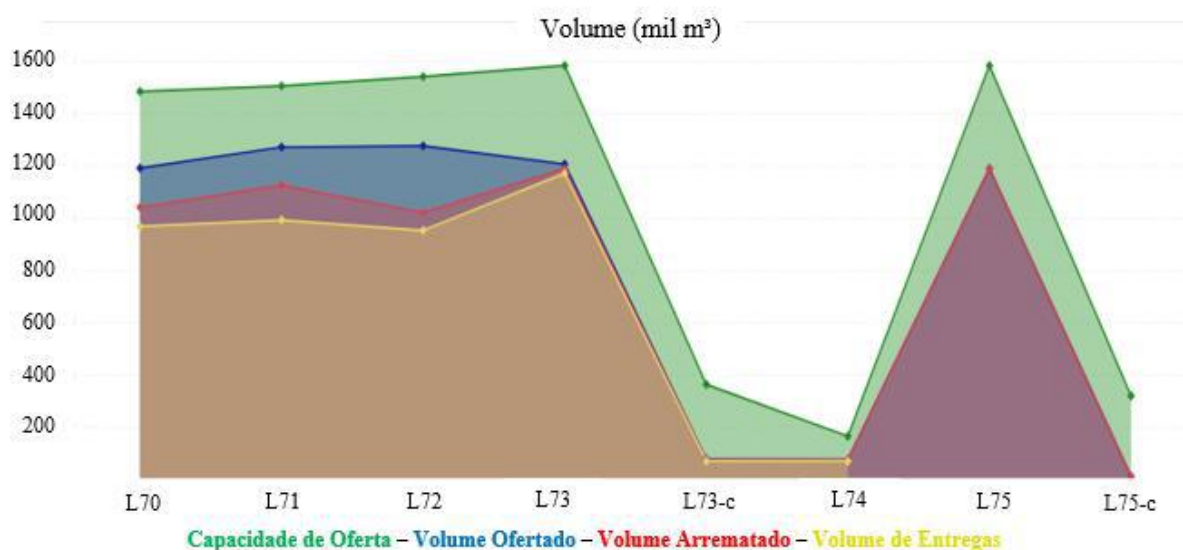
O gráfico 03 apresenta a relação entre a capacidade de oferta, o volume ofertado, volume arrematado e volume entregue no ano de 2020 em relação aos leilões organizados pela ANP desse mesmo ano.

Em 2021, apenas o leilão nº 001 foi homologado. Nele, foram negociados cerca de 1,3 milhão de metros cúbicos de biodiesel por um preço médio de R\$ 4.708,48 por metro cúbico. Tal valor representa um aumento de aproximadamente 18% em relação

ao anterior - leilão nº 009/20 - ocorrido em novembro de 2020. Os preços variam entre as regiões, como pode ser observado na tabela 03.

Como mencionado anteriormente, um dos principais fatores para o aumento do preço do biodiesel está relacionado à disponibilidade de matéria-prima soja para produzir quantidade suficiente de biodiesel para atender as exigências legais.

Gráfico 03: Relação entre os volumes de biodiesel referente aos leilões de 2020.



Fonte: Painel Dinâmico de Mercado Brasileiro de Biodiesel – ANP, 2021. Adaptado.

Tabela 03: Volume negociado, valor total da compra e preço de compra por região referente ao Leilão nº 001/21 para comercialização de biodiesel organizado pela ANP.

| Região | Volume Negociado (m³) | Valor Total de Compra (R\$) | Preço de Compra (R\$) |
|-------------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------|
| Centro-Oeste | 463.870,0 | 2.188.316.955,0 | 4.717,5 |
| Sul | 614.910,0 | 2.859.209.430,0 | 4.649,8 |
| Sudeste | 89.100,0 | 423.730.520,0 | 4.755,7 |
| Nordeste | 111.248,0 | 546.625.800,0 | 4.913,6 |
| Norte | 26.552,0 | 129.887.584,0 | 4.891,8 |
| Todas as regiões | 1.305.680,0 | 6.147.770.289,0 | 4.708,5 |

Fonte: Elaboração Própria, com base no documento homologado referente ao Leilão nº 001/21 organizado pela ANP.

II.2. Cadeia produtiva de café

Neste tópico, serão abordados: os tipos de café e a forma que suas características influenciam na produção da borra; a descrição da produção de café solúvel; as principais oportunidades em relação à utilização da borra; e, por último, o mercado brasileiro de café.

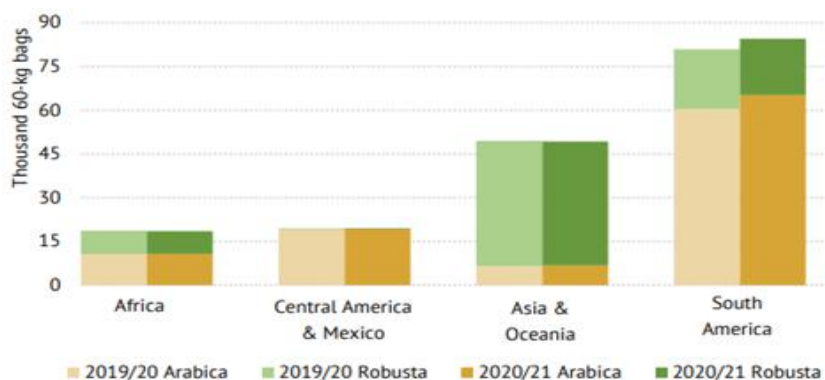
II.2.1. Tipos de Café

O café é considerado uma commodity agrícola, cujos maiores fornecedores estão concentrados em países em desenvolvimento e os maiores consumidores em países desenvolvidos. Entre outros fatores, as condições de solo predominantes nas zonas intertropicais e equatoriais determinam a cadeia de comércio ao redor do mundo (C. Vegro et al., 2020).

Há dois principais tipos de café produzidos no Brasil: o Arábica e o Robusta. O café Arábica (*coffea arabica*) é cultivado em altitudes acima de 800 metros e predomina nas lavouras de Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Bahia, Rio de Janeiro e em parte do Espírito Santo. Seu teor de cafeína atinge em torno de 1,2% e o de açúcar, entre 6 e 9%. Já o café Robusta ou Conilon (*coffea canephora*) é utilizado principalmente para a fabricação de cafés solúveis e em algumas misturas com o Arábica. Apresenta maior teor de cafeína, em torno de 2,2% e menor teor de açúcar, entre 3 e 5%. Seu cultivo predomina nas lavouras do Espírito Santo, Rondônia e em parte da Bahia e de Minas Gerais. (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, MAPA, 2018).

O café Robusta representa 25% da produção mundial, enquanto o café Arábica representa 75% (G. Dattatraya Saratale et al, 2020). O gráfico 04, é possível verificar a produção anual de café dividida entre as variedades Robusta e Arábica, por continente.

Gráfico 04: Produção anual de café por variedade e continente



Fonte: Coffee Market Report (ICO), 2021.

Após a colheita, o café pode ser ramificado em três caminhos distintos: comercialização do café verde, indústria de torrefação e moagem e indústria do café solúvel. Apenas nas duas últimas há produção de borra, entretanto, como o estudo será baseado na borra formada na indústria de café solúvel, somente essa será detalhada a seguir. (DA CONCEIÇÃO; JÚNIOR; DA CONCEIÇÃO, 2017)

II.2.2. Borra de café e a produção de café solúvel

Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Café Solúvel (ABICS), o processo básico de produção de café solúvel está disposto na figura 03 e envolve nove etapas principais:

i. Matéria-prima: Nesta etapa, ocorre a escolha das espécies de café (*Coffea Arábica* e *Coffea Canephora*) de acordo com o perfil sensorial (aroma e sabor) que se deseja obter no produto final. Ressalta-se que a matéria-prima já foi colhida, selecionada, limpa e seca anteriormente.

ii. Ligas ou Blends: Ocorre a classificação das características físicas de acordo com a Classificação Oficial Brasileira e análises físico-químicas. A partir dos resultados obtidos e do aspecto final que se deseja atingir, definem-se os *blends* (mistura) que serão torrados na etapa seguinte.

iii. Torrefação: As ligas escolhidas são torradas em equipamentos operando em batelada, em que gases da fornalha entram em contato com o café cru. Destaca-se que a intensidade da torra confere características finais de sabor, aroma e coloração ao produto. Após a torra, forma-se o óleo de café torrado por meio de prensagem e filtração.

iv. Granulação: Para disponibilizar os sólidos solúveis e as substâncias voláteis para o processo de extração, ocorre a quebra do café torrado em partes uniformes.

v. Extração: Consiste na percolação de água, em condições elevadas de temperatura e pressão, para remoção das substâncias voláteis do grão por infusão. O equipamento utilizado é chamado percolador e nesse, o café granulado é compactado em leitos fixos e os extratos obtidos, como mencionado anteriormente, pela passagem de água com fluxo contracorrente. Nessa etapa, há formação da borra de café.

vi. Tratamento do Extrato: O extrato passa por um processo de centrifugação para retirar partículas insolúveis.

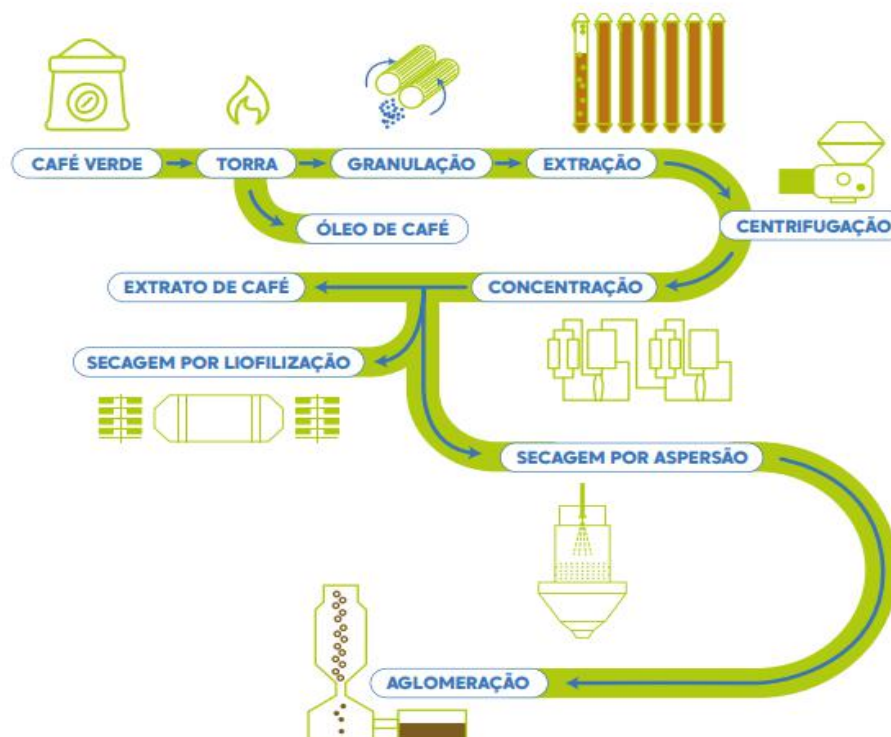
vii. Recuperação do Aroma: Antes do extrato seguir para etapa de concentração, ele é processado no recuperador de aromas, onde seus componentes aromáticos são separados por uma extração a vapor, condensados e armazenados em um tanque hermético.

viii. Concentração: Como a extração não possui alta eficiência, é necessário concentrar o extrato obtido na etapa anterior. Para tal, o extrato de café passa por processos de evaporação, concentração por termo-centrífugo ou por crio-concentrador, onde parte da água é retirada. No final, é possível atingir um extrato de concentração igual a 43% de sólidos solúveis e poder ser armazenado ou enviado para secagem. (SILVA, 2018)

ix. Secagem: Na última etapa, o extrato de café pode ser seco por dois diferentes processos: aquecimento (evaporação) - *spray dried* - ou por congelamento (sublimação) - *freeze dried*.

Há 6 principais empresas produtoras de café solúvel no Brasil, sendo essas: Cacique e Café Iguaçu (PR), Cocam e Nescafé (SP), Real Café (ES) e Café Campinho (MG). Dentre essas, a Nescafé que faz parte do grupo Nestlé, possui o maior parque industrial de café solúvel do país. (ABICS, 2021)

Figura 03: Fluxograma de produção de café solúvel



Fonte: ABICS, 2015.

A borra de café, resíduo sólido da cadeia de café solúvel, é majoritariamente composta de cafeína, minerais (K, Mg, P, Ca, Na, Fe, Mn e Cu), compostos fenólicos (ácido clorogênico e antioxidantes fenólicos), lipídios (ácido palmítico, oleico, linoleico e esteárico), compostos nitrogenados não-proteicos e carboidratos (galactomananas, arabinogalactanas, entre outros). (G. Dattatraya Saratale et al, 2020)

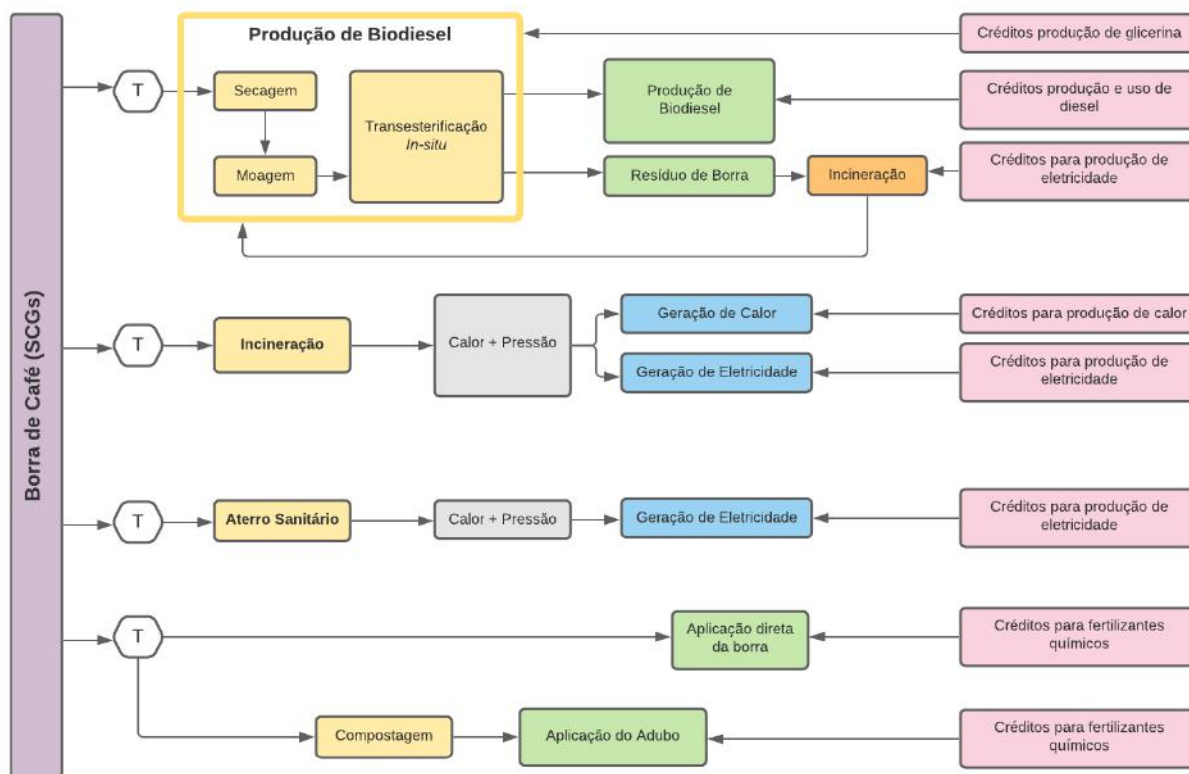
Como pode ser avaliado pela figura 04, a borra de café pode ser utilizada para a produção de biodiesel, como insumo para geração de calor e energia e uso, direto ou indireto, como fertilizante. (RIVERA; GALLEGO-SCHMID; NAJDANOVIC-VISAK, 2020). No entanto, a maior parte das indústrias não possui aproveitamento deste resíduo, sendo este normalmente disposto em aterros sanitários ou incinerados (I. K. KOOKOS, 2018).

Devido à sua composição lipídica, é possível extrair da borra um óleo que pode ser utilizado na produção de biodiesel. As principais vantagens desse processo, além do reaproveitamento de resíduos, estão relacionadas à estabilidade do produto final devido à presença de antioxidantes que evitam a oxidação do combustível durante as etapas de estocagem e transporte (Todaka et al., 2018; Yanagimoto et al., 2004). Além disso, a utilização de resíduos agroindustriais em detrimento de recursos alimentícios como matéria-prima para o biodiesel, como o caso da soja, é um fator atrativo para a economia global e para o aumento da oferta de alimentos, pois reduz a competitividade com o setor alimentício.

Como fertilizante, a borra pode ser utilizada direta ou indiretamente. O uso direto compreende a aplicação da borra em terras agrícolas, evitando, assim, o uso de fertilizantes químicos. Já na aplicação indireta, a borra passa por um processo de compostagem utilizando tecnologia multi-túnel – a borra é decomposta em túneis com aeração forçada e irrigação. Após a maturação, o adubo produzido segue para transporte e utilização no campo. (RIVERA; GALLEGO-SCHMID; NAJDANOVIC-VISAK, 2020)

A borra também pode ser aproveitada para produzir energia em aterros sanitários, pois o biogás produzido pode ser recuperado e utilizado para produzir eletricidade devido sua capacidade energética. Além disso, a borra pode ser diretamente incinerada, produzindo energia elétrica ou na forma de calor. (RIVERA; GALLEGO-SCHMID; NAJDANOVIC-VISAK, 2020).

Figura 04: Possíveis rotas de aproveitamento da borra de café



Fonte: Elaboração Própria adaptado de RIVERA; GALLEGRO-SCHMID; NAJDANOVIC-VISAK, 2020

Segundo o Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento em seu sumário executivo publicado em abril de 2021, a exportação de café solúvel atingiu em 2020 o valor de 4,23 milhões de sacas (aproximadamente 254 mil toneladas). E, segundo os indicadores de 2020 quanto à indústria de café publicados pela Associação Brasileira da Indústria de Café Solúvel (ABICS), a produção para consumo interno foi de 0,9 milhão de sacas (aproximadamente 54 mil toneladas). A partir desse montante total, considerando que para produzir 1 quilo de café solúvel são necessários 2,6 quilos de café verde (ABICS, 2019) e que cada tonelada de café verde produz cerca de 480 quilos de borra de café seca (ADAMS & DOUGAN, 1987), estima-se que a produção de borra de café no ano de 2020 no Brasil foi de 384 mil toneladas proveniente apenas da indústria de café solúvel.

II.2.3. Mercado Brasileiro de Café

O comércio global de café é caracterizado por dois mercados principais: o mercado de commodities, que oferece principalmente café a granel produzido em grandes volumes, qualidade padrão e é sensível ao preço, e a especialidade de nicho, que oferece

grãos de café de alta qualidade a preços mais elevados e volumes mais baixos para exportadores. (C. Vegro et al., 2020).

Aproximadamente 70% da produção de café provém de quatro principais países: Brasil (variedades Arábica e Robusta), Vietnã (principalmente, Robusta), Colômbia (Arábica) e Indonésia (Robusta). Em relação ao consumo, Estados Unidos, União Europeia, Brasil e Japão compõem 2/3 da demanda global de café. (International Coffee Organization, 2019).

No ano cafeeiro de 2020/21, estima-se que a produção global de café cresça em até 1,9% em relação ao ano anterior, atingindo 171,9 milhões de sacas produzidas (10,3 milhões de toneladas). Seguindo essa tendência, espera-se que o consumo cresça em 1,3%, atingindo 166,63 milhões de sacas (International Coffee Organization, 2021). As transações internacionais de café somam mais de 70% de todo o café produzido mundialmente, mas o consumo doméstico vem crescendo em muitos países produtores, o que contribui para elevar as oportunidades na origem.

A produção de café na América do Sul tende a crescer em 4,4%, atingindo 84,54 milhões de sacas, contemplando 49,2% da produção mundial. Quanto ao Brasil, sua estimativa é de crescer em 12,5%, atingindo 69,58 milhões de sacas. A tendência de crescimento decorre do fato de que a safra do café Arábica em 2021 está em um ano do ciclo bienal, e o clima favorável impulsiona ainda mais os rendimentos. (International Coffee Organization, 2020).

Em relação ao Brasil, o estado de Minas Gerais lidera as previsões para a produção de café no ano cafeeiro de 2020/21, mais especificamente a região sudoeste do estado, com 33,80 milhões de sacas produzidas. Em seguida, o estado do Espírito Santo, com produção de 18,40 milhões de sacas no mesmo período. O terceiro maior produtor é o estado de São Paulo, com 6,10 milhões de sacas. No que tange ao país inteiro, a produção é de 67,90 milhões de sacas, sendo 47,80 milhões de café Arábica, e 20,10 milhões de café Robusta (ATO/São Paulo, 2020).

Um aspecto relevante em relação ao preço do café é relacionado à inelasticidade peculiar da demanda. Em geral, os consumidores estão dispostos a consumir café independente das oscilações de preço, o que pode ser explicado por seu consumo ser conectado a hábitos, aromas e memórias afetivas.

Além disso, o preço do café vem subindo não só pelo aumento da demanda, mas também por seu valor agregado. O processo de “descomoditização” dos grãos de café é decorrente da elevação de qualidade e diferenciação, incluindo características geográficas ou outros atributos como segurança e sustentabilidade. (COFFEE DEVELOPMENT REPORT, 2020).

Para o Brasil, o preço praticado domesticamente vinha sendo mantido apesar da colheita excedente de 2020/2021 e da alta do dólar. No entanto, a pandemia da COVID-19 vem resultando em atrasos e restrições nas entregas ao redor do mundo, elevando os preços do mercado. Além disso, o tempo seco e a elevação das temperaturas podem afetar a colheita brasileira de 2021, podendo afetar os preços. Os preços do café arábica no Brasil estão dispostos na tabela 04. (International Coffee Organization, 2021).

Tabela 04: Preços do café Arábica praticados no mercado doméstico brasileiro (R\$ 60 kg/saca)

| Mês/Ano | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-----------|
| Janeiro | 491,3 | 514,2 | 446,4 | 410,9 | 493,0 |
| Fevereiro | 489,8 | 508,7 | 438,3 | 407,7 | 482,0 |
| Março | 491,1 | 485,9 | 429,8 | 395,6 | 556,3 |
| Abril | 466,7 | 467,6 | 430,7 | 384,2 | 584,6 |
| Maio | 460,4 | 455,7 | 451,0 | 389,0 | 574,1 |
| Junho | 484,9 | 445,9 | 452,0 | 411,9 | 483,2 |
| Julho | 498,5 | 451,9 | 439,3 | 423,7 | 506,0 |
| Agosto | 479,0 | 458,8 | 421,1 | 408,7 | 578,8 |
| Setembro | 502,9 | 453,5 | 415,4 | 430,6 | 564,6 |
| Outubro | 511,1 | 446,0 | 441,2 | 421,7 | 536,6 |
| Novembro | 556,7 | 452,9 | 441,6 | 475,1 | 538,6 |
| Dezembro | 501,8 | 447,4 | 420,3 | 545,2 | sem dados |

Fonte: Elaboração própria, adaptado de CEPEA/ESALQ/USP (2020).

Os preços do café Robusta no mercado doméstico brasileiro são significativamente menores em relação ao café Arábica. O gráfico 05 apresenta as diferenças de preço entre o café Arábica e Robusta entre janeiro de 2014 e julho de 2020.

Gráfico 05: Diferenças de preço entre as variedades Arábica e Robusta

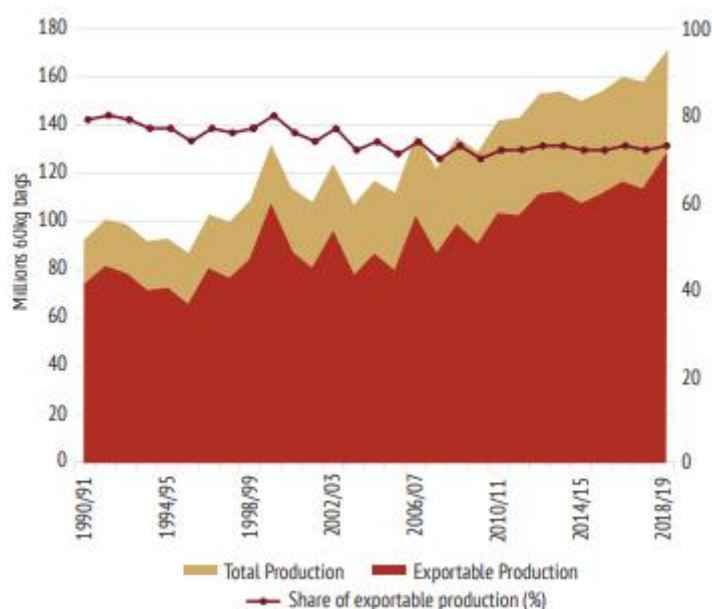


Fonte: ATO/São Paulo, 2020.

Essa diferença de preço vinha aumentando desde 2017 devido à recuperação na produção do café Robusta após anos de enfrentamento à seca, o que reduziu os seus preços. No entanto, a partir de abril de 2020, com o início da pandemia da COVID-19, a diferença voltou a aumentar. Ainda em relação à crise sanitária atual, a qualidade do café consumido ao redor do mundo diminuiu, e as marcas mais populares de café, que possuem um teor maior de café Robusta, passaram a ser mais consumidas.

Como pode ser visto no gráfico 06, as exportações também aumentaram no ano cafeeiro de 2020/21. Nos 3 primeiros meses do ano, atingiram 31,59 milhões de sacas, 6,1% a mais quando comparado aos 3 meses anteriores. Além disso, as exportações globais, em dezembro de 2020, atingiram 10,97 milhões de sacas, o que representa um aumento de 1,5% quando comparado a dezembro do ano anterior. Já o percentual produzido direcionado à exportação vem se mantendo em torno de 70% ao longo dos últimos 10 anos cafeeiros. (International Coffee Organization, 2020).

Gráfico 06 Produção e exportação de café no mundo (1990/91-2018/19)



Fonte: International Coffee Organization, 2020

Outro aspecto relevante a ser analisado é a forma sob a qual o café é comercializado, que pode ser torrado, solúvel ou em grãos verdes. As formas torrado e solúvel requerem processos industriais adicionais, por isso são considerados produtos processados. Quanto às conversões, para produzir 1 kg de café torrado, são necessários 1,19 kg de grãos de café verde; para produzir 1 kg de café solúvel, são necessários 2,6 kg de grãos de café verde, e já para produzir 1 kg de café descafeinado, são necessários 1,05 kg de grãos de café verde (International Coffee Organization, 2019).

As tendências de exportação para as três formas do café têm sido particulares nos últimos anos. A exportação de café torrado lidera, seguida pelo café solúvel e grãos verdes de café. O café torrado, além de liderar em volume exportado, é a única das três formas a possuir valor superior ao volume, mostrando que o processamento do café eleva o seu preço unitário. Tal cenário pode ser atribuído à agregação de qualidade e comodidade aos compradores na comercialização de café torrado substituindo o café verde.

De modo geral, os preços unitários do café verde e do café processado seguem a mesma tendência, já que o café verde é um insumo para a indústria do café processado. Dessa forma, alterações no preço internacional do café devido aos mecanismos de oferta e demanda afetam os custos de matéria prima da indústria do café processado.

Pela análise da tabela 05, percebe-se que a balança de oferta e demanda do café vem sendo positiva desde 2016, tendo atingido o seu pico em 2017. Entre 2019 e 2020, a balança aumentou majoritariamente devido ao aumento da produção do café Arábica e da produção na América do Sul.

Tabela 05: Balança mundial de oferta e demanda de café

| Coffee year commencing | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020* | % change 2019/20 |
|------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------------|
| PRODUCTION | 160 608 | 167 868 | 170 242 | 168 678 | 171 896 | 1.9% |
| Arabica | 99 940 | 98 187 | 99 873 | 96 816 | 101 875 | 5.2% |
| Robusta | 60 668 | 69 680 | 70 368 | 71 862 | 70 021 | -2.6% |
| Africa | 16 839 | 17 461 | 18 579 | 18 681 | 18 539 | -0.8% |
| Asia & Oceania | 47 930 | 52 203 | 48 163 | 49 493 | 49 274 | -0.4% |
| Mexico & Central America | 20 322 | 21 752 | 21 636 | 19 542 | 19 544 | 0.0% |
| South America | 75 516 | 76 453 | 81 864 | 80 963 | 84 539 | 4.4% |
| CONSUMPTION | 158 781 | 161 377 | 168 491 | 164 530 | 166 628 | 1.3% |
| Exporting countries | 48 334 | 49 686 | 50 244 | 50 002 | 50 664 | 1.3% |
| Importing countries (Coffee Years) | 110 447 | 111 691 | 118 247 | 114 528 | 115 964 | 1.3% |
| Africa | 10 702 | 11 087 | 12 017 | 12 020 | 12 240 | 1.8% |
| Asia & Oceania | 35 068 | 34 903 | 36 472 | 36 002 | 36 503 | 1.4% |
| Mexico & Central America | 5 193 | 5 273 | 5 431 | 5 352 | 5 364 | 0.2% |
| Europe | 52 148 | 53 251 | 55 637 | 53 680 | 54 349 | 1.2% |
| North America | 29 559 | 29 941 | 31 779 | 30 580 | 30 993 | 1.4% |
| South America | 26 111 | 26 922 | 27 156 | 26 898 | 27 180 | 1.0% |
| BALANCE | 1 827 | 6 491 | 1 750 | 4 148 | 5 268 | |

Fonte: International Coffee Organization, 2021.

II.3. Produção de biodiesel a partir da borra de café

A principal tecnologia de obtenção de biodiesel empregada no Brasil é a transesterificação, onde se emprega um catalisador ácido, básico (mais comum) ou

enzimático, sendo a escolha desse dependente do tipo de matéria-prima a ser utilizada. (GONZALEZ, 2008).

A produção de biodiesel a partir da borra de café consiste em três principais etapas: primeiramente, a borra de café passa por um processo de secagem para a remoção de umidade; em seguida, é feita a extração do óleo utilizando solventes como hexano, isopropanol, etanol e metanol; e, por último, o biodiesel é produzido pelo processo de transesterificação. (I. K. KOOKOS, 2018).

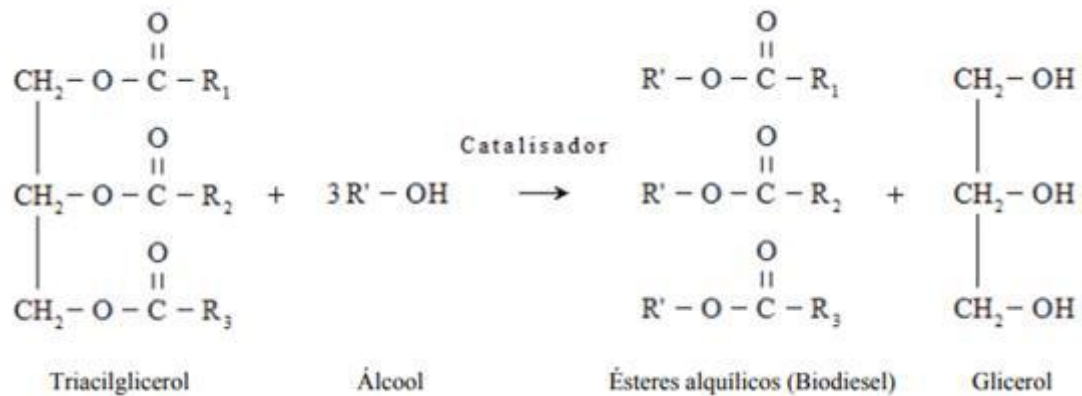
Para evitar a etapa da extração do óleo, também existe a possibilidade da transesterificação *in-situ* da borra de café seca. No entanto, o excessivo consumo energético para a recuperação do metanol não reagido muitas vezes não compensa a utilização deste método. (I. K. KOOKOS, 2018).

A reação apresentada na figura 05 demonstra que 01 mol de triglicerídeos reage com 03 mols de um álcool de cadeia curta produzindo 03 mols de ésteres alquílicos e 01 mol de glicerol, que é o principal coproduto da reação de transesterificação.

Sobre a reação química, é importante ressaltar que a presença de água afeta negativamente o rendimento do processo, pois provoca a hidrólise do éster (reação inversa). Além disso, é comum se empregar excesso de álcool em uma proporção de 12:1 a fim de deslocar o equilíbrio da reação no sentido da formação dos produtos (RAMOS, 2016). A temperatura normalmente adotada é de até 40°C, sendo importante mencionar que temperaturas superiores podem ser empregadas, mas favorecem a ocorrência de reações secundárias indesejáveis. (I.K. KOOKOS, 2018).

Os catalisadores mais comuns são o hidróxido de sódio ou demais bases fortes, sendo que a quantidade empregada deste está relacionada essencialmente à massa de triglicerídeos. Apesar da promoção de uma reação mais rápida e do baixo custo, o hidróxido de sódio converte parte da matéria-prima em sais de ácidos graxos (sabão) que são difíceis de serem removidos do produto (SUAREZ, 2009). A produção de sabão também está associada ao teor de ácidos graxos livres presentes na matéria-prima, já que esses reagem preferencialmente com o íon hidróxido, produzindo, também, sabões. Por essa razão, é de suma importância avaliar a acidez da matéria-prima ao determinar as condições reacionais a serem empregadas (RAMOS, 2016). Por exemplo, em matérias-primas de teor de ácidos graxos livres superior a 1%, empregam-se catalisadores ácidos, pois evitam a formação de sabões, facilitando a purificação do produto final. (CORREIA DE MELO, 2017).

Figura 05: Representação geral de uma reação de transesterificação



Fonte: SUAREZ, 2009

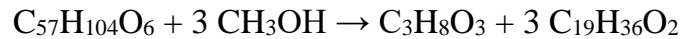
Um fator que pode ser interessante para a valorização do processo é que a borra de café remanescente após a extração do óleo tem potencial energético, com poder calorífico de 20 MJ/kg. Ela pode substituir diretamente os combustíveis convencionais ou ser otimizada a um bio-óleo, com poder calorífico superior (27 MJ/kg) e biochar (28,3 MJ/kg). (I. K. KOOKOS, 2018).

II.3.1 Equipamentos

A seguir, será explorado o detalhamento de uma planta de produção de biodiesel a partir da borra de café utilizando hexano como solvente para extração com base na pesquisa de I.K KOOKOS, 2018.

Inicialmente, a borra de café contendo 65% de umidade é alimentada em um leito fluidizado (FBD-101). O ar já comprimido pelo compressor (C-101) e aquecido no trocador de calor (E-101) é o responsável por remover praticamente toda a umidade da borra de café dentro do leito fluidizado, produzindo um efluente seco. A borra de café seca segue para o tanque de mistura (MT-101) juntamente ao hexano em excesso para a extração do óleo. Após a extração, o efluente segue para uma centrífuga (CF-101) que separa o efluente sólido (borra de café seca e livre de gorduras) do efluente líquido (hexano não reagido e óleo). O efluente líquido passa por uma bomba centrípeta e é encaminhado para um evaporador (EV-101), onde o hexano e o óleo são separados. O evaporador produz um óleo praticamente puro, que segue para a etapa de transesterificação, e o vapor de hexano segue para a corrente de reciclo após ser comprimido e condensado, por onde retorna ao tanque de mistura.

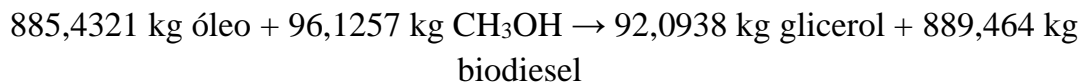
Na etapa de transesterificação, o óleo proveniente da borra de café (representado pela trioleína $C_{57}H_{104}O_6$) é transesterificado a metil oleato ($C_{19}H_{36}O_2$) e glicerol ($C_3H_8O_3$) utilizando-se metanol em 100% de excesso e hidróxido de sódio (NaOH) como catalisador, de acordo com a reação a seguir.



Massas molares:

- Trioleína ($C_{57}H_{104}O_6$): 885,4321 g/mol
- Metanol (CH_3OH): 32,0419 g/mol
- Glicerol ($C_3H_8O_3$): 92,0938 g/mol
- Metil oleato ($C_{19}H_{36}O_2$): 296,488 g/mol

Considerando as massas molares dos componentes e suas relações estequiométricas, tem-se a seguinte relação em unidade de massa (quilograma):



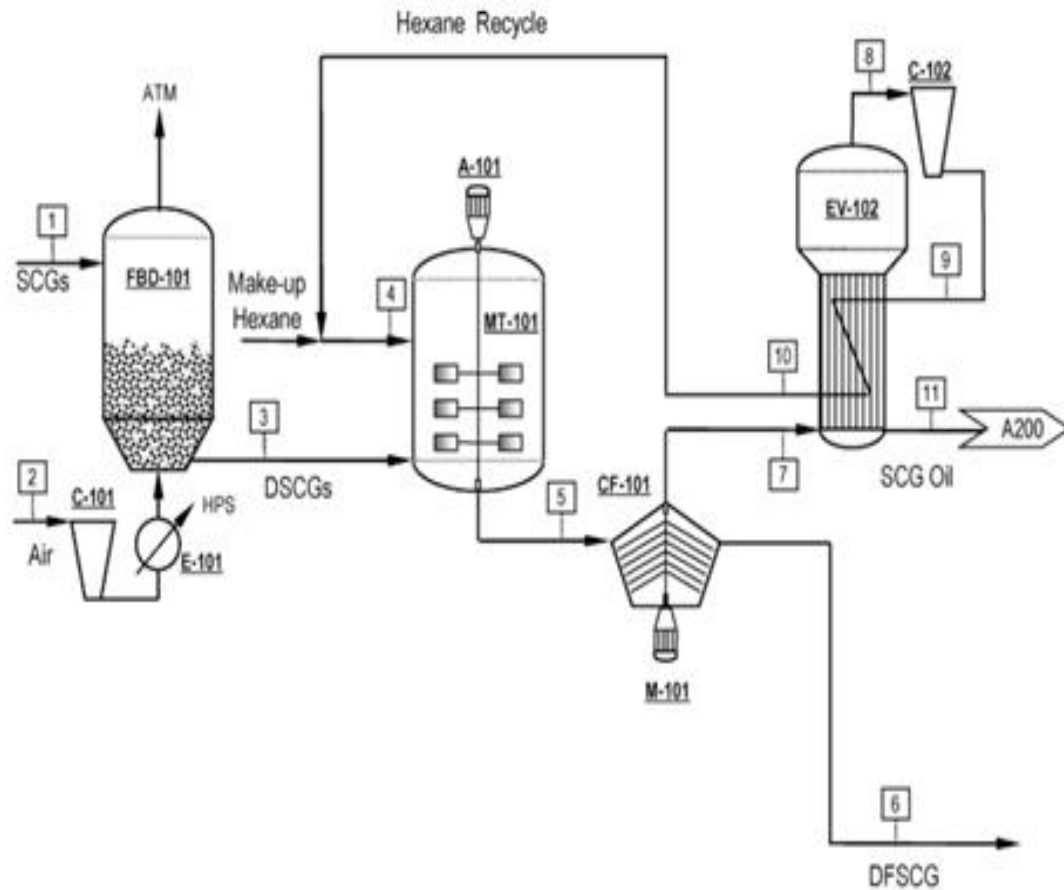
Nesta etapa, o óleo recuperado segue para o primeiro reator de mistura (R-201) juntamente ao metanol em excesso e ao catalisador (1% da massa do óleo). A corrente efluente do reator segue para um decantador (D-101) onde o óleo não reagido e o biodiesel já formado são separados do glicerol. A corrente rica em óleo é alimentada a um segundo reator de mistura (R-202) juntamente a metanol e catalisador, e o efluente é alimentado a um segundo decantador (D-202) onde o óleo não reagido e o biodiesel produzido são separados do glicerol. A corrente rica em biodiesel é alimentada a um tanque de mistura (V-401) juntamente à água de processo e ácido clorídrico (HCl) para lavagem e ajuste de pH, neutralizando o catalisador e convertendo o possível sabão formado em FFAs (ácidos graxos livres). O efluente é alimentado em uma centrífuga (CF-401) onde o biodiesel é recuperado com pequena quantidade de água. A etapa final de purificação do biodiesel ocorre um flash de destilação (D-401) que opera a vácuo. O biodiesel recuperado e purificado é então armazenado no tanque de armazenagem (V-402).

Por fim, todas as correntes contendo glicerol e/ou metanol são alimentadas em um tanque de mistura (V-302). A corrente é inicialmente tratada com HCl para converter o sabão formado em FFAs (ácidos graxos livres) e em seguida alimentada em uma centrífuga (CF-301) para remover os FFAs, o sabão e os sais. A corrente rica em metanol e glicerol é alimentada a uma torre de destilação (T-301) para recuperação do glicerol, que é removido no fundo da torre (80% m/m de glicerol). O produto de topo, que contém água e metanol, é encaminhado para uma segunda torre de destilação (T-

302), onde o metanol é recuperado no topo (99,9 mol%) e o produto de fundo é água quase pura. O glicerol cru é armazenado no tanque de armazenagem (V-303).

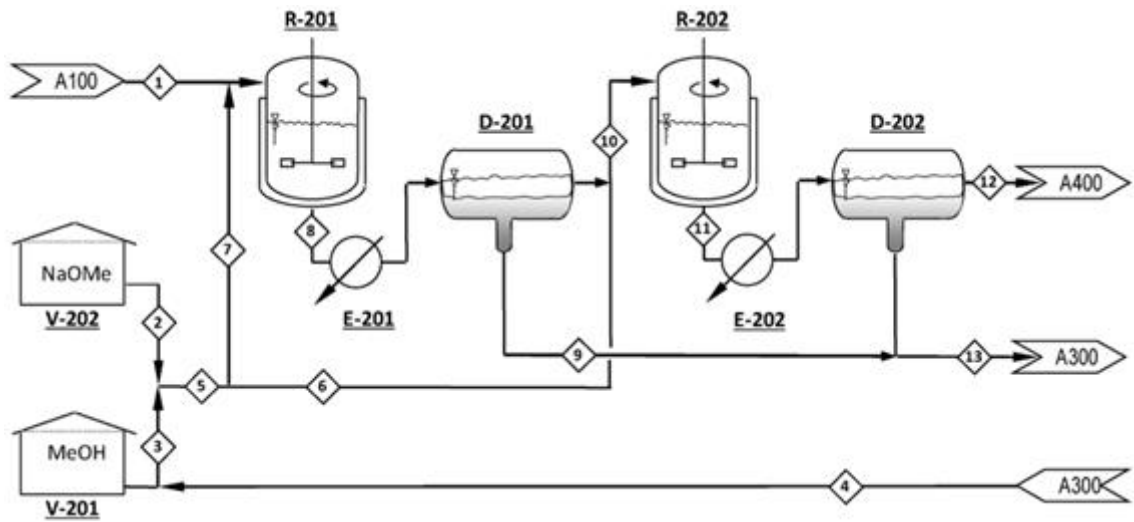
Os fluxogramas de cada área estão dispostos nas figuras 06, 07, 08 e 09.

Figura 06: Área de secagem da borra de café e recuperação do óleo



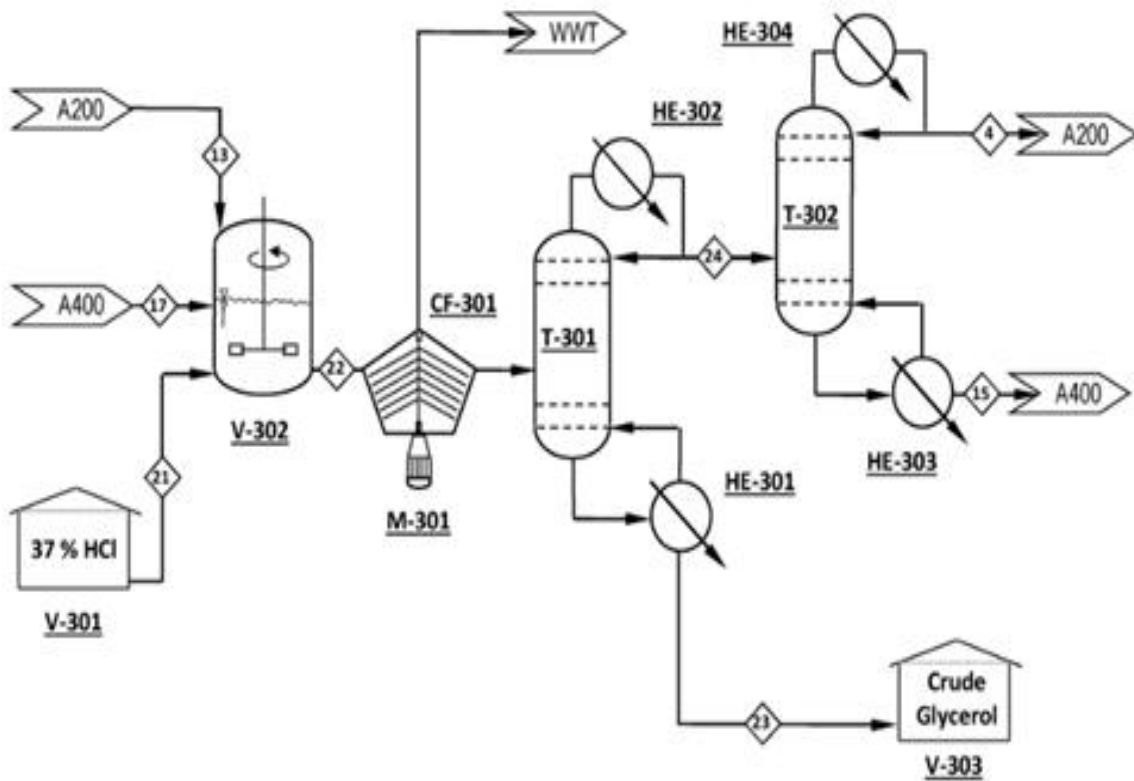
Fonte: I. K. KOOKOS, 2018

Figura 07: Área do processo de transesterificação



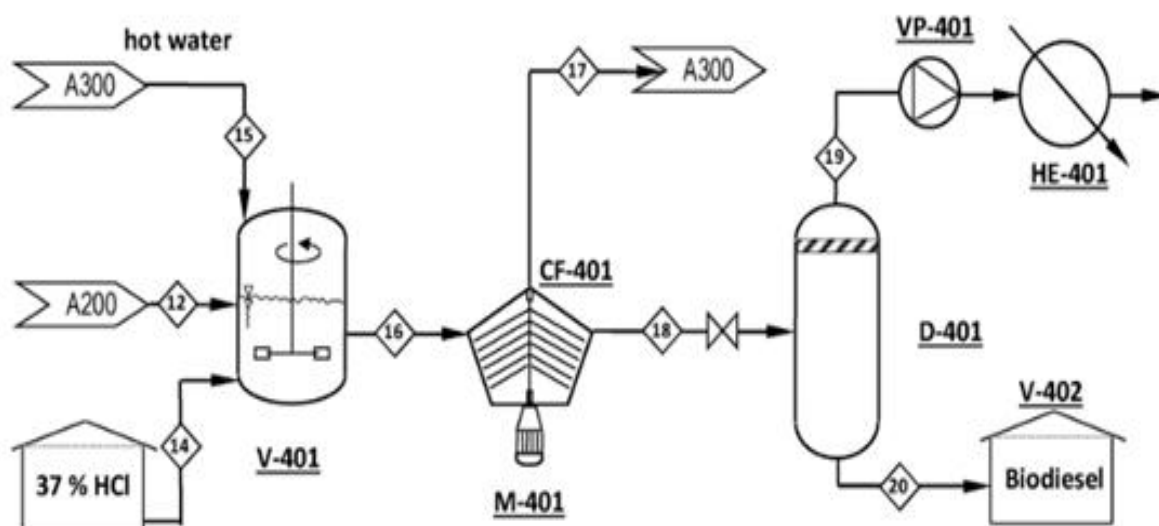
Fonte: I. K. KOOKOS, 2018

Figura 08: Área de recuperação do metanol



Fonte: I. K. KOOKOS, 2018

Figura 09: Área de recuperação do biodiesel e processo de purificação do produto



Fonte: I. K. KOOKOS, 2018

A seguir, são apresentados os coeficientes técnicos de cada insumo para a produção de biodiesel a partir da borra de café.

Tabela 06: Coeficientes técnicos para a produção de biodiesel a partir da borra de café

| Insumo | Coefficiente técnico (unidade insumo/ton biodiesel) | Unidade |
|----------------------|--|---------|
| Borra de café | 24,2131 | Ton |
| NaOMe 25% | 0,0251 | Ton |
| Hexano | 0,0100 | Ton |
| MeOH | 0,0904 | Ton |
| HCl 35% | 0,0115 | Ton |
| Eletricidade | 13.776 | kWh/ton |
| Água de resfriamento | 0,0933 | Ton |
| Vapor | 1,7700 | Ton |

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de I.K.KOOKOS (2018)

A partir dos coeficientes técnicos, é possível avaliar a quantidade de borra de café necessária para suprir a demanda de plantas de pequeno, médio e grande porte na indústria de produção de biodiesel no Brasil (tabela 07). Como exemplos, foram utilizadas três usinas: ADM, localizada em Rondonópolis (MT), que possui a maior

produção do país como planta de grande porte; Granol, localizada em Porto Nacional (TO) como planta de médio porte; e Rondobio, localizada em Rondonópolis (MT) como planta de pequeno porte.

Avaliando a demanda de usinas de portes diferentes e conhecendo a produção de borra de café no Brasil, é possível avaliar a disponibilidade de matéria prima requerida para o processo produtivo. A tabela 07 expõe a quantidade de borra de café que seria necessária por dia, caso essas usinas a utilizassem como matéria-prima. É importante destacar que este tópico será discutido mais adiante, na etapa da escolha da escala da planta, já que a disponibilidade de borra de café é um dos fatores determinantes para tal decisão.

Tabela 07: Capacidade produtiva de plantas de produção de biodiesel de grande, médio e pequeno porte localizadas no Brasil e demanda de borra de café

| Planta | Capacidade Produtiva Biodiesel (ton/dia) | Borra de Café Requerida (ton/dia) |
|---------------|---|--|
| ADM | 1.226,23 | 29.690,89 |
| Granol | 453,49 | 10.980,36 |
| Rondobio | 9,07 | 219,61 |

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de ANP (2018); I.K.KOOKOS (2018)

III. Metodologia

Neste capítulo, será apresentada a metodologia utilizada no presente trabalho, a fim de alcançar os objetivos propostos, além de responder os questionamentos expostos anteriormente.

O estudo teve início em uma pesquisa de natureza documental e bibliográfica, a partir de artigos encontrados na base *Science Direct* (Elsevier) para obter um entendimento acerca das cadeias de produção de café solúvel no Brasil e da produção de biodiesel a partir não só da borra de café, mas também de outras matérias-primas oleaginosas. Destaca-se que nessa etapa foi necessário avaliar as tecnologias e principais desafios da utilização da borra como matéria-prima para produção do biodiesel.

Em seguida, foi realizada uma pesquisa, nos mesmos moldes da anterior, a fim de encontrar estudos de viabilidade econômica da produção de biodiesel a partir da borra de café no Brasil ou em outros países. Ainda nessa etapa, foram avaliados os mercados nacional e internacional do café, do biodiesel e da borra. Para as análises de mercado, foram realizadas buscas nos relatórios públicos das principais fontes: da Agência Nacional do Petróleo (ANP), International Coffee Organization (ICO), Associação Brasileira da Indústria de Café Solúvel (ABICS), Receita Federal do Brasil (RFB), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), United States Department of Agriculture (USDA), entre outras organizações.

A partir das informações obtidas, foi definido o local de instalação da planta, além da confecção de um estudo preliminar de viabilidade técnico-econômica que necessitará dos coeficientes técnicos, estimativa de investimentos, estimativa de custos operacionais, estimativa de receita, elaboração de análises contábeis (DRE e DFC), juntamente às análises de sensibilidade. Os indicadores obtidos a partir deste serviram de base para a elaboração da conclusão a ser apresentada no final do estudo.

Por fim, pelas pesquisas e análises apresentadas neste capítulo, pretende-se avaliar a viabilidade econômica para produção de biodiesel a partir da borra de café no Brasil bem como suas vantagens e desafios, utilizando o exemplo da construção da planta proposta neste trabalho.

III.1. Análise de artigos e relatórios

Como citado anteriormente, a fim de obter um melhor entendimento sobre o processo de produção de biodiesel a partir de borra de café foi necessário compreender a produção de biodiesel a partir de matérias-primas oleaginosas, incluindo a borra e a

produção de borra na indústria de café solúvel. Para tal, uma busca foi realizada para a obtenção de artigos, *reviews* e relatórios oficiais.

Para os artigos, a busca foi realizada na plataforma *Science Direct* (Elsevier), uma base de dados multidisciplinar e de grande cobertura, sendo a plataforma mais importante da Elsevier de literatura acadêmica com revisão por pares (ELSEVIER, 2021).

Na primeira etapa, a busca foi feita utilizando o termo “*spent coffee grounds*” (“borra de café”) nos campos: título, resumo ou palavra-chave. Como resposta, foram encontrados 1.096 resultados (consulta realizada em 05/03/2021). Com o objetivo de direcionar a pesquisa reduzindo o número de resultados, outra busca foi realizada, mas restringindo que o termo “*spent coffee grounds*” estivesse presente apenas no campo título, obtendo-se 393 resultados. Com o intuito de limitar ainda mais a busca, realizou-se uma nova pesquisa utilizando o termo “*biodiesel*” junto com o termo anterior, obtendo-se 19 resultados organizados por ordem de relevância.

Após a leitura do título de todos os 19 resultados obtidos, 6 artigos foram selecionados (tabela 08) para uma análise mais detalhada. Por fim, após estudo, optou-se por utilizar apenas o artigo “*Technoeconomic and environmental assessment of a process for biodiesel production from spent coffee grounds (SCGs)*” do autor I. K. Kookos como base, pois esse apresentava parâmetros e escala que melhor se adequavam à proposta do presente trabalho. Ressalta-se que não foram encontrados artigos brasileiros referentes à análise de viabilidade técnico-econômica para a produção de biodiesel a partir da borra de café.

Além da busca de artigos, foi necessária uma pesquisa mercadológica em termos de preço, volume de produção, exportações e importações, entre outros. Para isso, foram utilizados relatórios oficiais de empresas e organizações relacionadas ao biodiesel ou ao café. A partir dessa busca, foram obtidos os documentos utilizados de suporte para confecção deste trabalho como: relatórios disponibilizados pela Agência Nacional do Petróleo (ANP) referentes ao biodiesel, como os Boletins Mensais do Biodiesel, Mapas Dinâmicos dos Produtores de Biodiesel, Dados de Entregas e de Aquisições de Biodiesel e Resumo dos Leilões com Entregas em 2021. Para o café, foram utilizados os relatórios do International Coffee Organization (ICO) e da Associação Brasileira de Café Solúvel (ABICS), como o Coffee Market Report (ICO), ICO Indicator Prices (ICO), Relatório do Café Solúvel no Brasil (ABICS) e Development Strategy for Coffee (ICO).

Tabela 08: Dados dos artigos selecionados para análise completa.

| Autor | Tipo de Artigo | Ano | País |
|--|-----------------------|------------|---------------------------|
| Yamuna Thoppil Sharif H. Zein | Research | 2021 | Inglaterra |
| Abd El-Fatah Abomohraad Xuying Zheng Qingyuan Wang Jin Huang Reham Ebaid | Research | 2020 | China |
| I.K. Kookos | Research | 2018 | Grécia |
| Eilhann E. Kwon Haakrho Yi Young Jae Jeon | Research | 2013 | Coréia |
| Yang Liu Qingshi Tu GerhardKnothe Mingming Lu | Research | 2017 | Estados Unidos |
| Mohammed Kamila Khalid Mustafa Ramadan Omar I. Awad Thamir K. Ibrahim Abrar Inayat Xiao Ma | Research | 2019 | Emirados Árabes Unidos |

Fonte: Elaboração própria.

III.2. Estimativa de Investimento

O investimento fixo para o desenvolvimento de uma planta é o custo total de projeto, construção, instalação e mudanças necessárias para preparar a unidade produtiva. (TOWLER E SINNOTT, 2013).

Para a determinação do investimento fixo, utilizou-se o método de Peter e Timmerhaus, que estima o investimento fixo a partir do custo total dos equipamentos principais, conforme tabela 09, disposta a seguir.

Tabela 09: Estimativa do investimento fixo a partir do custo dos equipamentos principais

| | |
|-----------------------------------|--------------|
| Custo dos equipamentos | E |
| Instalação | 39% E |
| Instrumentação | 28% E |
| Encanamento | 31% E |
| Instalação Elétrica | 10% E |
| Construção civil | 22% E |
| Melhorias no terreno | 10% E |
| Serviços | 55% E |
| Custo direto total | D |
| Engenharia e supervisão | 32% E |
| Despesas de construção | 34% E |
| Custos diretos e indiretos | D + I |
| Taxas do contratante | 5% (D+I) |
| Contingência | 10% (D+I) |
| Investimento fixo | IF |

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de Peter e Timmerhaus (1991)

Após a utilização do método de Peter e Timmerhaus, se faz necessária a atualização do valor no tempo e localização. Para a atualização no tempo, utilizou-se o Chemical Engineering Plant Cost Index (CEPCI) do ano base e do ano a ser determinado. Já para a atualização na localização, utilizou-se o fator de localização a partir de Towler e Sinnott (2013), um fator multiplicativo que retifica os custos, já que diversos elementos podem alterar os custos dependendo da localização, como infraestrutura, mão de obra, frete, transporte, cotação da moeda local, taxas de importação e exportação, entre outros (figura 10). Além disso, também se utilizou o câmbio do ano da realização do projeto no artigo base, já que os custos de equipamentos foram calculados em dólar.

De acordo com Towler e Sinnott (2013), o Investimento Fixo pode ser segmentado em quatro subdivisões: ISBL (*Inside Battery Limits*), OSBL (*Outside Battery Limits*), Custos de Engenharia e Encargos de Contingência, sendo:

- ISBL – *Inside Battery Limits*: É o custo de aquisição e instalação dos equipamentos, ou seja, o custo da planta em si. Engloba os equipamentos principais do processo, como vasos, reatores, colunas, trocadores de calor, bombas, compressores etc. Além das instalações civis e supervisão.
- OSBL – *Outside Battery Limits*: Engloba os custos adicionais que devem ser inclusos à infraestrutura da planta, como instalações elétricas, geradores, cantinas, laboratórios e serviços de emergência, por exemplo.

- Custos de Engenharia: Os custos de engenharia se referem a custos de detalhamentos que devem ser realizados no *design* da planta, como sistemas de controle e supervisão das construções, que muitas vezes são feitos por um corpo de engenheiros contratados para tal.
- Encargos de Contingência: Os encargos de contingência são custos extras que devem ser incorporados ao investimento para o caso de alguma falha em sua estimativa, como alterações nos custos dos equipamentos, flutuações no câmbio, alterações no escopo do projeto, entre outros.

Figura 10: Fatores de localização para diferentes países

| Country | Region | Location factor |
|----------------|---------------|-----------------|
| United Kingdom | | 1.02 |
| France | | 1.13 |
| Germany | | 1.11 |
| Italy | | 1.14 |
| Netherlands | | 1.19 |
| Russia | | 1.53 |
| India | | 1.02 |
| Middle East | | 1.07 |
| China | imported | 1.12 |
| | indigenous | 0.61 |
| Japan | | 1.26 |
| SE Asia | | 1.12 |
| Australia | | 1.21 |
| United States | Gulf coast | 1.00 |
| | East coast | 1.04 |
| | West Coast | 1.07 |
| | Midwest | 1.02 |
| Canada | Ontario | 1.00 |
| | Fort McMurray | 1.60 |
| Mexico | | 1.03 |
| Brazil | | 1.14 |

Fonte: Towler e Sinnott, 2013.

No presente estudo, ainda que o Investimento Fixo não esteja segmentado nas divisões supracitadas, se faz necessária a determinação do ISBL a partir do Investimento Fixo. Isso porque os custos de manutenção e os custos com seguros serão determinados em função do ISBL. A tabela 10 apresenta as relações propostas por Towler e Sinnott (2013) para cálculos dos parâmetros necessários para o estudo.

Tabela 10: Componentes do Investimento Fixo

| Parâmetros | Relações |
|--------------------------|--------------------------|
| Investimento Fixo | $IF = I1 + I2 + I3 + I4$ |
| ISBL | $I1$ |
| OSBL | $I2 = 0,4 * I1$ |
| Custos de engenharia | $I3 = 0,2 * (I1 + I2)$ |
| Encargos de contingência | $I4 = 0,1 * (I1 + I2)$ |
| Capital de Giro | $CG = 0,05 * IF$ |
| Investimento Total | $IT = IF + CG$ |

Fonte: Elaboração própria a partir de Towler e Sinnott (2013)

Sendo assim, a partir das relações da tabela 10, tem-se que:

$$IF = I1 + I2 + I3 + I4 \quad (1)$$

Substituindo I2, I3 e I4 em função de I1 a partir das relações:

$$IF = 1,82 * I1 \quad (2)$$

Assim:

$$ISBL = \frac{IF}{1,82} \quad (3)$$

III.3. Estimativa de custos de produção

Os custos de produção de uma planta envolvem os custos variáveis, que variam com a taxa de produção; custos fixos, que não são afetados diretamente pela quantidade produzida pela planta; e despesas gerais, que estão associadas a manutenções e atividades administrativas que não estão diretamente relacionadas à produção. (Turton, 2012).

III.3.1. Estimativa de custos fixos de produção

Os custos fixos são custos relacionados à produção, mas que não variam com sua taxa. São eles: mão de obra e supervisão, manutenção, taxas e seguros, aluguel do terreno - no caso de não ser comprado -, encargos ambientais, custos de marketing e vendas. (Towler e Sinnott, 2013). Nesse estudo, como a proposta do trabalho é de uma

planta de biodiesel localizada dentro de uma planta já existente de café solúvel, reduzindo custos logísticos, não foram considerados custos de aluguel de terreno.

III.3.1.1. Estimativa de custos de mão-de-obra

A grande maioria das plantas industriais operam em regimes de turnos, nos quais os operadores de produção se revezam em escalas dentro de suas jornadas de trabalho de 8 horas diárias. Um único operador trabalha, em média, 49 semanas por ano, sendo 3 semanas de férias, operação de 8 horas diárias e 5 dias por semana, o que resulta em 245 turnos de operação por ano (49 semanas/ano multiplicados por 5 turnos/semana). Uma planta de produção opera 24 horas por dia, o que requer 1095 turnos de operação por ano (365 dias/ano multiplicados por 3 turnos/dia). O número de operadores necessários para este número de turnos é: [1095 turnos/ano divididos por 245 turnos/operador/ano], ou 4,5 operadores contratados para cada operador que estará de fato operando em uma área da produção. Essa contagem não inclui empregados de suporte ou supervisão, que usualmente trabalham em horário comercial. Considerando que a operação será realizada por um corpo de engenheiros químicos, se faz necessária a determinação de um salário médio. De acordo com o Sindicato dos Engenheiros do Estado de São Paulo, o piso salarial de um engenheiro químico no ano de 2021 é de R\$ 9.900,00 por mês (SEESP, 2021). Resultando em R\$ 118.800,00 por ano por engenheiro, sem contabilizar benefícios.

Para estimar o número de operadores por unidade da planta, tem-se a relação proposta por Turton, 2012:

$$NOL = (6,29 + 31,7 P^2 + 0,23 Nnp)^{0,5} \quad (4)$$

Sendo:

NOL: número de operadores por unidade da planta

P: número de processos envolvendo sólidos particulados (ex.: transporte e distribuição, controle de tamanho de partículas, remoção de materiais particulados)

Nnp: número de etapas de processos de materiais não particulados, como compressão, aquecimento, reação, mistura etc.

$$Nnp = \Sigma \text{Equipamentos principais}$$

III.3.1.2. Estimativa de custos de manutenção

Os custos de manutenção englobam mão de obra, materiais e supervisão necessários para manter a integridade da planta e de seus equipamentos ao longo de todo o tempo de utilização. Estes custos contemplam tanto os serviços preventivos e corretivos quanto o valor desembolsado para a aquisição de novos equipamentos.

De acordo com Tower e Sinnott (2013), o custo de manutenção é estimado entre 3% e 5% do ISBL (custo de aquisição e instalação dos equipamentos de processo da unidade). Para a planta em questão, utilizou-se 3% do ISBL pois, apesar de conter sólidos particulados, se trata de uma planta de baixa escala onde apenas os equipamentos iniciais têm contato direto com os sólidos (borra de café).

III.3.1.3. Estimativas de custos com seguro

Os custos com seguro e taxas relacionadas à propriedade da planta dependem essencialmente da localização e da severidade associada ao processo produtivo. (Turton, 2012). Os custos com seguro têm relação com o clima e probabilidade de acidentes que podem danificar os equipamentos e/ou insumos.

A produção de biodiesel pode consistir em um processo perigoso devido a fatores como o uso de substâncias tóxicas e altas condições de temperatura e pressão que as reações ocorrem. O risco mais grave dessa cadeia, a explosão, apesar de possuir baixa probabilidade de ocorrência, pode gerar prejuízos de grandes proporções. (XXXII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2013)

O ponto de fulgor se trata da temperatura mínima necessária para que um combustível desprenda vapores ou gases inflamáveis (BRISTOT, 2019). Para o biodiesel puro, seu valor é de aproximadamente 170°C, todavia, esses podem ser afetados pela concentração de álcool adicionado e por outros parâmetros do processo. Por lei, o biocombustível deve apresentar, no mínimo, ponto de fulgor a 130°C. (LOBO; FERREIRA; DA CRUZ, 2009). Dessa forma, segundo a NR 20, o biodiesel não é inflamável por possuir ponto de fulgor superior a 65,6°C. (MINISTÉRIO DO TRABALHO, 1978). Entretanto, o metanol utilizado é considerado muito inflamável, pois possui ponto de fulgor igual a 16,5°C. (BRISTOT, 2019)

Como estimativa inicial, é proposto por Towler e Sinnott (2013) a proporção de 1 a 2% do ISBL para os custos com seguros. Tendo em vista o risco exposto, considerou-se o percentual de 2% para elaboração do estudo.

III.3.1.4. Estimativa de despesas operacionais

As despesas operacionais são custos associados à manutenção e atividades administrativas que não possuem relação direta com a produção. São eles: custos administrativos; custos de distribuição e vendas, como *marketing*; e custos de pesquisa e desenvolvimento, que envolvem atividades de desenvolvimento de produtos, processos e novas tecnologias. (Turton, 2012).

No presente trabalho, foram consideradas como despesas operacionais as despesas com distribuição e vendas e com pesquisa e desenvolvimento. Como a intenção da produção de biodiesel é o consumo pela própria empresa, não há custos de distribuição e vendas. Quanto ao custo de pesquisa e desenvolvimento, por se tratar de uma commodity e de um processo já consolidado, os custos de P&D (pesquisa e desenvolvimento) foram considerados como 1% do custo de produção. (OROSKI, 2021).

III.3.2. Custos de variáveis de produção

Os custos variáveis de produção são aqueles que variam juntamente à taxa de produção da planta. Ou seja, quando a demanda é reduzida, é esperada uma redução nos mesmos. Neste âmbito, os custos variáveis de produção são os custos de matéria prima, utilidades e consumíveis. (Turton, 2012).

III.3.2.1. Custos de matéria-prima e consumíveis

Os custos das matérias-primas estão diretamente relacionados aos preços unitários de cada insumo, juntamente ao custo de logística envolvido. Sendo assim, a partir do PFD (*Process Flow Diagram*) do processo, é possível avaliar as vazões de cada insumo e, com os preços unitários, determinar os custos. Para o custo de logística, se faz necessária a determinação da localização da origem da matéria prima e da planta de destino para avaliar os custos de transporte. Em relação aos custos com consumíveis, englobam principalmente os gastos com produtos químicos, solventes, catalisadores, entre outros.

Como o presente trabalho tem objetivo de propor a utilização de um insumo que atualmente é tratado como resíduo, é razoável considerar-se o preço unitário da borra de café como zero, sendo o seu custo total apenas os custos logísticos e de transporte, ou seja, despesas com manutenção e depreciação da carreta. No entanto, como a planta

de biodiesel irá se localizar no interior da planta produtora de café solúvel, não haverá custos de transporte e logística da borra de café.

Outra possibilidade, tendo em vista a viabilidade de aplicação da borra em outras finalidades, é descontar o custo de oportunidade, considerando o retorno proveniente de alternativas possíveis para aplicação do resíduo.

Para as matérias primas (exceto a borra de café) e consumíveis envolvidos no processo, foi utilizado o preço unitário de importação praticado atualmente no Brasil e a quantidade de cada insumo consumido no processo. Os valores foram coletados no portal COMEX STAT (2021) - plataforma de dados e estatísticas quanto comércio exterior do Brasil.

III.3.2.2. Custos de utilidades

Os custos de utilidades envolvem o consumo de todas as correntes de serviços auxiliares requeridas pelo processo, como combustíveis, energia elétrica, vapor, água de resfriamento, água de processo, gases inertes, sistemas de refrigeração, entre outros. (Towler e Sinnott, 2013).

As utilidades podem ser supridas de diversas maneiras: a partir da compra em empresas públicas ou privadas, em que o custo é diretamente relacionado ao consumo; supridas por uma empresa externa abrangente que supre as necessidades de diversas empresas ao redor. Nesse caso, os custos serão refletidos nas taxas tributadas no custo fixo ou custo operacional; por último, as utilidades podem ser supridas pela própria empresa em suas unidades de processamento. Nesse cenário, o custo de capital para a compra e instalação dos equipamentos se torna parte do custo fixo.

Segundo Towler e Sinnott (2013), os custos com utilidades chegam a, no máximo, 15% do custo total de produção, sendo 7% um valor razoável para estimativa inicial. Além disso, para fins de cálculos, Towler e Sinnott (2013) consideram, também, o custo de consumíveis em função do custo de produção em proporção de 3%. Como ambos os custos estão em função do custo de produção, que ainda não foi determinado, se faz necessária à sua determinação.

Sendo:

CP: custo total de produção

CVP: custo variável de produção

CFP: custo fixo de produção

CMP: custo de matérias primas

CUT: custo de utilidades

CCO: custo de consumíveis

Tem-se:

$$CP = CVP + CFP \quad (5)$$

$$CVP = CMP + CUT + CCO \quad (6)$$

$$CUT = 0,07 * CP \quad (7)$$

$$CCO = 0,03 * CP \quad (8)$$

Substituindo (7) e (8) em (6) e em seguida em (5), tem-se (9):

$$0,9 * CP = CMP + CFP \quad (9)$$

III.3.3. Imposto de Renda

As alíquotas do imposto de renda de pessoa jurídica (IRPJ) em vigor desde o ano-calendário de 2016 são as seguintes: 15% sobre o lucro real, presumido ou arbitrado apurado pelas pessoas jurídicas em geral, seja comercial ou civil o seu objeto; 10% sobre a parcela do lucro que exceder R\$ 20.000,00 multiplicado pelo número de meses do respectivo período de apuração; 9% de contribuição social (CSLL) incidente sobre o lucro líquido ajustado. (Receita Federal, 2021).

Desta forma, para o presente trabalho será considerada alíquota de 34% sobre os lucros apurados após a depreciação (EBIT) no DRE.

III.3.4. Depreciação

A depreciação é um recurso contábil que tem o objetivo de atribuir o custo financeiro de um ativo tangível durante a sua vida útil, sendo uma dedução fiscal usada pelos governos como incentivo ao investimento. É uma despesa não desembolsável que reduz a receita para efeitos fiscais.

Para o presente trabalho, utilizou-se a metodologia de depreciação linear, visto que o valor residual para fábricas de produtos químicos é comumente considerado zero,

já que a operação se mantém até o fim da vida útil depreciável, para esse caso, 10 anos. Sendo assim, a depreciação linear se dá por:

$$D = I/n \quad (10)$$

Sendo:

I: investimento inicial fixo

n: período de depreciação após a partida da planta

III.4. Elaboração das demonstrações contábeis

Para o projeto de construção de uma planta de produção de biodiesel a partir da borra de café, necessita-se projetar sua construção considerando a inicialização da produção e o horizonte de operação em anos. O procedimento descrito por I.K.Kookos (2018) considera o tempo de construção da planta de 3 anos, e o cronograma de inicialização proposto por Towler e Sinnott (2013) considera no ano um a engenharia, o detalhamento do projeto, os elementos de projeto e fabricação mais longos, englobando 30% do investimento fixo inicial. No ano dois, a aquisição e construção, que correspondem a 60% do investimento fixo inicial. E, por fim, no ano três, o equivalente aos 10% restantes para a finalização da construção.

Além disso, no presente trabalho, a taxa de ocupação da planta será de 100% com o objetivo de avaliar a viabilidade econômica no cenário ideal, e a partir disso, caso o projeto seja rentável no melhor cenário, considerar taxas de ocupação reais.

Quanto ao horizonte de planejamento, a proposta de I. K. Kookos (2018) é de 30 anos, sendo este o adotado para o projeto proposto. Considerando-se 3 anos de construção, o horizonte total de construção e operação é de 33 anos.

Com as premissas adotadas anteriormente e metodologia dos custos previamente estabelecida, é possível construir o Demonstrativo de Resultado de Exercício (DRE) e estimar os Fluxos de Caixa para avaliação da viabilidade econômica da planta em questão.

III.5. Estimativa de Receitas

As receitas da planta de produção consistem no valor arrecadado a partir da venda dos produtos e subprodutos gerados no processo produtivo, que no presente

estudo são o biodiesel e o glicerol. Assim, a estimativa de receita provém da multiplicação da quantidade de produto/subproduto gerada e seus respectivos preços unitários de venda, coletados no COMEX STAT em Março de 2021.

III.6. Indicadores de viabilidade econômica

Para a realização da avaliação de viabilidade econômica, são necessários os indicadores econômicos que fornecem resultados qualitativos e quantitativos a partir do fluxo de caixa e do DRE. Esses permitem a triagem preliminar de um projeto partindo de estimativas iniciais e das hipóteses adotadas.

O *payback*, indicador mais simples dentre os utilizados no presente trabalho, indica o prazo de retorno de investimento, ou seja, fornece o tempo necessário para a recuperação do valor investido. Sendo assim, quanto mais curto o tempo do *payback*, mais rentável é o projeto. (Turton, 2012). O seu modelo matemático pode ser observado na relação a seguir:

$$\sum_{t=0}^{payback} \frac{FCt}{(1+k)^t} = 0 \quad (11)$$

Sendo:

FCt: Fluxo de caixa para o período de planejamento

k: taxa mínima de juros

t: período de retorno, ou *payback*

Já o Valor Presente Líquido (VPL) representa a soma dos valores presentes dos fluxos de caixa futuros, utilizando uma determinada taxa de desconto, a Taxa Mínima de Atratividade (TMA). Sendo assim, o VPL determina o valor do dinheiro no tempo, além da variação anual nas despesas e receitas do fluxo de caixa. (Towler e Sinnott, 2013).

$$VPL = \sum_{n=1}^{n=t} \frac{FCn}{(1+i)^n} \quad (12)$$

Sendo:

FCn: Fluxo de caixa no ano n

t: Tempo de projeto em anos

i: Taxa de desconto (TMA)

A taxa mínima de atratividade (TMA) consiste na taxa mínima que um investidor está disposto a receber a partir de uma aplicação financeira, e está relacionada não só ao investimento em si, mas também ao custo de oportunidade e custo de capital. O custo de capital equivale ao custo de uma empresa para captar recursos financeiros que irão circular no ambiente interno, ou seja, capital próprio da empresa, como a parte dos acionistas ou recursos dos gestores, quanto capital de terceiros, referente a empréstimos e financiamentos. Já o custo de oportunidade é o custo de uma oportunidade renunciada. Sendo assim, a taxa SELIC é um bom indexador para a determinação do TMA, considerando um cenário de baixo risco.

O presente trabalho utilizou o mesmo percentual de TMA do artigo base principal, no valor de 10% a.a. Pode-se afirmar que é razoável a utilização desse valor, pois o Tesouro Prefixado – título público que possui uma rentabilidade anual fixada no momento do investimento – que é um dos principais meios de rentabilidade de baixo risco no Brasil, possui uma taxa atual de 4,69% a.a. (EASYNVEST, 2021), considerando o mesmo valor investido no projeto. Esse ganho justifica os riscos inerentes ao projeto.

Já a taxa de retorno sobre o investimento (TIR) representa a medida de taxa de juros máxima que o projeto poderia pagar e ainda ter equilíbrio financeiro ao final de sua vida útil (Towler e Sinnott, 2013).

Sendo assim, para que o investimento estudado seja vantajoso economicamente, a taxa de retorno sobre o investimento (TIR) deve ser maior ou igual à TMA.

Como o investimento, custos e indicadores são calculados a partir de premissas hipotéticas e aproximadas, após a determinação dos resultados é realizada a análise de sensibilidade, que consiste na variação de um dos parâmetros, mantendo os restantes fixos, para avaliar o impacto individual de uma das premissas sobre o fluxo de caixa, DRE e resultado final da análise de viabilidade econômica.

IV. Resultados e Discussão

Neste capítulo, os resultados obtidos após a elaboração e análise do estudo de viabilidade técnico-econômica serão apresentados e discutidos. Além disso, também haverá exposição e discussão de alguns cenários de sensibilidade envolvendo a variação dos seguintes parâmetros: preço do biodiesel, custo de utilidades, custo de matéria-prima e investimento.

IV.1 Cenários para a avaliação econômica

Conforme citado anteriormente, estima-se que no Brasil sejam produzidos anualmente em torno de 384 mil toneladas de borra a partir da indústria de café solúvel, e mais 1 milhão de toneladas de borra provenientes do consumo de café moído e torrado, totalizando aproximadamente 1,4 milhão de toneladas de borra de café por ano.

O mercado de café solúvel brasileiro começou a se popularizar há pouco tempo em relação aos demais produtos originados do grão. Por essa razão, os órgãos responsáveis ainda não fornecem relatórios de acesso público que contenham os parâmetros que seriam de suma relevância para confecção desse estudo, como, por exemplo, a quantidade de café solúvel produzido pelas usinas localizadas no país.

Como mencionado anteriormente, a maior parte da produção de borra está relacionada ao consumo de café fresco (moído e torrado) em domicílios e estabelecimentos comerciais, como cafeterias e lanchonetes. Dessa forma, se essas fontes fossem consideradas no presente estudo, seria necessário um estudo logístico aprofundado em relação a coleta e ao transporte do insumo.

Assim, a fim de evitar elaboração de um estudo com valores imprecisos e custos logísticos com alta dificuldade de determinação, optou-se por instalar a planta para produzir biodiesel dentro de uma usina de produção de café solúvel já existente que tivesse divulgada sua produção de café solúvel. Sendo assim, escolheu-se a planta da Nescafé, localizada no estado de São Paulo, que produz, em média, 22.000 toneladas de café solúvel por ano. (EMBRAPA, 2020)

De acordo com os coeficientes técnicos apresentados na tabela 06, tem-se que a planta escolhida teria produção de borra suficiente para produzir 1.065 toneladas de biodiesel no ano. Por essa razão, a produção anual escolhida para o estudo foi de 1.000 toneladas de biodiesel por ano, sendo a mesma escala de produção utilizada no artigo base deste trabalho, escrito por I. K. Kookos (2018).

IV.2 Escolha da localização

A decisão sobre a localização de uma empresa deve considerar, sempre que aplicável, as múltiplas instalações da empresa, produtos, fontes de insumos, clientes, além de aspectos econômicos, sociais e políticos, estabelecendo uma equação de alta complexidade e importância. A localização ideal é aquela que gera maiores benefícios à empresa, como a redução de custos envolvidos na operação e negócio e a maximização do nível de serviços oferecidos a seus clientes. (Alves, 2013)

No caso do presente trabalho, para decidir a localização da planta a ser instalada é necessário avaliar a produção de café solúvel de cada uma das seis principais indústrias localizadas no Brasil. Contudo, como supracitado, pela falta de informação confiável acerca desses valores, considerou-se prudente a escolha da principal usina produtora de café solúvel do Brasil.

Portanto, será considerada a planta da Nescafé, localizada em Araras, no estado de São Paulo, que produz cerca de 22.000 toneladas/ano de café solúvel ou 2,58 toneladas/h (EMBRAPA, 2020). Se 2,6 kg de café verde são necessários para produzir 1 kg de café solúvel (ABICS, 2019), conclui-se que a planta consome 6,71 toneladas de café verde por hora. Além disso, assumindo-se 20% de perda na torrefação e 40% de eficiência na extração, a cada 1 tonelada de café verde, são produzidos 480 kg de borra seca (ADAMS & DOUGAN, 1987).

Logo a planta da Nescafé produz cerca de 3,22 ton/h de borra. Essa produção é superior em 6,47% ao valor requerido pela planta proposta, que é de 3,02 ton/h de borra.

IV.3 Investimento

Com base nos valores de compra de equipamentos do processo definidos no trabalho de I.K.Kookos, 2018 e aproximação de Peter e Timmerhaus, pode-se calcular o investimento fixo.

O trabalho de I.K.Kookos (2018) estima o custo de equipamentos de toda a planta: pré-tratamento da borra de café, extração do óleo e recuperação e purificação do biodiesel. O custo de equipamentos estimado no trabalho foi de M\$ 3.167,00 no ano de 2016. Assim, a partir deste valor, estimou-se o custo dos equipamentos em uma planta no Brasil, no ano atual.

O fator de correção foi calculado como demonstrado abaixo, a partir do índice de correção temporal de plantas de engenharia química (CEPCI). O índice do ano atual

utilizado foi o de 2019, último índice público do Chemical Engineering Online, e o índice do ano base utilizado foi 2016, ano base do artigo utilizado.

$$IC = \frac{CEPCI (2019)}{CEPCI (2016)} = \frac{607,5}{541,7} = 1,121$$

Além disso, como a planta instalada se localiza no território brasileiro, utilizou-se o fator de localização (FL) proposto por Towler e Sinnott, 2013.

$$FL = 1,14$$

Os valores dos componentes calculados encontram-se consolidados na tabela 11, que utiliza a aproximação de Peter e Timmerhaus para determinação do investimento fixo a partir do custo de aquisição dos equipamentos.

Tabela 11: Determinação do investimento total a partir do custo de aquisição dos equipamentos

| Fator | Relação | Valor | Unidade | Fonte |
|-----------------------------------|--------------------|-------------------|---------|-----------------------------------|
| Custo dos equipamentos | A | 3.167,00 | \$ | I.K.Kookos, 2018 |
| Fator de Localização | B | 1,14 | - | Towler e Sinnott, 2013 |
| Cotação Dólar (2016) | C | 3,25 | \$ | Infomoney, 2021 |
| IC (CEPCI) | D | 1,121 | - | Chemical Engineering Online, 2021 |
| Custo dos equipamentos | E = A*B*C*D | 13.159.025 | R\$ | Peter e Timmerhaus, 1991 |
| Instalação | 39% E | 5.132.020 | R\$ | Peter e Timmerhaus, 1991 |
| Instrumentação | 28% E | 3.684.527 | R\$ | Peter e Timmerhaus, 1991 |
| Encanamento | 31% E | 4.079.298 | R\$ | Peter e Timmerhaus, 1991 |
| Instalação Elétrica | 10% E | 1.315.903 | R\$ | Peter e Timmerhaus, 1991 |
| Construção civil | 22% E | 2.894.986 | R\$ | Peter e Timmerhaus, 1991 |
| Melhorias no terreno | 10% E | 1.315.903 | R\$ | Peter e Timmerhaus, 1991 |
| Serviços | 55% E | 7.237.464 | R\$ | Peter e Timmerhaus, 1991 |
| Custo direto total | D | 38.819.125 | R\$ | Peter e Timmerhaus, 1991 |
| Engenharia e supervisão | 32% E | 4.210.888 | R\$ | Peter e Timmerhaus, 1991 |
| Despesas de construção | 34% E | 4.474.069 | R\$ | Peter e Timmerhaus, 1991 |
| Custos diretos e indiretos | D + I | 47.504.081 | R\$ | Peter e Timmerhaus, 1991 |
| Taxas do contratante | 5% (D+I) | 2.375.204 | R\$ | Peter e Timmerhaus, 1991 |
| Contingência | 10% (D+I) | 4.750.408 | R\$ | Peter e Timmerhaus, 1991 |
| Investimento fixo | IF | 54.629.694 | R\$ | Peter e Timmerhaus, 1991 |
| Capital de Giro | CG = 5% IF | 2.731.485 | R\$ | Peter e Timmerhaus, 1991 |
| Investimento total | IF + CG | 57.361.178 | R\$ | Peter e Timmerhaus, 1991 |

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de Towler e Sinnott (2013); Infomoney (2021); Chemical Engineering Online (2021); Peter e Timmerhaus (1991).

IV.4 Custos de produção

Os custos de produção são divididos em custos fixos de produção e custos variáveis de produção. Abaixo, segue o demonstrativo dos cálculos para a estimativa de ambos e para a obtenção do custo total de produção.

IV.4.1 Custos fixos de produção

IV.4.1.1 Custos de mão de obra

Conforme exposto no capítulo III, o custo de mão de obra tem relação com o número de operadores necessários por unidade de produção, número de operadores contratados por operador trabalhando e salário médio dos operadores.

A partir da avaliação dos turnos de trabalho já detalhada anteriormente, calculou-se que são necessários 4,5 operadores contratados por operador trabalhando em cada unidade de produção. Além disso, com o salário mensal médio dos trabalhadores, determinou-se o salário anual por operador, sem contabilizar benefícios, de R\$ 118.800,00 por ano (SEESP, 2021). Em seguida, utilizando a relação proposta por Turton, 2012:

$$NOL = (6,29 + 31,7 P^2 + 0,23 Nnp)^{0,5}$$

Sendo:

NOL: número de operadores por unidade da planta

P: número de processos envolvendo sólidos particulados (ex: transporte e distribuição, controle de tamanho de partículas, remoção de materiais particulados)

Nnp: número de etapas de processos de materiais não particulados, como compressão, aquecimento, reação, mistura etc.

$$Nnp = \Sigma \text{Equipamentos principais}$$

Os equipamentos considerados são apenas os principais: compressores, colunas, reatores, aquecedores, trocadores de calor, centrífugas etc. Não são consideradas bombas e válvulas. Para a planta de produção de biodiesel do presente trabalho, tem-se 30 equipamentos principais: 2 compressores, 3 aquecedores, 1 leito fluidizado, 3 misturadores, 3 centrífugas, 3 torres de destilação, 6 trocadores de calor, 2 reatores de mistura, 2 decantadores, 4 tanques de armazenamento e 1 flash.

Como a planta, apesar de conter processamento de sólidos (borra de café), não possui etapas de controle de tamanho de partículas ou remoção de materiais particulados, tem-se $P = 0$.

Com Nnp igual a 30, temos NOL igual a 4. Sendo 4,5 o número de operadores contratados necessários por operador em cada unidade e com o salário anual por operador, tem-se o custo total de mão de obra.

O desenvolvimento descrito acima em relação ao custo anual de mão de obra está disposto na tabela 12.

Tabela 12: Determinação do custo anual de mão de obra

| Fator | Valor | Legenda |
|---------------------------------------|---------------------|--|
| Salário anual por operador (R\$) | 118.800,00 | - |
| NNP | 30 | Nº de etapas envolvendo materiais não particulados |
| P | - | Nº de etapas envolvendo sólidos particulados |
| NOL | 4 | Nº de operadores por unidade |
| Nop/op | 4,50 | Nº de operadores contratados por operador |
| Custo de mão de obra (R\$/ano) | 1.941.562,40 | - |

Fonte: Turton (2012); Vagas.com (2021)

IV.4.1.2 Custos de manutenção

Conforme já exposto, os custos de manutenção equivalem a 4% do custo de aquisição e instalação dos equipamentos principais (ISBL), que por sua vez pode ser calculado a partir do Investimento Fixo utilizando a relação encontrada com base nas definições de Towler e Sinnott (2013):

$$ISBL = \frac{IF}{1,82}$$

Sendo:

$$IF = R\$ 54.629.694,00$$

$$ISBL = R\$ 30.016.315,00$$

$$\text{Custos de manutenção: } 0,03 * ISBL = \mathbf{R\$ 900.489,00 / ano}$$

IV.4.1.3 Custos com seguro

Os custos com seguro também estão relacionados ao custo de aquisição dos equipamentos principais (ISBL), equivalente a 2% destes, conforme descrito no capítulo de metodologia.

$$\text{ISBL} = \text{R\$ } 30.016.315,00$$

$$\text{Custos com seguro: } 0,02 * \text{ISBL} = \text{R\$ } 600.326,00 / \text{ano}$$

IV.4.1.4 Despesas operacionais

Partindo da premissa estabelecida no capítulo de metodologia, as despesas operacionais do presente projeto englobam apenas as despesas com pesquisas e desenvolvimento (P&D), que equivalem a 1% do custo de produção.

Como o custo de P&D é função do custo de produção, que por sua vez depende das despesas operacionais, onde é alocado o P&D, se faz necessária a determinação da seguinte relação:

$$CP = CVP + CFP \quad (13)$$

$$CP = CMP + CUT + CCO \quad (14)$$

$$CFP = D + CMO + CMA + CS \quad (15)$$

Sendo:

CP: Custo de produção

CVP: Custos variáveis de produção

CFP: Custos fixos de produção

CMP: Custos de matéria prima

CUT: Custos de utilidades

CCO: Custos de consumíveis

D: Despesas operacionais

CMO: Custos de mão de obra

CMA: Custos de manutenção

CS: Custos com seguro

A partir das relações já propostas anteriormente, tem-se:

$$CUT = 0,07 * CP$$

$$D = P\&D = 0,01 * CP$$

Como os demais custos são calculados por outros métodos que não envolvem o custo de produção, determina-se:

$$CP = \frac{CMP+CCO+CMO+CS+CMA}{0,92} \quad (16)$$

Custos de produção: R\$ 4.064.101,00 / ano

Custos de P&D = 1% * Custos de produção = R\$ 40.641,00 / ano

Com isso, é possível determinar o custo fixo total para o projeto conforme apresentado na tabela 13.

Tabela 13: Valores estimados de custos fixos e seus itens

| Fator | Valor |
|-----------------------------------|---------------------|
| Custo de mão de obra (R\$/ano) | 1.941.562,40 |
| Custo de manutenção (R\$/ano) | 900.489,45 |
| Custo com seguros (R\$/ano) | 600.326,30 |
| Despesas operacionais (R\$/ano) | 40.641,01 |
| Custo fixo total (R\$/ano) | 3.483.019,17 |

Fonte: Elaboração própria

IV.4.2 Custos variáveis de produção

IV.4.2.1 Custos de matéria-prima e consumíveis

As matérias-primas e consumíveis envolvidos no presente processo são: borra de café; metóxido de sódio 25% (catalisador); hexano; metanol e ácido clorídrico 35%. Os demais insumos são utilidades que serão abordadas no tópico seguinte.

Conforme exposto no capítulo III deste trabalho, o custo da borra de café foi considerado como nulo, visto que esse se trata de um resíduo não reaproveitado da indústria de café solúvel, onde a planta para produção de biodiesel será instalada. Os custos das demais matérias-primas e consumíveis se trata de uma média dos custos de

importação referentes a Março de 2021, obtidos através de consultas no COMEX STAT - portal para acesso às estatísticas de comércio exterior no Brasil (COMEX STAT, 2021). Os valores obtidos estão dispostos na tabela 14.

Tabela 14: Custos de importação das matérias-primas e consumíveis

| Insumo | Custo Unitário (R\$/ton) |
|-------------------------------------|---------------------------------|
| Metóxido de sódio 25% (catalisador) | 4.220,08 |
| Hexano | 3.193,88 |
| Ácido clorídrico 35% | 381,30 |
| Metanol | 1.708,54 |

Fonte: Elaboração própria a partir de dados de COMEX - STAT (2021)

Considerando a produção anual de 1.000 toneladas de Biodiesel e os coeficientes técnicos expostos na tabela 15, obtém-se que o custo total de matéria-prima e consumíveis equivale a 296.595 R\$/ano.

Tabela 15: Coeficientes Técnicos

| Insumo | Coefficiente Técnico (ton insumo/ton biodiesel) |
|-------------------------------------|--|
| Metóxido de sódio 25% (catalisador) | 0,0251 |
| Hexano | 0,01 |
| Ácido clorídrico 35% | 0,01145 |
| Metanol | 0,093275 |

Fonte: Elaboração própria

IV.4.2.2 Custos de utilidades

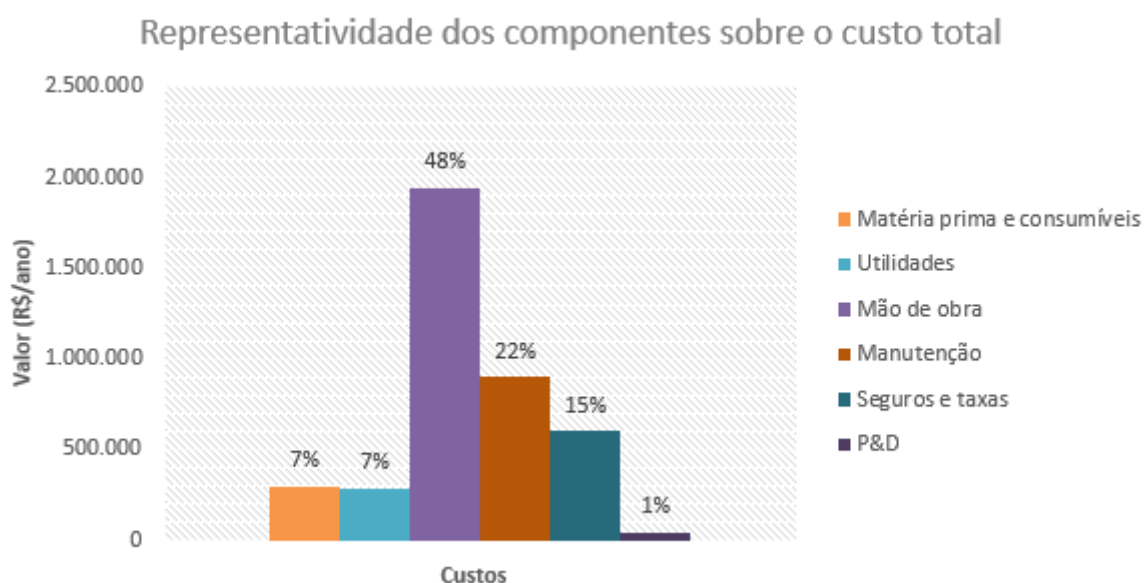
Conforme exposto anteriormente, considerou-se razoável para uma estimativa inicial que o custo de utilidade seja equivalente a 7% do custo total de produção, visto que de acordo com Towler e Sinnott (2013), esses chegam a, no máximo, 15% desse montante.

Dessa forma, para obter o custo de utilidade, calculou-se previamente o custo total de produção, já demonstrado: R\$ 4.064.101/ano.

Por fim, calculou-se 7% do custo total de produção (CP), obtendo um custo de utilidade igual a 284.487 R\$/ano (gráfico 7).

Após a definição de todos os componentes dos custos fixos e variáveis para a obtenção do custo total de produção, é possível avaliar as suas parcelas dentro do montante total. O custo de manutenção é o maior dos custos, seguido do custo de matéria prima e utilidades. No presente projeto, o custo de matérias primas não é o de maior percentual, principalmente por envolver um insumo principal sem custo.

Gráfico 07: Representatividade dos componentes sobre o custo total



Fonte: Elaboração própria

IV.5 Estimativa de receitas

O biodiesel, principal produto do processo, é comercializado exclusivamente por leilões públicos, e os seus preços variam conforme as regiões do país, conforme já mencionado. Sendo assim, para se manter competitivo no mercado, a avaliação do preço de venda do biodiesel deve seguir as tendências dos leilões. Sabe-se que o preço atual está em alta com relação ao ano de 2020, principalmente devido ao preço da soja, matéria prima mais utilizada atualmente.

O preço de venda definido para o biodiesel foi o do leilão nº 001/21, organizado pela ANP, que, para a região Sudeste, chegou a 4.755,67 R\$/m³ (5.243,43 R\$/ton).

Em relação ao subproduto glicerol, o preço definido foi o preço praticado de exportação partindo do Porto de Santos (SP), referente a março de 2021, obtido através de consultas no COMEX STAT - portal para acesso às estatísticas de comércio exterior no Brasil (COMEX STAT, 2021).

De acordo com dados do COMEX STAT, o estado de São Paulo exporta glicerol para 21 países (África do Sul, Argentina, Bélgica, Camarões, Chile, China, Colômbia, Costa do Marfim, Egito, Emirados Árabes Unidos, Gana, Guatemala, Índia, Israel, Nigéria, República Democrática do Congo, Rússia, Senegal, Turquia, Uruguai e Venezuela), e seus preços praticados não flutuaram significativamente no mês de março de 2021. Sendo assim, utilizou-se a média dos preços praticados entre os 21 países, obtendo-se 3.219,69 R\$/ton.

Utilizando-se os preços unitários propostos acima de biodiesel (5.243,43 R\$/ton) e glicerol bruta (3.219,69 R\$/ton) e multiplicando-se pelo volume produzido, é possível obter a estimativa de receitas (tabela 16), considerando que não há formação de estoque.

Tabela 16: Estimativa de receitas

| Produto/Subproduto | Produção (ton/ano) | Preço unitário (R\$/ton) | Estimativa de receita (R\$/ano) |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------------|--|
| Biodiesel | 1.000 | 5.243 | 5.243.431 |
| Glicerol | 103,5 | 3.220 | 333.238 |
| Total | 1.104 | - | 5.576.669 |

Fonte: Elaboração própria

IV.6 Elaboração das demonstrações contábeis

Após todas as estimativas de investimento, custos e receitas, foram elaboradas as demonstrações contábeis para o cenário proposto, considerando um horizonte de planejamento de 30 anos e mais 3 anos de construção, com cronograma de partida detalhado anteriormente.

A receita líquida de vendas, primeira entrada do DRE, é calculada levando-se em consideração a capacidade de produção da planta multiplicada pela taxa de ocupação - definida como 100% no presente projeto - e pelo preço de venda dos produtos. Em seguida, subtraindo-se deste montante os custos fixos e variáveis e as despesas operacionais tem-se o EBITDA (lucro operacional). Descontando-se a depreciação, obtém-se o lucro antes do imposto de renda. O lucro líquido é obtido, portanto, descontando-se todos os custos, despesas e impostos a partir da receita.

A seguir, estão apresentados o Demonstrativo de Fluxo de Caixa (DFC) e Demonstrativo de Resultado em Exercício (DRE) para o cenário de produção de biodiesel de 1.000 ton/ano nas figuras 11 e 12, respectivamente.

Figura 11: Fluxo de Caixa

| Em R\$ | CONSTRUÇÃO | | | | | | | | | | | | | Idem para os anos 14 a 31 | | |
|---------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------------|---------------------|-----------|
| | FLUXO DE CAIXA | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 32 |
| Entradas | - | - | - | 5.576.669 | 5.576.669 | 5.576.669 | 5.576.669 | 5.576.669 | 5.576.669 | 5.576.669 | 5.576.669 | 5.576.669 | 5.576.669 | 5.576.669 | 5.576.669 | 8.308.153 |
| Receitas Operacionais Líquidas | - | - | - | 5.576.669 | 5.576.669 | 5.576.669 | 5.576.669 | 5.576.669 | 5.576.669 | 5.576.669 | 5.576.669 | 5.576.669 | 5.576.669 | 5.576.669 | 5.576.669 | 5.576.669 |
| Preço unit. biodiesel (R\$/ton) | - | - | - | 5.243,43 | 5.243,43 | 5.243,43 | 5.243,43 | 5.243,43 | 5.243,43 | 5.243,43 | 5.243,43 | 5.243,43 | 5.243,43 | 5.243,43 | 5.243,43 | 5.243,43 |
| Preço unit. glicerol (R\$/ton) | - | - | - | 3.219,69 | 3.219,69 | 3.219,69 | 3.219,69 | 3.219,69 | 3.219,69 | 3.219,69 | 3.219,69 | 3.219,69 | 3.219,69 | 3.219,69 | 3.219,69 | 3.219,69 |
| Capital de Giro Recuperado | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 2.731.485 |
| Saídas | 16.388.908 | 32.777.816 | 8.194.454 | 4.064.101 | 4.064.101 | 4.064.101 | 4.064.101 | 4.064.101 | 4.064.101 | 4.064.101 | 4.064.101 | 4.064.101 | 4.064.101 | 4.064.101 | 4.578.374 | 4.578.374 |
| Custos de Produção | - | - | - | 4.023.460 | 4.023.460 | 4.023.460 | 4.023.460 | 4.023.460 | 4.023.460 | 4.023.460 | 4.023.460 | 4.023.460 | 4.023.460 | 4.023.460 | 4.023.460 | 4.023.460 |
| Custos Variáveis | - | - | - | 581.082 | 581.082 | 581.082 | 581.082 | 581.082 | 581.082 | 581.082 | 581.082 | 581.082 | 581.082 | 581.082 | 581.082 | 581.082 |
| Matérias-Primas e Consumíveis | - | - | - | 296.595 | 296.595 | 296.595 | 296.595 | 296.595 | 296.595 | 296.595 | 296.595 | 296.595 | 296.595 | 296.595 | 296.595 | 296.595 |
| Borra de café | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Hexano | - | - | - | 31.939 | 31.939 | 31.939 | 31.939 | 31.939 | 31.939 | 31.939 | 31.939 | 31.939 | 31.939 | 31.939 | 31.939 | 31.939 |
| Metanol | - | - | - | 154.366 | 154.366 | 154.366 | 154.366 | 154.366 | 154.366 | 154.366 | 154.366 | 154.366 | 154.366 | 154.366 | 154.366 | 154.366 |
| Catalisador (NaOMe 25%) | - | - | - | 105.924 | 105.924 | 105.924 | 105.924 | 105.924 | 105.924 | 105.924 | 105.924 | 105.924 | 105.924 | 105.924 | 105.924 | 105.924 |
| HCl 35% | - | - | - | 4.366 | 4.366 | 4.366 | 4.366 | 4.366 | 4.366 | 4.366 | 4.366 | 4.366 | 4.366 | 4.366 | 4.366 | 4.366 |
| Utilidades | - | - | - | 284.487 | 284.487 | 284.487 | 284.487 | 284.487 | 284.487 | 284.487 | 284.487 | 284.487 | 284.487 | 284.487 | 284.487 | 284.487 |
| Custos Fixos Desembolsáveis | - | - | - | 3.442.378 | 3.442.378 | 3.442.378 | 3.442.378 | 3.442.378 | 3.442.378 | 3.442.378 | 3.442.378 | 3.442.378 | 3.442.378 | 3.442.378 | 3.442.378 | 3.442.378 |
| Mão de obra | - | - | - | 1.941.562 | 1.941.562 | 1.941.562 | 1.941.562 | 1.941.562 | 1.941.562 | 1.941.562 | 1.941.562 | 1.941.562 | 1.941.562 | 1.941.562 | 1.941.562 | 1.941.562 |
| Manutenção | - | - | - | 900.489 | 900.489 | 900.489 | 900.489 | 900.489 | 900.489 | 900.489 | 900.489 | 900.489 | 900.489 | 900.489 | 900.489 | 900.489 |
| Seguros e taxas | - | - | - | 600.326 | 600.326 | 600.326 | 600.326 | 600.326 | 600.326 | 600.326 | 600.326 | 600.326 | 600.326 | 600.326 | 600.326 | 600.326 |
| Despesas Operacionais | - | - | - | 40.641 | 40.641 | 40.641 | 40.641 | 40.641 | 40.641 | 40.641 | 40.641 | 40.641 | 40.641 | 40.641 | 40.641 | 40.641 |
| Despesas de P&D | - | - | - | 40.641 | 40.641 | 40.641 | 40.641 | 40.641 | 40.641 | 40.641 | 40.641 | 40.641 | 40.641 | 40.641 | 40.641 | 40.641 |
| Investimento Total | 16.388.908 | 32.777.816 | 8.194.454 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Investimento Fixo (CAPEX) | 16.388.908 | 32.777.816 | 5.462.969 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Capital de Giro | - | - | 2.731.485 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Impostos (IR) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 514.273 | 514.273 |
| Fluxo de Caixa | (16.388.908) | (32.777.816) | (8.194.454) | 1.512.567 | 1.512.567 | 1.512.567 | 1.512.567 | 1.512.567 | 1.512.567 | 1.512.567 | 1.512.567 | 1.512.567 | 1.512.567 | 1.512.567 | 998.294 | 3.729.779 |
| Fluxo de Caixa Descontado | (16.388.908) | (29.798.015) | (6.772.276) | 1.136.414 | 1.033.104 | 939.185 | 853.805 | 776.186 | 705.624 | 641.476 | 583.160 | 530.146 | 481.951 | 441.951 | 289.170 | 176.651 |
| Fluxo de Caixa Acumulado | (16.388.908) | (46.186.923) | (52.959.199) | (51.822.785) | (50.789.681) | (49.850.496) | (48.996.691) | (48.220.505) | (47.514.881) | (46.873.405) | (46.290.245) | (45.760.099) | (45.278.149) | (44.988.978) | (44.440.722) | |

Fonte: Elaboração própria.

Figura 12: Demonstração de Resultado do Exercício

| Em R\$ | DRE | CONSTRUÇÃO | | | | | | | | | | | Idem para os anos 14 a 31 | | | |
|--------|-----------------------------------|------------|---|---|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------------|--------------------|------------------|------------------|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 32 |
| | Receita Líquida de Vendas | - | - | - | 5.576.669 | 5.576.669 | 5.576.669 | 5.576.669 | 5.576.669 | 5.576.669 | 5.576.669 | 5.576.669 | 5.576.669 | 5.576.669 | 5.576.669 | 5.576.669 |
| | Custos Variáveis | - | - | - | 581.082 | 581.082 | 581.082 | 581.082 | 581.082 | 581.082 | 581.082 | 581.082 | 581.082 | 581.082 | 581.082 | 581.082 |
| | Custos Fixos Desembolsáveis | - | - | - | 3.442.378 | 3.442.378 | 3.442.378 | 3.442.378 | 3.442.378 | 3.442.378 | 3.442.378 | 3.442.378 | 3.442.378 | 3.442.378 | 3.442.378 | 3.442.378 |
| | Lucro Operacional Bruto | - | - | - | 1.553.208 | 1.553.208 | 1.553.208 | 1.553.208 | 1.553.208 | 1.553.208 | 1.553.208 | 1.553.208 | 1.553.208 | 1.553.208 | 1.553.208 | 1.553.208 |
| | Despesas Operacionais | - | - | - | 40.641 | 40.641 | 40.641 | 40.641 | 40.641 | 40.641 | 40.641 | 40.641 | 40.641 | 40.641 | 40.641 | 40.641 |
| | Lucro Operacional (EBITDA) | - | - | - | 1.512.567 | 1.512.567 | 1.512.567 | 1.512.567 | 1.512.567 | 1.512.567 | 1.512.567 | 1.512.567 | 1.512.567 | 1.512.567 | 1.512.567 | 1.512.567 |
| | Despesas Financeiras | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | Depreciação | - | - | - | 5.462.969 | 5.462.969 | 5.462.969 | 5.462.969 | 5.462.969 | 5.462.969 | 5.462.969 | 5.462.969 | 5.462.969 | 5.462.969 | - | - |
| | Lucro Antes do IR | - | - | - | (3.950.402) | (3.950.402) | (3.950.402) | (3.950.402) | (3.950.402) | (3.950.402) | (3.950.402) | (3.950.402) | (3.950.402) | (3.950.402) | 1.512.567 | 1.512.567 |
| | IR | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 514.273 | 514.273 |
| | Lucro Depois do IR | - | - | - | (3.950.402) | (3.950.402) | (3.950.402) | (3.950.402) | (3.950.402) | (3.950.402) | (3.950.402) | (3.950.402) | (3.950.402) | (3.950.402) | 998.294 | 998.294 |

Fonte: Elaboração Própria.

IV.7. Cálculo dos indicadores de viabilidade econômica, estudos de cenários e sensibilidade do projeto

Após a apresentação do fluxo de caixa e do DRE previstos, os indicadores de viabilidade econômica (tabela 17) foram calculados com as premissas especificadas anteriormente.

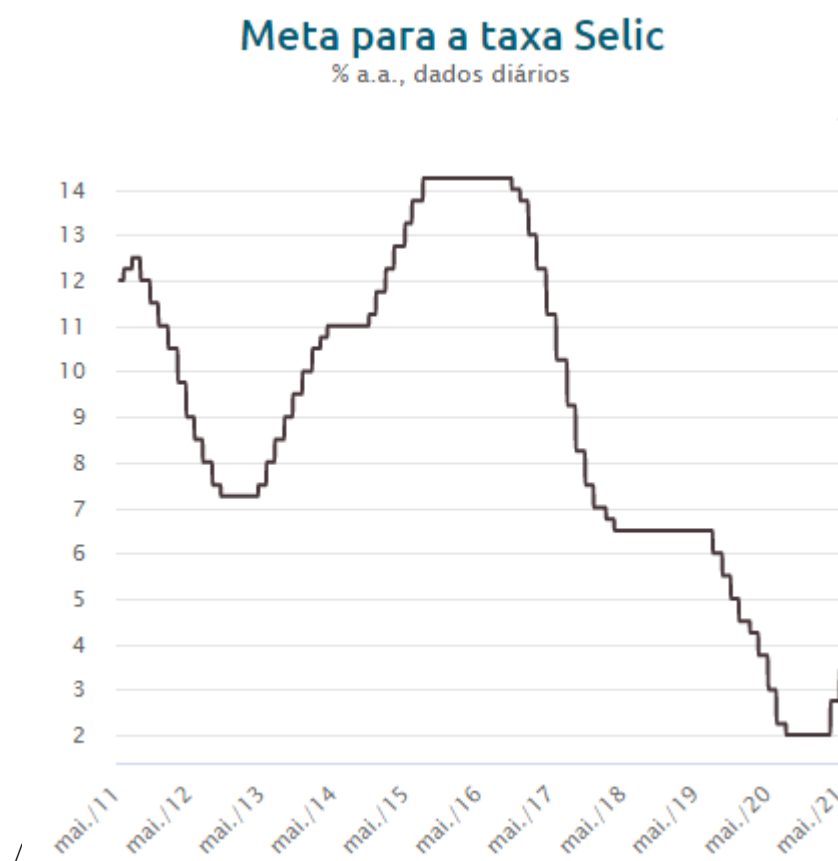
Tabela 17: Cálculo dos indicadores de viabilidade econômica (TMA de 10% a.a)

| Indicador | Valor |
|-------------|-------------|
| VPL (R\$) | -42.440.722 |
| TIR (% a.a) | -2% |
| Payback | - |

Fonte: Elaboração própria

Considerando que a taxa Selic varia consideravelmente com o tempo, conforme gráfico 08, é possível avaliar o impacto da taxa de desconto, que é diretamente influenciada pela Selic, sobre o VPL do projeto (tabela 18).

Gráfico 08: Metas para a taxa Selic entre Maio/2011 e Maio/2021



Fonte: Banco Central do Brasil (2021)

Tabela 18: Impacto da taxa de desconto (TMA) sobre o VPL do projeto

Cenário base: 10% a.a

| TMA (% a.a) | VPL (R\$) |
|-------------|----------------|
| -2,37% | 0,00 |
| 4% | -34.886.931,34 |
| 6% | -38.582.672,29 |
| 8% | -40.937.650,60 |
| 10% | -42.440.721,78 |
| 12% | -43.387.660,97 |
| 14% | -43.962.258,82 |

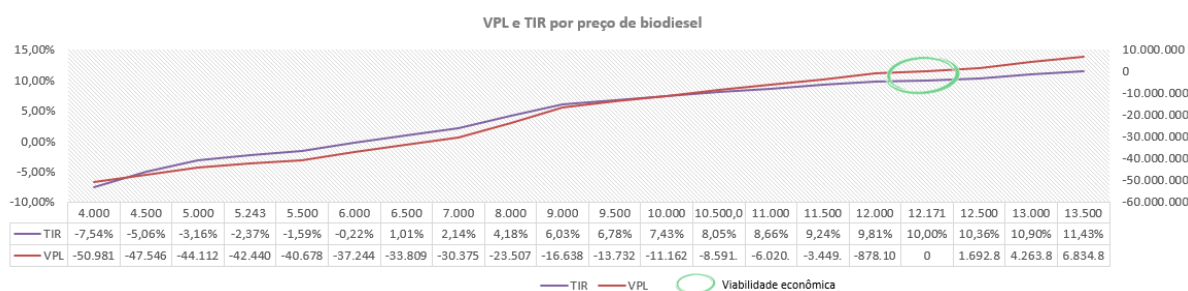
Fonte: Elaboração própria

Analisando a tabela anterior, é possível perceber que apenas variando a taxa de desconto, não é possível atingir a viabilidade do projeto, pois para um VPL igual a zero, a TMA deve ser negativa. Assim, é possível inferir que o presente projeto, mesmo em cenários de taxa Selic em baixa, não será viável caso não haja alteração de outras variáveis.

Além disso, outro fator a ser analisado, sendo o preço do biodiesel um dos agentes determinantes para a receita do projeto, foi verificado o seu impacto sobre a viabilidade do projeto. A partir da análise, é possível perceber que o preço mínimo de venda do biodiesel para proporcionar a viabilidade do projeto deve ser de 12.170,77 R\$/ton, 132% acima do preço do cenário base. O gráfico 09 apresenta o impacto do preço do biodiesel sobre os indicadores econômicos VPL e TIR.

Gráfico 09: Impacto do preço do biodiesel sobre o VPL e a TIR.

Cenário base: 5.243,43 R\$/ton

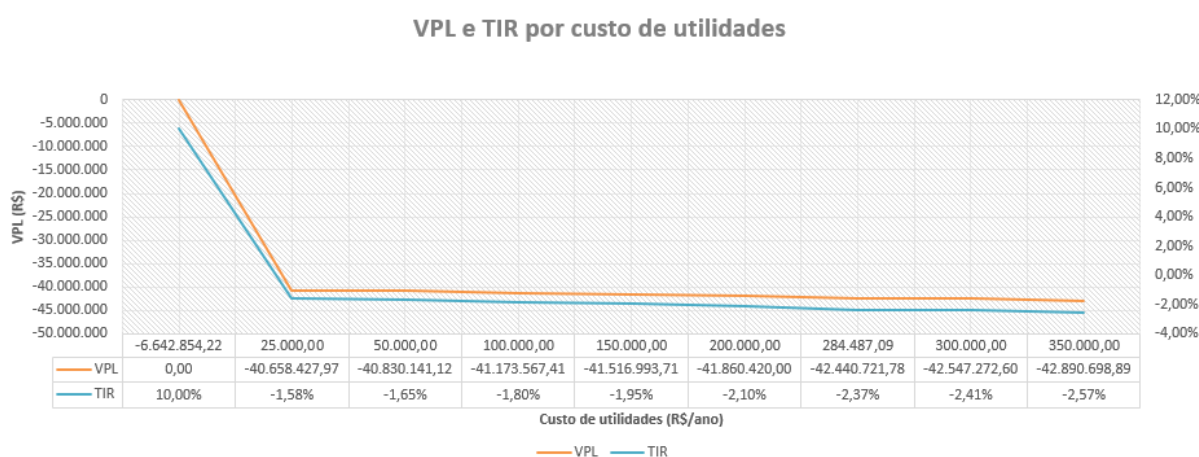


Fonte: Elaboração própria

Como a borra de café seca remanescente após a extração do óleo possui potencial energético, é possível reduzir o custo de utilidades do projeto para o caso do seu reaproveitamento. Sendo assim, foi feita a análise de sensibilidade para o custo de utilidades em relação ao VPL e a TIR.

A partir da análise do gráfico 10, disposto a seguir, é possível perceber que o impacto do custo de utilidades sobre a viabilidade do projeto é baixo: uma variação de 1300% no custo de utilidades gera variação de 5% no VPL. Tal fato pode ser explicado tendo em vista que o custo de utilidades representa 7% do custo de produção total do projeto, e nenhum outro componente de custo depende deste. Por isso, mesmo havendo potencial de reaproveitamento energético no processo, é importante avaliar se será vantajoso economicamente, já que o impacto na viabilidade do projeto é baixo.

Gráfico 10: Impacto do custo de utilidades sobre o VPL e a TIR.
 Cenário base: 284.487,09 R\$/ano

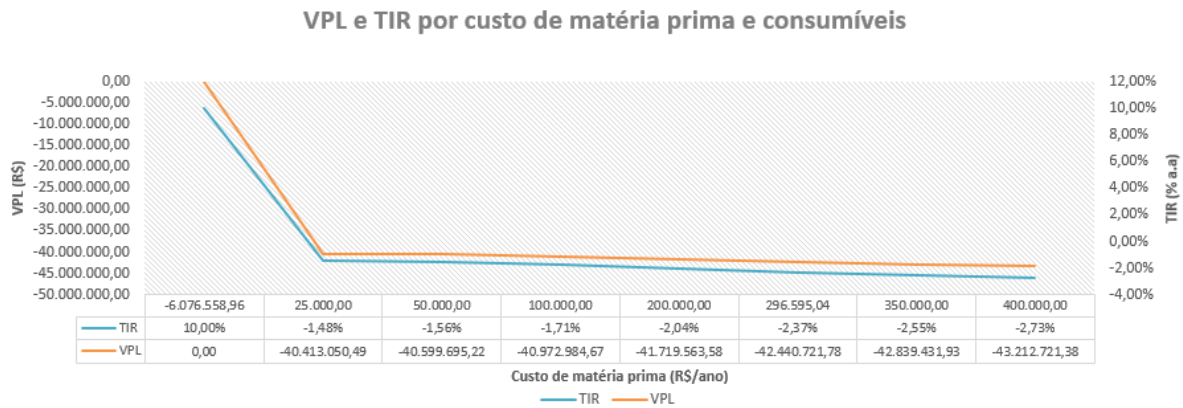


Fonte: Elaboração própria

Outro aspecto importante é o custo de matéria prima e consumíveis, que pode ser significativamente alterado dependendo do contexto de mercado, cotação do dólar e custos de frete. Por isso, é válido verificar o seu impacto sobre a viabilidade do projeto.

Pela interpretação do gráfico 11, é possível verificar que o custo de matéria prima e consumíveis, por si só, não é capaz de tornar o projeto viável. Percebe-se que, para isso, o seu custo precisaria ser negativo (-6.076.558,96 R\$/ano), o que é impossível. Dessa forma, mantendo os outros cenários constantes e alterando somente o custo de matéria prima e utilidades, não é possível tornar o projeto viável.

Gráfico 11: Impacto do custo de matéria prima sobre o VPL e a TIR
 Cenário base: 296.595 R\$/ano



Fonte: Elaboração própria

De forma geral, analisando-se os gráficos apresentados juntamente ao fluxo de caixa e DRE, é possível perceber que um aumento expressivo no preço de venda do biodiesel tornaria o projeto viável. Porém, além disso, os fluxos de caixa descontados e não acumulados de todos os anos de projeto são positivos; o que os torna negativos são os valores acumulados, considerando o investimento do projeto. Por isso, é válido testar a possibilidade de redução do investimento fixo.

Conforme já apresentado anteriormente, o investimento fixo do projeto se baseia no custo de aquisição dos equipamentos principais. Assim, uma das possibilidades de redução é a implementação de um projeto de produção de biodiesel a partir da borra de café dentro de uma planta já existente de biodiesel que opera a partir de outras matérias primas. Dessa forma, o custo de aquisição dos equipamentos não englobaria a unidade de produção de biodiesel, englobaria somente a unidade de pré-tratamento da borra de café e extração do óleo.

Além disso, em um novo cenário de operação em uma planta de biodiesel já existente, o custo logístico da borra de café até o destino deve ser considerado. No entanto, tal consideração não será utilizada na análise.

O estudo base utilizado no presente trabalho, I. K. Kookos (2018), apresenta o custo de aquisição dos equipamentos da unidade de biodiesel separadamente, sendo possível avaliar o custo total excluindo essa fração. O custo total de aquisição dos equipamentos é de M\$ 3.167,00 enquanto o custo da unidade de biodiesel e de integração energética somam M\$ 1.428,00. Sendo assim, o custo de implementação apenas do pré-tratamento e extração do óleo é de M\$ 1.739,00.

Utilizando os mesmos critérios de atualização no tempo, localização, câmbio e aproximação de Peter e Timmerhaus para o investimento fixo a partir do ISBL já utilizados no cenário principal, obtém-se um investimento fixo de R\$ 29.997,00. Para esse caso, obtém-se VPL de R\$ -13.567.326,22 e TIR de 4%, cenário consideravelmente mais promissor.

V. Conclusão

Inicialmente, avaliou-se a cadeia produtiva de café solúvel e do biodiesel, bem como de seus mercados. Como resultado da pesquisa bibliográfica, em relação ao café, notou-se que o tanto o consumo de café brasileiro solúvel quanto o não solúvel, interno e externo, cresceram ao longo dos anos e a expectativa é de que essa tendência persista para os próximos anos. Sendo, portanto, indiretamente, uma previsão do crescimento da borra de café, já que apesar do presente trabalho ter focado na borra produzida na indústria de café solúvel, esse resíduo também é gerado na indústria de café não solúvel - que é a maioria. Outra informação coletada que é extrema relevância é a falta de aproveitamento da borra por parte das indústrias de café solúvel brasileira, que na maioria das vezes, têm aterros sanitários como destinação final.

Já como resultado da pesquisa em relação ao biodiesel, foi possível perceber que a demanda por esse combustível aumentou ao longo dos anos e possui fortes indicativos de que essa tendência se mantenha devido, principalmente, às pressões políticas, internas e externas, para substituição da matriz energética fóssil pela de origem renovável. Inclusive, atualmente, existe uma previsão legal que exige que o diesel combustível possua um percentual de biodiesel em sua composição. Também é previsto em Lei que a proporção diesel-biodiesel aumente ao longo dos anos.

Destaca-se que atualmente o Brasil está enfrentando uma crise de escassez em relação à soja em detrimento da alta demanda de exportação desse grão, principalmente pela China. Tal fato desencadeou aumento de preços em setores alimentícios, e, principalmente, no biodiesel. Inclusive, o governo brasileiro tomou medidas legais para reduzir o percentual desse biocombustível no diesel como medida para conter a crise gerada no setor de combustíveis. Tal situação refletiu a necessidade de diversificação das matérias-primas oleaginosas para produção de biodiesel, e que, principalmente, não participem expressivamente de outros setores, como é o caso da soja que possui expressividade nos mercados alimentício e de energia.

Devido ao exposto, a proposta de instalação de uma planta de biodiesel a partir da borra de café no Brasil possui um bom respaldo, tanto pelo aproveitamento de um resíduo quanto pela capacidade de ser insumo para produzir combustível verde - biodiesel - dentro das especificações legais. Ressaltando, ainda, o fato de não ser uma matéria-prima que gera competição entre setores. Contudo, pela análise dos indicadores econômicos obtidos no estudo, alguns desafios precisam ser superados para que o projeto tenha chance de ser viável.

Para produzir biodiesel é necessária uma grande quantidade de borra, em torno de 24 vezes mais (em volume). Logo, para instalar uma usina competitiva de produção de biodiesel, em relação às que já existem, a quantidade de borra gerada apenas pela

indústria de café solúvel não seria suficiente. Atenta-se que esse problema é contornado se forem consideradas outras fontes de borra, como as produzidas pelo consumo doméstico ou comercial de café fresco (coado), todavia, haveria um problema logístico em relação à coleta. Dessa forma, seria necessário um estudo logístico aprofundado para concluir se os custos logísticos para obtenção de quantidade suficiente de borra tornariam o negócio em alta escala inviável.

O principal parâmetro percebido na análise de viabilidade técnico-econômica que afeta negativamente a rentabilidade do negócio é o alto investimento inicial. No caso apresentado, o pequeno volume de produção da planta não é suficiente para remunerar o alto investimento ao longo do tempo. Conforme discutido em um dos casos de sensibilidade, uma possibilidade de diminuir significativamente o CAPEX é instalar uma unidade de produção do óleo, que serve como matéria-prima do biodiesel, a partir da borra, em uma planta de biodiesel já existente. Como o óleo da borra não difere substancialmente de óleos de outras matérias-primas utilizadas, como a soja, as adaptações tecnológicas seriam pequenas.

Quanto às demais sensibilidades, as variações não geram impactos tão significativos quanto os comentados anteriormente, principalmente, em relação ao investimento. Pela metodologia definida no presente trabalho, grande parte dos custos e despesas estão associados ao investimento fixo inicial, logo variações neste geram efeitos em cadeia que não são observados nas variações de preço, custos de utilidade e matéria-prima.

Por fim, conclui-se que o estudo de caso apresentado é um bom parâmetro para avaliar os principais gargalos que poderiam ser encontrados na implantação de uma planta de larga escala para produção de biodiesel utilizando a borra de café como insumo, no Brasil. Entretanto, como se trata de um estudo preliminar, são necessárias análises mais detalhadas quanto ao investimento e à disponibilidade de matéria-prima para se obter resultados próximos da realidade. Além disso, é importante ressaltar que algumas limitações foram encontradas ao decorrer do estudo, essencialmente em relação à quantidade de café solúvel produzido no Brasil, e, conseqüentemente, de borra. Relatórios com detalhes necessários para um estudo mais preciso ainda não são publicados pelos órgãos responsáveis.

VI. Referências

Alves, J. R. X. et al., **Definição de localidade para instalação industrial com o apoio do método de análise hierárquica (AHP)** 2013. Disponível em: https://www.scielo.br/pdf/prod/2014nahead/aop_prod0637-12.pdf. Acesso em: 12 mai. 2021.

APROBIO. **Redução de mistura de biodiesel é contrassenso**. [S. l.], 15 abr. 2021. Disponível em: <https://aprobio.com.br/noticia/preduccedilatildeo-de-mistura-de-biodiesel-eacute-contrassensop>. Acesso em: 25 abr. 2021.

Attaché Reports. **Brazil: Coffee Semi-annual**. United States Department of Agriculture. 2020. Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/data/brazil-coffee-semi-annual-5>. Acesso em: 5 abr. 2021.

BIODIESEL – A (R)EVOLUÇÃO NAS MÃOS DO BRASIL. [S. l.], 2015. Disponível em: https://aprobio.com.br/arquivos/2015_08_Biodiesel-A-R_Evolu%C3%A7%C3%A3onasM%C3%A3osdo-Brasil_Peterson_Aprobio.pdf. Acesso em: 22 mar. 2021

BIODIESELBR. **Novo Líder: Olfar se torna a maior fabricante de biodiesel do Brasil**. [S. l.], 2 mar. 2021. Disponível em: <https://www.biodieselbr.com/noticias/usinas/info/novo-lider-olfar-se-torna-a-maior-fabricante-de-biodiesel-do-brasil-020321>. Acesso em: 25 abr. 2021.

BRASIL. **Lei nº 11907, de 13 de janeiro de 2005**. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira; altera as Leis nºs 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.847, de 26 de outubro de 1999 e 10.636, de 30 de dezembro de 2002; e dá outras providências. [S. l.], 2005. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/lei/111097.htm#:~:text=LEI%20N%C2%BA%2011.097%2C%20DE%2013%20DE%20JANEIRO%20DE%202005.&text=Disp%C3%B5e%20sobre%20a%20introdu%C3%A7%C3%A3o%20do,2002%3B%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%A2ncias. Acesso em: 22 mar. 2021.

BRASIL. **Resolução nº 45, de 25 de agosto de 2014**. Dispõe sobre a especificação do biodiesel contida no Regulamento Técnico ANP nº 3 de 2014 e as obrigações quanto ao controle da qualidade a serem atendidas pelos diversos agentes econômicos que comercializam o produto em todo o território nacional. [S. l.], 2014. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=274064>. Acesso em: 24 mar. 2021.

BRASIL. **Resolução nº 50, de 23 de dezembro de 2013**. Regulamenta as especificações do óleo diesel de uso rodoviário, contidas no Regulamento Técnico ANP

nº 4/2013, e as obrigações quanto ao controle da qualidade a serem atendidas pelos diversos agentes econômicos que comercializam o produto em todo o território nacional. [S. l.], 2013. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=263587>. Acesso em: 24 mar. 2021.

BRISTOT, Vilson Menegon. **Introdução à Engenharia de Segurança do Trabalho**. [S. l.: s. n.], 2019.

Coffee: World Markets and Trade. United States Department of Agriculture. 2020. Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/data/coffee-world-markets-and-trade>. Acesso em: 5 abr. 2021.

CORREIA DE MELO, James. **MODELAGEM CINÉTICA, SIMULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE BIODIESEL EM ESCALA PILOTO USANDO ETANOL PROVENIENTE DE MANIPUEIRA**. 2017. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/28075/1/TESE%20James%20Correia%20de%20Melo.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2021.

COSTA, Luís Fernando. Introdução. *In*: COSTA, Luís Fernando. **CONVERSÃO DO ÓLEO DE DENDÊ UTILIZANDO MATERIAL MESOPOROSO PARA OBTENÇÃO DE BIOQUEROSENE**. Orientador: Amanda Duarte Gondim. 2016. Projeto Final de Curso (Química do Petróleo) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, 2016. Disponível em: https://monografias.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/3518/1/MaterialMesoporoso_Costa_2016.pdf. Acesso em: 22 mar. 2021.

DA CONCEIÇÃO, Juliana Cristina P. R.; JÚNIOR, Roberto G. E.; DA CONCEIÇÃO, Pedro Henrique Zuchi. CADEIA AGROINDUSTRIAL DO CAFÉ NO BRASIL: UMA ANÁLISE DO PERÍODO RECENTE. **Radar**, [s. l.], v. 53, 2017. Disponível em: http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8105/1/Radar_n53_cadeia.pdf. Acesso em: 5 maio 2021

DE ALMEIDA SILVA, Maria Izabela; SALA PASQUIM, Thaís Bruna. Borra da Café. *In*: DE ALMEIDA SILVA, Maria Izabela; SALA PASQUIM, Thaís Bruna. **ACOFFEE – INDÚSTRIA DE CAFÉ SOLÚVEL**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, 2018. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/10362/1/AP_COENQ_2018_2_02.pdf. Acesso em: 25 abr. 2021.

EASYNVEST. **Simulador Tesouro Direto**: Tesouro Prefixado. [S. l.], 12 maio 2021. Disponível em: <https://www.easynvest.com.br/produto-tesouro->

[direto.html?gclid=CjwKCAjw-e2EBhAhEiwAJI5jg6a62LukSjN6nfZIYxYGT2LJk8r55Y0Jmed68-qE832LMZCIXKK1tBoCWI4QAvD_BwE](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127000). Acesso em: 12 maio 2021.

G. Saratalea , R. Bhosaleb , S. Shobanac , J. Rajesh Banud , A. Pugazhendhie , E. Mahmoudf , R. Sirohig , S. Kant Bhatiah , A.E. Atabanii , V. Mulonej , J. Yoonk , H. Shina , G. Kumar. **A review on valorization of spent coffee grounds (SCG) towards biopolymers and biocatalysts production.** 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852420310725>. Acesso em: 5 abr. 2021.

GONZALEZ, Wilma de A. **Biodiesel e Óleo Vegetal in Natura: Soluções Energéticas para a Amazônia.** 1. ed. Brasília: [s. n.], 2008. Disponível em: <file:///C:/Users/ctrot/Documents/UFRJ/TCC/Biodiesel%20e%20C3%93leo%20Vegetal.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2021.

International Coffee Organization. **Coffee Market Report.** 2021. Disponível em: <http://www.ico.org/Market-Report-20-21-e.asp>. Acesso em: 5 abr. 2021.

LOBO, Ivon Pinheiro; FERREIRA, Sergio Luis Costa; DA CRUZ, Rosenira Serpa. Biodiesel: parâmetros de qualidade e métodos analíticos. **Química Nova**, [s. l.], 22 set. 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/SbsL599jyMJbxxKpzbMdmZM/?lang=pt#:~:text=Para%20o%20biodiesel%20puro%20o,decr%C3%A9scimo%20bastante%20significativo%20oneste%20valor>. Acesso em: 26 maio 2021

Mata, T.M., Martins, A.A., Caetano, N.S. **Bio-refinery approach for spent coffee grounds valorization. Bioresour.** 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852417316711>. Acesso em: 5 abr. 2021.

MINISTÉRIO DO TRABALHO. **Norma Regulamentadora nº 20, de 8 de junho de 1978.** Esta Norma Regulamentadora - NR estabelece requisitos mínimos para a gestão da segurança e saúde no trabalho contra os fatores de risco de acidentes provenientes das atividades de extração, produção, armazenamento, transferência, manuseio e manipulação de inflamáveis e líquidos combustíveis. [S. l.], 8 jun. 1978. Disponível em: <http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr20.htm#:~:text=20.1.1%20Esta%20Norma%20Regulamentadora,de%20inflam%C3%A1veis%20e%20l%C3%ADquidos%20combust%C3%ADveis>. Acesso em: 26 maio 2021.

MONTEIRO, Rodrigo. Bioquerosene. *In*: MONTEIRO, Rodrigo. **Avaliação do potencial do óleo de microalgas como matéria-prima na produção de**

hidrocarbonetos para bioquerosene de aviação. Orientador: Yordanka Reyes Cruz. 2020. Projeto Final de Curso (Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/12602/1/RSMonteiro.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2021.

NP. Plantas de biodiesel produzem 59% da capacidade. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://www.energiaquefalacomvoce.com.br/2019/07/10/fenasucro-plantas-de-biodiesel-produzem-59-da-capacidade/>. Acesso em: 26 mar. 2021.

OROSKI, Fábio. Proporção de Custos de P&D: Definição de Custos de Produção. Mai de 2021. Notas de Aula.

Paiva, E. J. M.; Kothe; V., Corazza; M. L., Silva A.; Nakagaki, S.; Wypych, F.; Ramos, L. P. Em Green Fuels Technology; Soccol, C. R.; Brar, S. K.; Faulds, C.; Ramos, L. P.; eds; Springer: Suíça, cap. 12, 2016

PETROBRAS. Diesel renovável traz mais qualidade, competição e sustentabilidade para o segmento de biocombustíveis no Brasil. [S. l.], 2020. Disponível em: https://petrobras.com.br/fatos-e-dados/diesel-renovavel-traz-mais-qualidade-competicao-e-sustentabilidade-para-o-segmen-to-de-biocombustiveis-no-brasil.htm?gclid=CjwKCAjwr_uCBhAFEiwAX8YJgYezAX8LjsiwihhuOqbu4tWoKJZbQ0w9-4SkJbGX_8L9ko8XK7bSFhoCIFUQAvD_BwE. Acesso em: 27 mar. 2021.

PETROBRÁS; MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Governo Federal. 50 PERGUNTAS E RESPOSTAS SOBRE ESTE NOVO MERCADO. **Biocombustíveis**, [s. l.], 2019. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/matprima1_000g7pcc02wx5ok0wtdt32e6jis7.pdf. Acesso em: 22 mar. 2021.

RAMOS, L.P. Biodiesel: Matérias-Primas, Tecnologias de Produção e Propriedades Combustíveis. **Revista Virtual de Química**, [s. l.], ano 2017, v. 9, ed. 1, 2016. Disponível em: <http://static.sites.s bq.org.br/rvq.s bq.org.br/pdf/v9n1a20.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2021.

REDA, Seme Youssef; CARNEIRO, Paulo I. óleos e gorduras: aplicações e implicações. **Revista Analytica**, [s. l.], v. 27, n. 2007, 2007. Disponível em: <http://cursos.unipampa.edu.br/cursos/engenhariadealimentos/disciplinas/files/2008/04/art07.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2021.

Sanz, C., Czerny, M., Cid, C., Schieberle, P. **Comparison of potent odorants in a filtered coffee brew and in an instant coffee beverage by aroma extract dilution**

analysis (AEDA). 2002. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00217-001-0459-9>. Acesso em: 5 abr. 2021.

STAHHEL, Walter R. The circular economy. **Nature: International weekly journal of science**, [s. l.], v. 531, ed. 7595, 23 mar. 2016. Disponível em: <https://www.nature.com/news/the-circular-eco-nomy-1.19594>. Acesso em: 22 mar. 2021.

Todaka, M., Kowhakul, W., Masamoto, H., Shigematsu, M. **Improvement of oxidation stability of biodiesel by an antioxidant component contained in spent coffee grounds.** 2018. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/17597269.2018.1468977?journalCode=tbfu20>. Acesso em: 5 abr. 2021.

Tokimoto, T., Kawasaki, N., Nakamura, T., Akutagawa, J., Tanada, S. **Removal of lead ions in drinking water by coffee grounds as vegetable biomass.** 2005. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0021979704007969>. Acesso em: 5 abr. 2021.

VARDON, D. R. et al. Complete utilization of spent coffee grounds to produce biodiesel, bio-oil, and biochar. **ACS Sustainable Chemistry and Engineering**, v. 1, n. 10, p. 1286–1294, 2013. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/sc400145w>. Acesso em: 23 abr. 2021.

XXXII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUCAO, 2013, Rio Grande do Sul. **GERENCIAMENTO DE RISCOS EM UMA USINA EXPERIMENTAL DE BODIESEL [...].** [S. l.: s. n.], 2013. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2012_tn_stp_157_913_20665.pdf. Acesso em: 26 maio 2021.

Yusuf, N.N.A.N., Kamarudin, S.K. Yaakub, Z. **Overview on the current trends in biodiesel production.** **Energy Convers.** 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196890410005352>. Acesso em: 5 abr. 2021.