



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOCOMBUSTÍVEIS



RODRIGO LATUF DE ANDRADE

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE UM GRUPO GERADOR À  
BIOCOMBUSTÍVEIS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA  
DISTRIBUÍDA



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOCOMBUSTÍVEIS



RODRIGO LATUF DE ANDRADE

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE UM GRUPO GERADOR À  
BIOCOMBUSTÍVEIS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA  
DISTRIBUÍDA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós  
Graduação em Biocombustíveis da  
Universidade Federal de Uberlândia como  
requisito parcial à obtenção do título de Mestre  
em Ciência e Tecnologia em Biocombustíveis.

Linha de pesquisa: Produtos e Coprodutos

Orientador: Prof. Dr. Daniel Pasquini

Uberlândia 2020

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU  
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

A553 Andrade, Rodrigo Latuf de, 1993-  
2020 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE UM GRUPO GERADOR À  
BIOCOMBUSTÍVEIS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA  
DISTRIBUÍDA [recurso eletrônico] / Rodrigo Latuf de Andrade. -  
2020.

Orientador: Daniel Pasquini.  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,  
Pós-graduação em Biocombustíveis.  
Modo de acesso: Internet.  
Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2020.408>  
Inclui bibliografia.  
Inclui ilustrações.

1. Biocombustível. I. Pasquini, Daniel,1974-, (Orient.). II.  
Universidade Federal de Uberlândia. Pós-graduação em  
Biocombustíveis. III. Título.

CDU: 662.756

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:  
Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091  
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074



## UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Coordenação do Programa de Pós-Graduação em  
Biocombustíveis

Av. João Naves de Ávila, 2121 - Bairro Santa Mônica, Uberlândia-MG, CEP 38400-902  
Telefone: (34) 3239-4385 / 4208 - [www.iq.ufu.br](http://www.iq.ufu.br) - [ppbic@iqufu.ufu.br](mailto:ppbic@iqufu.ufu.br)



### ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Biocombustíveis			
Defesa de:	Mestrado Acadêmico, 38, PPBIC			
Data:	03 de março de 2020	Hora de início:	09:00	Hora de encerramento: <b>11:10</b>
Matrícula do Discente:	11812PGB002			
Nome do Discente:	Rodrigo Latuf de Andrade			
Título do Trabalho:	Avaliação de desempenho de um grupo gerador à biodiesel para geração de energia elétrica distribuída			
Área de concentração:	Biocombustíveis			
Linha de pesquisa:	Produtos e Coprodutos			
Projeto de Pesquisa de vinculação:				

Reuniu-se no Auditório Manuel Gonzalo Hernández-Terrones, no andar superior do Bloco 5I, Campus Santa Mônica, da Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Biocombustíveis, assim composta: Doutores: Prof. Antônio Carlos Ferreira Batista, da Universidade Federal de Uberlândia; Gustavo Malagoli Buiatti, da Alsol Energias Renováveis; e Prof. Daniel Pasquini, orientador(a) do(a) candidato(a).

Iniciando os trabalhos o(a) presidente da mesa, Dr(a). Daniel Pasquini, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(as) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

**Aprovado(a).**

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.

---



Documento assinado eletronicamente por **Daniel Pasquini, Professor(a) do Magistério Superior**, em 03/03/2020, às 11:12, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **Antonio Carlos Ferreira Batista, Professor(a) do Magistério Superior**, em 03/03/2020, às 11:12, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **Gustavo Malagoli Buiatti, Usuário Externo**, em 03/03/2020, às 11:15, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://www.sei.ufu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **1841522** e o código CRC **7305F332**.

---

**Referência:** Processo nº 23117.006304/2020-21

SEI nº 1841522

*Aos meus maiores exemplos de vida:*

*Maura Latuf de Andrade e José Emídio de Andrade.*

*À Alsol Energias Renováveis, em especial a:*

*Gustavo Malagoli Buiatti e Julio Cesar Souza e Silva,*

*Dedico.*

## **Agradecimentos**

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado sabedoria e força suficiente para concluir mais essa etapa, me proporcionando enorme sentimento de gratidão.

Aos meus pais, irmão e amigos que sempre me incentivaram. Em especial ao maior apoiador Gustavo Malagoli Buiatti, através da Alsol Energias Renováveis, que juntos tornamos possível a realização deste projeto.

Ao meu colega de trabalho, Julio Cesar de Souza e Silva, juntamente comigo, idealizador deste trabalho.

Ao meu orientador, Professor Dr. Daniel Pasquini pelos ensinamentos e contribuições que foram sempre válidos e positivos.

À Universidade Federal de Uberlândia – UFU, por oferecerem o curso de Mestrado e Doutorado na área de biocombustíveis e proporcionar qualificação multidisciplinar, aos estudantes de diversas áreas.

Ao Programa de Pós-Graduação em Biocombustíveis – PPGB e todos os docentes, por colaborarem com todos ensinamentos que obtive durante estes dois anos.

E a todos que contribuíram indiretamente para o desenvolvimento desta dissertação.

Obrigado.

## Resumo

A busca por combustíveis renováveis, em resposta à crescente demanda global de energia, somada às questões ambientais, enfatiza fortemente a importância de se desenvolver aplicações alternativas para o setor de geração de energia, particularmente aqueles derivados da biomassa, em função do enorme potencial brasileiro, para comporem misturas, com ou mesmo substituir integralmente, os combustíveis fósseis. O biodiesel se apresenta como um biocombustível com possibilidades de aplicação para geração de energia elétrica distribuída, abrindo assim seu leque de utilização, que deve ser explorado de forma a motivar um mercado que extrapole a produção nacional, destinada hoje exclusivamente para a finalidade de compor a mistura obrigatória do diesel fóssil, e principalmente, movimentando o setor industrial no país, gerando novos empregos e renda. Neste estudo, foi construído um sistema de geração de energia elétrica, sendo seu principal componente, um grupo gerador de potência 360 kVA, utilizado para testes e análise de viabilidade do combustível biodiesel B100, como fonte alternativa para aplicação ao sistema de compensação de energia, regulamentado pela ANEEL desde 2012. Após a construção do sistema, estruturou-se uma bateria de testes, padronizados em 15 e 30 minutos de duração, com o intuito de encontrar a taxa energética, em kWh/L, em cenários de potência constante e variável. Foram avaliados os resultados de desempenho do grupo gerador. Foram realizados cálculos para obter a taxa energética do combustível biodiesel puro, variando a potência do sistema de 50 a 200 kW, para avaliação da melhor configuração de desempenho para o sistema. A melhor taxa energética encontrada foi de 3,89 kWh/L, para a potência 200 kW. Além dos testes práticos, foram realizadas consultas às agências regulamentadoras a fim de verificar possíveis restrições em relação a aplicação pioneira no Brasil. Por fim, foi realizado uma análise sobre a revisão da regulação vigente, prevista para entrar em vigor, no primeiro semestre de 2020.

**Palavras-chave:** Biodiesel. Biomassa. Geração Distribuída. Biocombustíveis.

## **Abstract**

The search for new renewable fuels in response to growing global energy demand, in addition to environmental issues, strongly emphasizes the importance of developing alternative applications for the energy generation sector, particularly those derived from biomass, given the enormous potential to compose blends, with or even fully replace, fossil fuels. Biodiesel presents itself as a biofuel with possibilities of application for distributed electric power generation, thus opening its range of use, which should be explored in order to motivate a market beyond the production for compulsory blending to fossil diesel, blends present in Brazil since 2008, and mainly, motivate the industry sector in the country, generating new jobs and income. In this study, a power generation system was built, and its main component, a 360 kVA power generator, used for testing and feasibility analysis of B100 biodiesel fuel, as an alternative source for application to the energy compensation system, that has been regulated by ANEEL since 2012. After building the system, a battery of tests was structured, standardized in 15 and 30 minutes in duration, in order to find the energy rate, in kWh/L, in scenarios of constant and variable power. The performance results of the generator set were evaluated. Calculations were carried out to obtain the energy rate of pure biodiesel fuel, varying the power of the system from 50 to 200 kW, to evaluate the best performance configuration for the system. The best energy rate found was 3.89 kWh/L, for power of 200 kW. In addition to the practical tests, consultations were carried out with the regulatory agencies in order to verify possible restrictions in relation to the pioneer application in Brazil. Finally, an analysis was carried out on the revision of the current regulation, expected to come into force, in the first half of 2020.

**Palavras-chave:** Biodiesel. Biomass. Distributed Generation, Biofuels.

## Lista de ilustrações

Figura 1 – Livro sobre o programa Proálcool, 2015 . . . . .	26
Figura 2 – Insumos utilizados para produção de biodiesel no Brasil . . . . .	31
Figura 3 – Produção do biodiesel mensal no Brasil entre 2005 a 2017 . . . . .	32
Figura 4 – Principais matérias primas utilizadas na produção de biodiesel . . . . .	33
Figura 5 – Percentual de insumos utilizadas para produção de biodiesel região centro-oeste . . . . .	34
Figura 6 – Percentual de insumos utilizadas para produção de biodiesel região sudeste . . . . .	34
Figura 7 – Exemplo de reação de hidrólise durante a determinação do índice de acidez . . . . .	35
Figura 8 – Reação da determinação do índice de saponificação . . . . .	36
Figura 9 – Matriz energética mundial em 2018 . . . . .	42
Figura 10 – Matriz energética nacional em 2019 (Ano base 2018) . . . . .	42
Figura 11 – Consumo de energia proveniente de fontes renováveis e não renováveis no Brasil e no mundo . . . . .	43
Figura 12 – Evolução tafifária CEMIG . . . . .	53
Figura 13 – Bases de concreto para suporte de grupo gerador, abrigo com painel de proteção e sincronismo de rede e tanque externo de combustível.	61
Figura 14 – Representação do grupo gerador carenado . . . . .	62
Figura 15 – Atividades de manutenção - troca de filtro de óleo lubrificante . . . . .	63
Figura 16 – Atividades de manutenção - troca de filtro de combustível e filtro separador . . . . .	64
Figura 17 – Projeto do reservatório de combustível de 4m <sup>3</sup> . . . . .	65
Figura 18 – Tanque de armazenamento de combustível 4m <sup>3</sup> . . . . .	66
Figura 19 – Croqui do abrigo para o painel elétrico - quadro de conexão . . . . .	67
Figura 20 – Abrigo do painel confeccionado na sede da empresa Andaimes Uberlândia . . . . .	67
Figura 21 – Painel de proteção e sincronismo com a rede elétrica . . . . .	68
Figura 22 – Funções de proteção do relé Woodward . . . . .	69
Figura 23 – Movimentação do grupo gerador com guindaste . . . . .	70
Figura 24 – Posicionamento dos componentes do sistema nas bases . . . . .	71
Figura 25 – Instalações de cobertura e bacia de contenção . . . . .	72
Figura 26 – Instalações do sistema de interligação de combustível . . . . .	74
Figura 27 – Verificação do lacre do combustível . . . . .	76
Figura 28 – Procedimento de rompimento do lacre para descarregamento do combustível . . . . .	77
Figura 29 – Legenda . . . . .	78
Figura 30 – Teste inicial de potência e energia acumulada . . . . .	84

Figura 31 – Consumo instantâneo do grupo gerador no teste de variação de potência . . . . .	85
Figura 32 – Taxa energética instantânea em teste de variação de potência . . . . .	86
Figura 33 – Consumo de combustível instantâneo em relação à potência (L/h) . . . . .	87
Figura 34 – Taxa energética obtida em função da variação de potência de 50 a 200 kW . . . . .	88
Figura 35 – Potência e taxa energética 10/12/19 - HP . . . . .	90
Figura 36 – Consumo e taxa energética 10/12/19 - HP . . . . .	90
Figura 37 – Potência e taxa energética 10/12/19 - HP . . . . .	91
Figura 38 – Alternativas avaliadas para aplicação no Sistema de Compensação de Energia Elétrica . . . . .	94

## **Lista de tabelas**

Tabela 1 – Características do diesel de acordo com a ANP e ASTM . . . . .	20
Tabela 2 – Procedimentos a serem adotados para prevenção da degradação do diesel B . . . . .	23
Tabela 3 – Evolução do percentual de biodiesel presente no diesel no Brasil . .	29
Tabela 4 – Características das matérias primas oleaginosas brasileiras para produção de biodiesel . . . . .	31
Tabela 5 – Horários de ponta das distribuidoras brasileiras . . . . .	55
Tabela 6 – Componentes principais do grupo gerador . . . . .	59
Tabela 7 – Características do painel de transferência e proteção . . . . .	60
Tabela 8 – Normas técnicas atendidas para construção de cobertura e bacia de contenção . . . . .	72
Tabela 9 – Descrição de componentes do sistema de interligação entre tanque e grupo gerador . . . . .	73
Tabela 10 – Usinas com GD, por tipo de geração . . . . .	79
Tabela 11 – Concentração de metais em óleo diesel S10 e mistura S10 B10 . .	81
Tabela 12 – Unidades com GD com tipo de geração UTE . . . . .	82
Tabela 13 – LDados consolidados dos testes realizados com combustível B100	89
Tabela 14 – Dados do dia com maior média de taxa energética obtida . . . . .	89
Tabela 15 – Considerações ANEEL sobre a revisão da resolução n° 482/2012 .	93

## **Lista de abreviaturas e siglas**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACL	Ambiente de contratação livre
ACR	Ambiente de contratação regulada
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional do Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis
ASTM	(sigla em inglês) Sociedade americana para testes e materiais
BX	% de biodiesel adicionada ao diesel
CAPEX	(sigla em inglês), despesas de capital ou investimento em bens de capital
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CGH	Central Geradora Hidrelétrica
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
FISPQ	Ficha de Informação de Segurança para Produtos Químicos
GD	Geração Distribuída
GEE	Gases de efeito estufa
HC	Hidrocarbonetos
MDA	Ministério do Desenvolvimento Agrário
MIT	(sigla em inglês), Instituto de Tecnologia de Massachusetts
NCM	Nomenclatura comum do Mercosul
OPEX	(sigla em inglês), capital utilizado para manter ou melhorar os bens físicos de uma empresa
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PF	Ponto de fulgor
PNPB	Programa Nacional de Produção de Biodiesel
PRODIST	Procedimentos de distribuição de energia elétrica no Sistema Elétrico Nacional

SIN	Sistema Interligado Nacional
TUSD	Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição
UNFCCC	(sigla em inglês), Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima

## Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>Revisão Bibliográfica</b>	<b>19</b>
<b>2.1</b>	<b>O óleo diesel</b>	<b>19</b>
2.1.1	Como é produzido	19
2.1.2	Exigências para o óleo diesel	20
2.1.3	Classificações do óleo diesel	21
2.1.4	Problemas com o óleo diesel	21
2.1.5	Procedimentos para manter a qualidade do diesel B	22
<b>2.2</b>	<b>O Biodiesel</b>	<b>23</b>
2.2.1	O histórico do biodiesel	24
2.2.2	Os programas de incentivo aos biocombustíveis	26
2.2.3	Caracterização do biodiesel	28
<b>2.3</b>	<b>Propriedades físico-químicas do biodiesel</b>	<b>34</b>
2.3.1	Índice de ácidez	35
2.3.2	Índice de saponificação	36
2.3.3	Índice de iodo	36
2.3.4	Umidade	37
2.3.5	Densidade	38
2.3.6	Viscosidade	38
2.3.7	Propriedades de combustível	40
<b>2.4</b>	<b>Matriz energética e matriz elétrica</b>	<b>41</b>
2.4.1	Matriz energética mundial	41
2.4.2	Matriz energética nacional	42
2.4.3	Acordo de Paris	44
<b>2.5</b>	<b>Uso do biodiesel para geração de energia</b>	<b>44</b>
<b>2.6</b>	<b>Geração Distribuída</b>	<b>46</b>
2.6.1	Histórico da Geração Distribuída	47
2.6.2	Modalidades de Geração Distribuída	49
<b>3</b>	<b>Justificativa</b>	<b>52</b>
<b>3.1</b>	<b>Aumento tarifário de energia</b>	<b>52</b>
<b>3.2</b>	<b>Horário de ponta</b>	<b>54</b>
<b>4</b>	<b>Objetivos</b>	<b>56</b>
<b>4.1</b>	<b>Objetivo geral</b>	<b>56</b>
<b>4.2</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>56</b>

<b>5</b>	<b>Materiais e métodos . . . . .</b>	<b>57</b>
<b>5.1</b>	<b>Grupo gerador de energia . . . . .</b>	<b>58</b>
<b>5.2</b>	<b>Painél elétrico de transferência e proteção . . . . .</b>	<b>59</b>
<b>5.3</b>	<b>Construção do sistema . . . . .</b>	<b>60</b>
<b>5.3.1</b>	Grupo gerador carenado . . . . .	61
<b>5.3.2</b>	Tanque externo de combustível . . . . .	64
<b>5.3.3</b>	Abrigo do painel elétrico . . . . .	66
<b>5.4</b>	<b>Montagem do sistema . . . . .</b>	<b>69</b>
<b>5.4.1</b>	Cobertura e bacia de contenção . . . . .	71
<b>5.4.2</b>	Instalação de sistema de interligação de combustível entre tanque e grupo gerador . . . . .	73
<b>6</b>	<b>Resultados e discussões . . . . .</b>	<b>76</b>
<b>6.1</b>	<b>Aquisição e análise do coombustível . . . . .</b>	<b>76</b>
<b>6.1.1</b>	Estudo do problema do uso de biodiesel em motores . . . . .	78
<b>6.2</b>	<b>Consulta as agências regulamentadoras . . . . .</b>	<b>82</b>
<b>6.3</b>	<b>Testes de funcionamento . . . . .</b>	<b>84</b>
<b>6.4</b>	<b>Testes com variação de potência . . . . .</b>	<b>84</b>
<b>6.4.1</b>	Verificação da taxa energética com variação de potência . . . . .	87
<b>6.5</b>	<b>Consolidação dos testes e resultados . . . . .</b>	<b>88</b>
<b>6.6</b>	<b>Viabilidade do sistema . . . . .</b>	<b>91</b>
<b>7</b>	<b>Conclusão . . . . .</b>	<b>96</b>
	<b>Referências . . . . .</b>	<b>98</b>

## 1 Introdução

A utilização dos combustíveis não fosseis é nos dias de hoje um tema cada vez mais presente. Levando em consideração que o processo de recuperação das reservas de petróleo, carvão e gás natural é lento torna-se tendência o aparecimento de novas alternativas. Multiplicar esforços e recursos a fim de encontrar tecnologias que aproveitem as energias de origem renovável são ações que seguem essa tendência. As tecnologias eólica e solar fotovoltaica por exemplo são maduras e já possuem uma implementação considerável no atual mercado energético brasileiro<sup>1</sup>. No entanto, existem ainda outras fontes renováveis a explorar e a energia com origem na biomassa, de forma mais concreta os biocombustíveis, em especial aqueles que apresentam um elevado poder calorífico e, consequentemente, um grande potencial. Embora o combustível fóssil seja a energia que move o mundo moderno, sua exploração e sua queima tornam-se cada vez mais ameaçadora à vida no planeta. A procura por fontes energéticas alternativas mais limpas e plenamente renováveis são ainda uma promessa para um futuro melhor para a humanidade, no ambiente natural<sup>2</sup>. O objetivo principal deste projeto é a análise de eficiência uma unidade de minigeração de energia à biocombustíveis conectada à rede elétrica com potência instalada total de 260 kva. A finalidade do equipamento é a geração de energia elétrica e injeção do excedente de energia, se houver, na rede de Média Tensão da distribuidora de energia, caracterizando o sistema de compensação de energia elétrica previsto na Resolução Normativa nº482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)<sup>3</sup>.

Fatores relacionados à atual circunstância econômica, direcionam as empresas a buscar fontes de energia elétrica em substituição a energia comum fornecida através das redes de distribuição, especialmente nos pré estabelecidos horários de ponta. Define-se horário de ponta, ou “horário de pico” como o período composto por três horas diárias consecutivas, durante o qual o consumo de energia elétrica tende a ser maior<sup>4</sup>. O período é definido pela distribuidora considerando a curva de carga de seu sistema elétrico, aprovado pela ANEEL para toda a área de concessão ou permissão, com exceção feita aos sábados, domingos e feriados nacionais.

Em decorrência simultânea da queda dos preços das principais commodities, observa- se volatilidade dos mercados, com alguma sinalização de alteração da taxa

<sup>1</sup> BUIATTI, G. Selo Solar para PGM Sistemas. Renex South America – Feira Internacional de Energias Renováveis. **Inovações no marketing para pequenas empresas**, 2013.

<sup>2</sup> DOMINKOVIĆ, D. F. et al. The future of transportation in sustainable energy systems. **Opportunities and barriers in a clean energy transition. Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 822, p. 1824 – 1824, 2017.

<sup>3</sup> AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA -- ANEEL. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica. **Resolução Normativa nº 482**, 17 de Abril de 2012.

<sup>4</sup> AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA -- ANEEL. Estabelece de forma atualizada e consolidada as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica. **Resolução Normativa nº 456**, 29 de Novembro de 2000.

básica de juros nos Estados Unidos<sup>5</sup>. Movimentos relevantes da economia global como esse ocorrem no tempo em que países em desenvolvimento acenam com maior demanda energética, em resposta ao crescimento populacional e à expansão da produção industrial<sup>6</sup>.

O rápido desenvolvimento industrial, juntamente com a preocupação com os efeitos do aquecimento global, provocou o meio científico a necessidade de desenvolver pesquisas voltadas para a produção de combustíveis alternativos que tenham menor impacto ambiental. De maneira geral, o maior consumo de energia provém do petróleo e seus derivados, o uso de biocombustíveis tornou-se uma alternativa, para reduzir a dependência do petróleo e uma opção aos usuários para a possível escassez de combustíveis à base de petróleo, já que as reservas, devido ao tempo de recomposição dessa fonte, é extremamente extenso, tornando-a limitada<sup>7</sup>.

O biodiesel, biocombustível derivado de fonte renovável para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão, se apresenta como alternativa pois, contribui indiretamente para a redução da temperatura global do planeta e dos custos com a saúde, pode propiciar geração de empregos e renda, é totalmente miscível ao óleo diesel mineral, aumenta a lubricidade do combustível melhorando o desempenho do motor, é biodegradável e não tóxico<sup>8</sup>. Diante dessas vantagens o governo incluiu o biodiesel na matriz energética brasileira e definiu volume mínimo obrigatório da mistura do biocombustível no diesel mineral. Assim, o biodiesel promove a diversificação da matriz energética, além de reduzir a dependência do diesel de origem fóssil.

O biodiesel pode ser obtido por meio dos processos: (i) de transesterificação; (ii) craqueamento térmico, (iii) esterificação<sup>9</sup>. Seus componentes químicos baseiam-se em hidrocarbonetos derivados de ésteres de ácidos graxos. O processo mais comum é a transesterificação de óleos vegetais e gorduras animais.

O biodiesel obtido a partir de gordura animal ou óleos vegetais, pode ser usado em motores à diesel como combustível único ou como uma mistura diesel – biodiesel, requerendo pequenas ou nenhuma modificação no motor<sup>10</sup>. Além disso, estudos mostram que a redução da emissão de CO, hidrocarbonetos não queimados e partículas nocivas à saúde podem ser alcançados usufruindo destes combustíveis renováveis<sup>11</sup>.

<sup>5</sup> JAYARAMANA; IBRAHIMB, D.; GUATC, C. L. Managerial optimism to overcome economic recession in the world. **Procedia Social and Behavioral Sciences**, v. 24, p. 32 – 48, 2011.

<sup>6</sup> AGENCY, I. E. **World Energy Outlook, 2018**. Paris: [s.n.], 2018.

<sup>7</sup> AGARWAL, A.; SINHA, S. Experimental Investigation of Control of Nox Emissions in Biodiesel-Fuelled Compression Ignition Engine. **Renewable Energy**, v. 31, 2006.

<sup>8</sup> ENCARNACÃO, A. P. G. **Geração de Biodiesel pelos processos de transesterificação e hidroesterrificação**: Uma avaliação econômica. 2007. Dissertação (Dissertação de Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) — UFRJ.

<sup>9</sup> BAROUTIAN, S. et al. Blended aviation biofuel from esterified Jatropha curcas and waste vegetable oils. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, v. 44, n. 6, p. 911 – 916, 2013.

<sup>10</sup> PUERTA, M. L.; ARMAS, O.; RODRIGUEZ-FERNANDEZ, J. Effect to biodiesel fuels on diesel engine emissions. **Prog Energy Combust Sci**. 2008.

<sup>11</sup> D-ZHEN, H. L. et al. Physico-chemical properties of ethanol–diesel blend fuel and its effect to

O diesel de origem vegetal ou animal, é um dos biocombustíveis mais utilizados mundialmente no setor de transporte, compondo a mistura de diesel<sup>12</sup>. O Brasil, por sua vez, tem outro destaque na aplicação de biocombustíveis. Desde o Programa Nacional do Álcool (PROÁLCOOL) criado em 1975. Atualmente, é um dos maiores produtores de etanol o que impulsiona as pesquisas voltadas à utilização desse combustível, que também provém de recursos renováveis, e tem aplicação tanto para geração de energia quanto no setor de transporte. Estudos já analisam misturas de etanol e biodiesel. Testes demonstram que na mistura etanol-biodiesel tem-se um equilíbrio de densidade entre os mesmos, melhorando a injeção de combustível, pois o etanol de baixa densidade se adequa à alta densidade do biodiesel. Pode-se dizer que o etanol atua como um aditivo de inverno ao biodiesel, melhorando ponto de enchimento do filtro frio e fluidez<sup>13</sup>.

O biodiesel, integralmente ou em misturas, é uma alternativa viável, se atendidas às recomendações técnicas da ANP para os combustíveis de motores estacionários. O biodiesel leve, mistura de ésteres, usualmente metílicos, de ácidos graxos de cadeia molecular relativamente curta (C8 a C14), embora tenha natureza química essencialmente diferente da mistura parafínica do querosene de aviação, por exemplo, pode ser imaginado, e efetivamente usado, como combustível para motores<sup>14</sup>.

No setor dos transportes, há trabalhos publicados na literatura, tanto com veículos leves como carros de passageiro típicos, quanto em veículos pesados como ônibus e caminhões<sup>15</sup>. Em ambos os casos citados, as pesquisas concluem que motores diesel abastecidos com misturas de biodiesel geralmente produzem menores emissões de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e material particulado (MP), e maiores emissões de óxido nítrico (NO), dióxido nítrico (NO<sub>2</sub>), além de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, causadores de câncer.

No setor da energia, a literatura apresenta resultados tanto em geradores quanto em caldeiras. Como exemplo de estudo relacionado ao comportamento da combustão do biodiesel em caldeira, Ghorbani e colaboradores compararam a combustão de B5, B10, B20, B50, B80 e B100 com o diesel fóssil para diferentes fluxos de ar de entrada em dois níveis de energia em uma caldeira experimental, em termos de eficiência de

performance and emissions of diesel engines. **Renewable Energy**, 2005.

<sup>12</sup> SERRANO-RUIZ, J. C.; RAMOS-FERNÁNDEZ, E. V.; SEPÚLVEDA-ESCRIBANO, A. From biodiesel and bioethanol to liquid hydrocarbon fuels: new hydrotreating and advanced microbial technologies. **Energy & Environmental Science**, v. 5, p. 5638 – 5652, 2012.

<sup>13</sup> MAZIERO, J. V. G. et al. Avaliação do desempenho de um motor de ignição por compressão utilizando óleo diesel e éster etílico de óleo de girassol como combustível. In: UFLA (Ed.). **CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL**. [S.l.: s.n.], 2005.

<sup>14</sup> OLIVEIRA, V. F. et al. Short-chain esters enriched biofuel obtained from vegetable oil using molecular distillation. **Canadian Journal of Chemical Engineering**, v. 96, n. 5, p. 1071 – 1078, 2018.

<sup>15</sup> SERRANO, L. M. V. et al. Performance Study about Biodiesel Impact on Buses Engines Using Dynamometer Tests and Fleet Consumption Data. **Energy Conversion and Management**, v. 60, p. 2 – 9, 2012.

combustão e das emissões<sup>16</sup>.

Em um estudo, Wardle (2003)<sup>17</sup> reporta a viabilidade técnica do biodiesel adicionado em baixas concentrações na composição de misturas com o querosene mineral. O autor também cita o biodiesel como um dos biocombustíveis mais utilizados mundialmente no setor de transporte, compondo a mistura de diesel, apresenta características semelhantes a faixa da moléculas de carbono presente no querosene fóssil, quando obtido de fonte oleaginosa rica em ácidos graxos de cadeia molecular curta, entre 8 a 14 carbonos.

Em tempos atuais, uma alternativa que tem se mostrado como grande tendência mundial é a geração distribuída, por meio da construção de pequenas centrais de geração em locais próximos à carga, dispensando a construção de extensas linhas de transmissão, o que reduz custos e perdas de energia. Isso é feito por meio de unidades geradoras de pequeno ou médio porte, distribuídas ao longo do SIN. Essas pequenas unidades geradoras também podem também ser usadas para fornecer eletricidade a comunidades isoladas, distantes dos centros de carga e não conectadas ao sistema elétrico interligado.

Aprofundando na alternativa de utilização do biodiesel para gerar energia elétrica distribuída, temos os mesmos motores diesel usados em veículos automotivos podendo ser acoplado a geradores de eletricidade. A queima do combustível no motor produz a energia mecânica que será transmitida ao gerador e convertida em energia elétrica. Existem para essa finalidade os chamados grupos geradores. Esses equipamentos, também conhecidos como grupo motor-gerador são dispositivos eletromecânicos usados para a produção autônoma de energia elétrica, constituída essencialmente de um motor de combustão interna – geralmente um motor diesel, um gerador e uma unidade de supervisão e controle. Pode-se usar então o biodiesel como combustível nos grupos geradores em sistemas de geração distribuída, seja em sistemas isolados ou conectada ao sistema interligado<sup>18</sup>.

A entrada de grupos geradores conectados ao sistema é uma solução rápida e descentralizada para a expansão da capacidade de geração, além de ser um fator de aumento de confiabilidade do sistema elétrico brasileiro<sup>19</sup>.

Eis, pois, os propósitos do presente trabalho: Será apresentado os testes realizados em um grupo gerador abastecido exclusivamente com biodiesel. Serão monitorados o desempenho energético, consumo de combustível e analisada a viabilidade

<sup>16</sup> GHORBANI, A. et al. Comparative Study of Combustion Performance and Emission of Biodiesel Blends and Diesel in an Experimental Boiler. **Applied Energy**, v. 88, n. 12, p. 4725 – 4732, 2011.

<sup>17</sup> WARDLE, D. A. Global sale of green air travel supported using biodiesel, Renewable and Sustainable. **Energy Reviews**, v. 7, n. 1, p. 1 – 64, 2003.

<sup>18</sup> HADDAD, J.; LORA, E. E. S. **Geração Distribuída**: Aspectos Tecnológicos, Ambientais e Institucionais. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2006.

<sup>19</sup> SERRANO, L. M. V. et al. Performance Study about Biodiesel Impact on Buses Engines Using Dynamometer Tests and Fleet Consumption Data. **Energy Conversion and Management**, v. 60, p. 2 – 9, 2012.

do sistema como complemento de geração de outras fontes como solar fotovoltaica e armazenamento. A fonte solar fotovoltaica, apesar de já estar consolidada na matriz, se apresenta como uma fonte despachável, porém intermitente, fator esse que abre espaço para o conceito em validação deste trabalho, o qual consiste em garantir um despacho de energia “*flat*”, contínuo e de qualidade para o sistema elétrico de distribuição e os próprios consumidores.

## 2 Revisão Bibliográfica

### 2.1 O óleo diesel

O óleo diesel é um produto abundante obtido a partir do refino do petróleo bruto<sup>1</sup>. Sua composição apresenta, basicamente, hidrocarbonetos (compostos orgânicos que contêm átomos de carbono e hidrogênio) e, em baixas concentrações, enxofre, nitrogênio e oxigênio. É um produto inflamável, com nível médio de toxicidade, pouco volátil, sem material em suspensão, límpido, com cheiro forte e característico. O óleo diesel é utilizado em motores de combustão interna e ignição por compressão (motores do ciclo diesel) empregados nas mais diversas aplicações, tais como: automóveis, furgões, ônibus, caminhões, pequenas embarcações marítimas, máquinas de grande porte, locomotivas, navios e aplicações estacionárias como geradores elétricos, por exemplo.

Durante os últimos 25 anos o consumo de diesel aumentou de forma significativa em todo o mundo. Esse aumento ocorreu de forma constante e foi causado pelo aumento nos padrões de vida, aumento nos transportes terrestres, aumento do uso de petroquímicos especialmente o plástico<sup>2</sup>. Atualmente, o setor de transportes é quase em sua totalidade dependente do petróleo e seus derivados. Um quinto das emissões globais de CO<sub>2</sub> é gerado em função dos transportes, setor esse responsável por 60% do consumo global de petróleo. No final da década de 2000 estimou-se 806 milhões de carros e caminhões leves no mundo, e a projeção para 2030 é de 1,3 bilhões<sup>3</sup>.

Este crescimento influencia negativamente na estabilidade dos ecossistemas e do clima global, sem contar com as reservas do próprio petróleo, que são esgotáveis devido ao tempo que se leva até a sua recomposição<sup>4</sup>. Hoje, já existem programas e diversos trabalhos publicados com o intuito de reduzir a dependência dos combustíveis fósseis pelo uso de fontes alternativas de energia sustentável e, assim prolongar o tempo que as reservas de combustíveis fósseis perdurarão no planeta<sup>5</sup>.

#### 2.1.1 Como é produzido

Na etapa de o refino do petróleo, por meio do processo de destilação fracionada, são obtidas frações chamadas de óleo diesel leve e pesado, ambas essenciais para a produção do óleo diesel. A elevadas temperaturas, entre 250 °C e 350 °C podem ser

<sup>1</sup> TRANSPORTES, C. N. D. **Os impactos da má qualidade do óleo diesel brasileiro**. Brasília, 2012.

<sup>2</sup> BALAT, M. Political, economic and environmental impacts of biomass-based hydrogen. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 34, n. 9, p. 3589 – 3603, 2009.

<sup>3</sup> BALAT, M.; BALAT, H. Progress in Biodiesel processing. **Applied Energy**, v. 87, n. 6, p. 1815 – 1835, 2010.

<sup>4</sup> BALAT, M.; BALAT, H. Recent trends in global production and utilization of bioethanol fuel. **Applied Energy**, v. 86, n. 11, p. 22273 – 2282, 2009.

<sup>5</sup> NAMASIVAYAM, A. M. et al. Biodiesel, emulsified biodiesel and dimethyl ether as pilot fuels for natural gas fuelled engines. **Applied Energy**, v. 87, n. 3, p. 769 – 778, 2010.

associadas outras frações, como a nafta, o querosene e o gasóleo leve. É a proporção desses componentes que permite enquadrar o produto final em especificações previamente definidas, a fim de favorecer o bom desempenho do produto, minimizando o desgaste prematuro dos motores, e manter a emissão de poluentes, gerados na queima do produto, em níveis toleráveis.

A nível de exemplificação, frações com densidade, peso molecular e temperatura de ebulação relativamente menores, entre 20 °C e 120 °C, temos como produtos finais a fabricação de alguns produtos químicos, e a gasolina para veículos leves. Já frações com densidade, peso molecular e temperaturas mais altas, obtém-se produtos finais o alcatrão, utilizado em asfaltos, e combustíveis náuticos e de aviação<sup>6</sup>.

### 2.1.2 Exigências para o óleo diesel

O óleo diesel é produzido a partir de requisitos específicos de qualidade. Tais requisitos visam garantir que o produto permita o bom funcionamento dos motores, mantendo um baixo nível de emissão de poluentes. A ANP especifica as características que determinam a qualidade do óleo diesel. O quadro a seguir apresenta um resumo com a descrição das principais características a serem observadas no óleo diesel e o modo com que afetam o funcionamento do motor. Na Tabela 1 estão dispostas as principais:

**Tabela 1 – Características do diesel de acordo com a ANP e ASTM**

Característica	Especificação	Influência no motor
Límpido e isento de impurezas	Aspecto	Reduz vida útil nos filtros
Cor, max.	3,0	Contaminação no processo produtivo
Densidade, 20 °C, kg/m <sup>3</sup>	820 - 880	Variação no balanceamento e mistura de ar e combustível
% de água e sedimentos, max.	500 ppm	Prejudiciais à combusão do combustível

Adaptado das normas ANP e ASTM

<sup>6</sup> AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Estabelece as especificações do óleo diesel de uso rodoviário e as obrigações quanto ao controle da qualidade a serem atendidas em todo o território nacional. **RESOLUÇÃO ANP Nº 50**, 23 de dezembro de 2013.

### 2.1.3 Classificações do óleo diesel

O óleo diesel é o derivado de petróleo mais consumido no Brasil em função da predominância do transporte rodoviário, tanto de passageiros quanto de cargas. Pode ser comercializado como rodoviário ou marítimo, dependendo da sua aplicação. No Brasil, conforme o artigo 2º da Resolução n. 42, de 16 de dezembro de 2009, da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Bicombustíveis (ANP), os óleos diesel de uso rodoviário classificam-se em:

- Óleo diesel A (mediante pedido específico): combustível produzido por processos de refino de petróleo destinado a veículos dotados de motores Diesel, de uso rodoviário, sem adição de biodiesel.
- Óleo diesel B: combustível produzido por processos de refino de petróleo e processamento de gás natural destinado a veículos dotados de motores do ciclo Diesel, de uso rodoviário, com adição de biodiesel no teor estabelecido pela legislação vigente.

O óleo diesel com adição de biodiesel é conhecido mundialmente pela letra B, mas o número correspondente à quantidade de biodiesel adicionado à mistura. Por exemplo, B2, B5, B20 e B100 são combustíveis com uma concentração de 2%, 5%, 20% e 100% de biodiesel, respectivamente.

### 2.1.4 Problemas com o óleo diesel

Os principais problemas do óleo diesel estão relacionados ao alto teor de enxofre, à adulteração do óleo diesel e à degradabilidade do óleo diesel sobre a adição de biodiesel. Conhecer estes problemas e saber como mitigá-los é de fundamental importância.

Um dos problemas mais críticos relacionados à utilização do óleo diesel como combustível é o teor de enxofre (S) nele contido. O diesel é constituído pela mistura de gasóleos, querosene e nafta, entre outros elementos químicos<sup>7</sup>. Por isso, contém hidrocarbonetos, nitrogênio e enxofre. O enxofre é um elemento químico indesejável para o meio ambiente e para os motores diesel. Durante a combustão, o tri óxido de enxofre, ao se juntar à água, forma o ácido sulfúrico, que corrói partes metálicas do motor, como mancais, guias de válvulas etc. Se a concentração desse elemento for elevada, as emissões de material particulado também serão elevadas, assim como as emissões de poluentes primários como SO<sub>2</sub> e SO<sub>3</sub>, afetando inclusive a saúde humana.

Quanto ao diesel adulterado, refere-se o diesel que teve suas características alteradas intencionalmente, com o intuito de fraudar o consumidor. O diesel pode ser

<sup>7</sup> AGENCY, I. E. **World Energy Outlook, 2018**. Paris: [s.n.], 2018.

adulterado com a adição de álcool, solventes, querosene e até mesmo pela adição de água. O uso de combustível adulterado traz inúmeros prejuízos financeiros e ambientais, uma vez que corrói peças essenciais ao bom funcionamento do motor do veículo, podendo ocasionar problemas como aumento no consumo, perda no rendimento, entupimentos e falhas na bomba de combustível; além de emitir maiores índices de poluentes. Na tentativa de solucionar os problemas, as distribuidoras de petróleo contam com programas de acompanhamento e controle dos produtos oferecidos nas redes credenciadas. Esses programas visam garantir que o consumidor final pague um preço justo por um produto de qualidade, minimizando os riscos de se adquirir combustíveis adulterados.

Dentre os combustíveis derivados de petróleo, o diesel é um dos mais suscetíveis à presença de sedimentos de origem biológica e química, e a adição do biodiesel agrava mais essa condição. Estudos demonstram que quanto maior o teor de biodiesel, maior será a biodegradabilidade, que ocasionará alteração nas propriedades físicas e químicas, com a produção de sólidos visíveis caso não seja consumido. Apesar disso já existem trabalho que concluem benefícios da adição do biodiesel como redução das emissões veiculares e aumento da lubrificação de peças móveis do motor. Em (Habibullah, 2014) relata-se que a eficiência térmica do diesel B é ligeiramente maior do que o diesel A para altas cargas<sup>8</sup>, já (Paulo, 2013) afirma que a eficiência térmica é crescente com o aumento de biodiesel de B0 a B20, e decrescente nas adições de maior porcentagem. O mesmo autor observou que menos combustível é necessário para a mesma potência quando biodiesel é usado no lugar do diesel em até 20% em volume<sup>9</sup>.

### 2.1.5 Procedimentos para manter a qualidade do diesel B

Desde a adição obrigatória do biodiesel ao diesel, detalhada na sessão 2.2.3 deste trabalho, o mercado tem reportado problemas relacionados à mistura, que se intensificaram quando houve a adição de 5% de biodiesel ao diesel35. Dentre os principais problemas estão o entupimento de filtros, o surgimento de borras, a proliferação de bactérias e a necessidade de manutenções mais frequentes, além da degradação acelerada do combustível.

Na tabela 2 estão dispostos os procedimentos para prevenir a degradação do óleo diesel B, alguns procedimentos são altamente recomendados em todas as etapas do transporte, recebimento, armazenamento, como a presença de extintores, e sinalizações de segurança limitando o trabalho ou acesso, somente a pessoas

<sup>8</sup> HABIBULLAH, M. et al. Biodiesel Production and Performance Evaluation of Coconut, Palm and Their Comined Blend with Diesel in a Singer-Cylinder Engine. **Energy Conversion and Management**, v. 87, 2014.

<sup>9</sup> PAULO, A. A. et al. Performance and emission evaluations in a power generator fuelled with Brazilian diesel and additions of waste frying oil biodiesel. **Applied Thermal Engineering**, v. 98, 2016.

autorizadas.

**Tabela 2 – Procedimentos a serem adotados para prevenção da degradação do diesel B**

Etapa	Procedimento
Fabricação	A Resolução n° 07/2008, da ANP36, o óleo diesel B deve sair da usina com um máximo de 500 (ppm) partes por milhão de volume de água dissolvida
Transporte	O tanque do caminhão, trem, balsa ou navio que transporta combustível requer atenção especial e precisa estar totalmente limpo, tanto externa quanto internamente. Isso é imprescindível para que não haja riscos de contaminação, vazamento ou derramamento do produto
Descarga	O caminhão precisa ficar parado, pelo menos, por cinco minutos antes de iniciar a operação de descarga. Esse tempo de repouso é necessário para que a água ou outras impurezas existentes sejam depositadas no fundo do tanque e removidas por uma etapa de drenagem
Recebimento	Uma inspeção visual no combustível é importante no momento do recebimento. Conforme orientação da Resolução n° 42/1999 da ANP, assim que o caminhão-tanque chegar, deve ser retirada uma amostra de 0,9 litros do óleo diesel B, coletada diretamente do tanque em uma proveta de vidro transparente de 1 litro, a fim de verificar se há impurezas como água e material estranho
Armazenamento	Recomenda-se que o óleo seja estocado por no máximo, um mês, evitando a presença do combustível velho
Abastecimento	Efetuar a limpeza ou troca do tanque em veículos e grupos geradores antigos, pois o óleo diesel B pode acumular impurezas

Adaptado de ANP, 2015

## 2.2 O Biodiesel

O biodiesel é um biocombustível composto de mono-alquil-ésteres de ácidos graxos de cadeia longa, podendo conter ou não duplas ligações, derivados de fontes renováveis, como óleos vegetais e gorduras animais, sendo possível também obter o biodiesel a partir de óleo ou gordura usadas. Independente da matéria-prima, o processo de obtenção mais comum é o da reação de transesterificação com um álcool de cadeia curta na presença de catalisador, obtendo-se subprodutos, como por exemplo a glicerina<sup>10</sup>. A ANP por meio do Regulamento Técnico n° 07/2008, traz um conceito

<sup>10</sup> AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Resolução ANP N° 37. Brasília, 28 de agosto de 2015. Disponível em: <http://legislacao.anp.gov.br/?path=legislacao-anp/resol-anp/2015/agosto&item=ramp-37--2015>.

bastante similar definindo o biodiesel como sendo um “combustível composto de alquil ésteres de ácidos graxos oriundos de óleos vegetais ou gorduras animais, designado por B100 (biodiesel puro)” ou ainda pode ser definido como: “Biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores de 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” (Lei 11.097/2005).

Na prática, tem-se o biodiesel como combustível que possa substituir, parcial ou totalmente, o óleo diesel de origem fóssil em motores de ciclo diesel automotivos e estacionários<sup>11</sup>.

O biodiesel compõe, junto com o etanol, importante oferta para o segmento de combustíveis. Ambos são biocombustíveis por serem derivados de biomassa (matéria orgânica de origem vegetal ou animal, que pode ser utilizada para a produção de energia), menos poluentes e renováveis<sup>12</sup>.

### 2.2.1 O histórico do biodiesel

O biodiesel foi produzido pela primeira vez em 1853, pelos cientistas E. Duffy e J. Patrick, muitos anos antes do motor de ciclo diesel entrar em funcionamento. A criação do primeiro modelo do motor a diesel que funcionou de forma eficiente data do dia 10 de agosto de 1893<sup>13</sup>. Projeto conduzido por Rudolf Diesel, em Augsburg, Alemanha, e por isso recebeu este nome. Alguns anos depois, o motor foi apresentado oficialmente na Feira Mundial de Paris, França, em 1898.

O combustível então utilizado era o óleo de amendoim, um tipo de biocombustível obtido pelo processo de transesterificação. Entre 1911 e 1912, Rudolf Diesel fez a seguinte afirmação: “O uso de óleos vegetais como combustível pode parecer insignificante hoje em dia. Mas com o tempo irão se tornar tão importante quanto o petróleo e o carvão são atualmente”<sup>14</sup>.

Na década de 30, intensificou-se as pesquisas de combustíveis a base de óleos vegetais, época de diversos conflitos econômicos que abalaram o mundo<sup>15</sup>. Um desses importantes avanços tecnológicos foi a transesterificação de triglicerídeos via rotas metílica e etílica, cuja patente “*Procédé de transformation d’huiles végétales en vue de leur utilisation comme carburants*” foi requerida pelo belga Charles George Chavanne, em 1937. O objetivo desta patente era transformar o óleo vegetal em éster

<sup>11</sup> MARTINS, D. **Relatório interno PET-COPPE-UFRJ**: Rio de Janeiro. [S.I.], 2006.

<sup>12</sup> SHARMA, Y. C.; SINGH, B.; UPADHYAY, S. N. Advancements in development and characterization of biodiesel: A review. **Fuel**, v. 87, n. 12, p. 2355 – 2373, 2008.

<sup>13</sup> RAMOS, L. P. et al. Biodiesel: Um Projeto de sustentabilidade econômica e sócio-ambiental para o Brasil. **Revista Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, v. 31, p. 29 –, 2003.

<sup>14</sup> ALTIN, R.; ÇETINKAYA, S.; YUCESU, H. S. The potential of using vegetable oil fuels as fuel for diesel engines. **Energy Conversion and Management**, v. 42, n. 5, p. 529 – 238, 2001.

<sup>15</sup> DABDOUB, M.; BRONZEL, J.; RAMPIM, M. Biodiesel: visão crítica do status atual e perspectivas na academia e na indústria. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p. 776 – 779, 2009.

(metílico/etílico) de ácidos graxos de cadeia longa, para aproveitá-lo como insumo energético nos motores diesel.

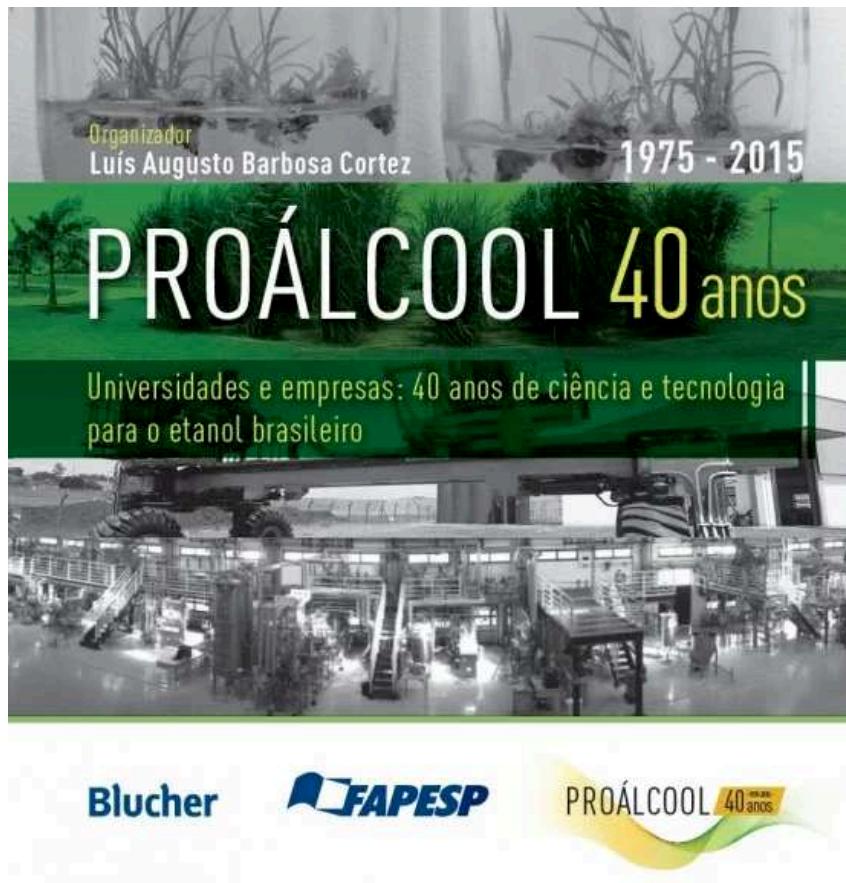
Seguindo a linha do tempo, na década de 40, houve uso do óleo vegetal transsesterificado para abastecimento de veículos pesados na África do Sul, antes da Segunda Guerra Mundial. O processo chamou a atenção de pesquisadores norte-americanos durante a década de 40, quando buscavam uma maneira mais rápida de produzir glicerina para alimentar bombas, no período de guerra<sup>16</sup>.

No Brasil, o pioneiro do uso de biocombustíveis foram as Indústrias Matarazzo, nos anos 60. A empresa buscava produzir óleo através dos grãos de café. Para lavar o café de forma a retirar suas impurezas, impróprias para o consumo humano, foi usado o álcool da cana de açúcar. A reação entre o álcool e o óleo de café resultou na liberação de glicerina, resultando em éster etílico, produto que hoje é conhecido como biodiesel<sup>17</sup>. Após esse período os biocombustíveis foram incentivados no Brasil através de alguns programas, como o recente Renovabio, de 2019, o Programa Nacional de Produção de Biodiesel (PNPB) de 2003, e o Proálcool, de 1975, implementado em função do choque do petróleo. A Figura 1 mostra o livro laçado e realizado em comemoração aos 40 anos do lançamento do Proálcool.

<sup>16</sup> PARENTE, E. J. S. Biodiesel: uma aventura tecnológica num país engraçado. In: **Fortaleza**. [S.l.: s.n.], 2003. p. 70 – 81.

<sup>17</sup> PARENTE, E. J. S. Biodiesel: uma aventura tecnológica num país engraçado. In: **Fortaleza**. [S.l.: s.n.], 2003. p. 70 – 81.

Figura 1 – Livro sobre o programa Proálcool, 2015



## 2.2.2 Os programas de incentivo aos biocombustíveis

A busca bibliográfica realizada sobre a produção de biodiesel no Brasil, especificamente contida no PNPB - Programa Nacional de Produção de Biodiesel, revela que as pesquisas sobre o biodiesel têm sido desenvolvidas no país há quase meio século<sup>18</sup>. Em 1980 foi assinada a primeira patente brasileira de biodiesel, denominada inicialmente “Pro diesel”, em Fortaleza, pelo professor Expedito Parente. A pesquisa se iniciou na década de 70 a partir de diferentes óleos vegetais como soja, babaçu, amendoim, algodão e girassol, na Universidade Federal do Ceará. A proposta se baseava em usar um catalisador básico ou ácido para produzir o biodiesel.

Desde então o Brasil passou a possuir grande destaque na produção de combustíveis a partir da biomassa. O Proálcool, estabelecido em 1975, é apontado como um grande sucesso com desdobramentos sociais, ambientais e econômicos para o setor de transportes<sup>19</sup>. Durante a implantação do Proálcool, foi criado em sinergia o Pró-óleo (Programa Nacional de Produção de Óleos Vegetais para Fins Energéticos), através do Conselho Nacional de Energia e um outro programa, denominado Programa

<sup>18</sup> PARENTE, E. J. S. Biodiesel: uma aventura tecnológica num país engraçado. In: **Fortaleza**. [S.I.: s.n.], 2003. p. 70 – 81.

<sup>19</sup> KNOTHE, G. et al. **Manual de Biodiesel**. Blucher ed. [S.I.], 2006.

OVEG (Programa Nacional de Alternativas Energéticas Renováveis de Origem Vegetal). Esse teve o apoio da Secretaria de Tecnologia Industrial do Ministério da Indústria e Comércio (STI/MIC), na década de 80.

As metas dos programas consistiam no incentivo à produção de óleos vegetais para fins energéticos, a mistura de BX ao óleo diesel até a gradual substituição total do diesel de petróleo pelo diesel vegetal. Inicialmente, deu-se ênfase à produção a partir da soja, pela abundância da cultura no país, posteriormente, empregou-se outras oleaginosas como amendoim, o girassol e o dendê<sup>20</sup>.

Ocorreram incentivos ao desenvolvimento de tecnologias para produção de biodiesel que se intensificaram no início do Proálcool, como forma de reduzir ainda mais o consumo de petróleo. O processo teve seu lado de fracasso por algumas razões, a principal dela sendo o baixo preço do diesel na época, ocasionando na paralisação das atividades, fato esse que difere do cenário atual. O governo retomou interesse pelo biodiesel quando sua produção e consumo tiveram crescimento expressivo Europa. Outro motivo foi a intenção do governo brasileiro em fortalecer a agricultura familiar e assim melhorar a inclusão social, um problema grave no Brasil naquele período<sup>21</sup>.

No início dos anos 2000, foi dado início ao Programa Brasileiro de Biodiesel (Pró biodiesel), uma tentativa de pôr em prática o desenvolvimento sustentável, considerando os aspectos econômicos, sociais e ambientais. Mais precisamente, em 06 de dezembro de 2004 foi lançado oficialmente o PNPB, regulamentado pela Lei nº- 11.097, de 2005<sup>51</sup>. O PNPB é um programa interministerial encarregado de promover estudos em diferentes linhas de ação sobre a viabilidade de utilização de óleos vegetais para fins energéticos. O objetivo principal, dentre outros, visa implantar um desenvolvimento sustentável promovendo a inclusão social.

A Lei 11.097/2005, estabelece a obrigatoriedade da adição de uma porcentagem de biodiesel ao óleo diesel comercializado em qualquer parte do território brasileiro<sup>22</sup>. O PNPB visa integrar os agricultores familiares ao fornecimento de insumos para a produção de biodiesel contribuindo para a equidade social e promovendo geração de renda. Comprovação da inclusão social foi a criação do Selo Combustível Social, concedido pelo Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA) aos produtores de biodiesel que tem a intenção de inclusão social e desenvolvimento regional, por meio da geração de novos empregos. O selo garante ás usinas benefícios tributários, acesso à melhores condições de financiamento e o direito a participar dos leilões de biodiesel, que hoje ocorrem bimestralmente, em troca do fornecimento de capacitação e assistência

<sup>20</sup> SILVA, T. O. M. D. **Síntese e caracterização de biocombustíveis obtidos a Partir do arroz e seus derivados**. 2008. Dissertação (Mestrado) — Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

<sup>21</sup> SILVA, T. O. M. D. **Síntese e caracterização de biocombustíveis obtidos a Partir do arroz e seus derivados**. 2008. Dissertação (Mestrado) — Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

<sup>22</sup> MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. Disponível em: <http://www.mme.gov.br>. Acesso em: 02 de setembro de 2019.

técnica aos agricultores familiares<sup>23</sup>.

A área total plantada necessária para atender ao percentual inicial de mistura B2 foi estimada em 1,5 milhão de hectares, o que equivale a 1% dos 150 milhões de hectares disponíveis para agricultura no Brasil, reitera-se aqui área disponível excluindo as regiões ocupadas por pastagens e florestas. As políticas do biodiesel flexibilizam a produção a partir de diferentes oleaginosas e rotas tecnológicas, possibilitando assim, a participação do agronegócio familiar<sup>24</sup>.

A cadeia produtiva do biodiesel, contemplando tanto o cultivo de insumos quanto a produção industrial da comoditie, tem grande potencial de geração de empregos, fator que está alinhado com os objetivos dos programas promovendo inclusão social<sup>25</sup>.

### 2.2.3 Caracterização do biodiesel

O biodiesel apresenta uma série de vantagens quando comparado ao diesel de origem fóssil tais como: é praticamente livre de enxofre, não possui compostos aromáticos, tem médios teores de oxigênio, alta lubricidade, elevado ponto de fulgor ( $> 130^{\circ}\text{C}$ ), apresenta baixo risco de explosão facilitando o transporte e armazenamento, não é tóxico, é biodegradável, proveniente de fontes renováveis, sua queima emite menos material particulado – MP (48%), hidrocarbonetos – HC (67%), monóxido de carbono – CO (48%), dióxido de carbono – CO<sub>2</sub> (80%), óxido de enxofre – SOx (100%), e, portanto, é menos poluente que o diesel fóssil<sup>26</sup>, além de possibilitar geração de empregos como apresentado no item anterior, o uso de créditos de carbono e, consequentemente, apresentar um alto potencial de geração de renda<sup>27</sup>.

O biodiesel proporciona redução das emissões de particulados totais quando utilizados como combustível de motores. Essas partículas emitidas podem ser encontradas na forma de materiais condensados ou em estado sólido coletados em filtro, o material encontrado nos filtro incluem fumaça, combustível, derivados de óleos lubrificantes e aerossóis contendo ácido sulfúrico<sup>28</sup>.

Em complemento ao primeiro Marco Regulatório do Biodiesel no Brasil, que ocorreu em 2005, com a Lei nº 11.097/2005, oriunda da Medida Provisória 214/2004, lei que modificava a lei do Petróleo e previa a fixação de prazos para adição do biodiesel ao “petrodiesel” em percentuais mínimos obrigatórios, através de um decreto. No Decreto

<sup>23</sup> CASTELANI, A. C. **Estudo da Viabilidade de Produção do biodiesel, obtido através do óleo de fritura usado.** 2008. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

<sup>24</sup> KNOTHE, G. et al. **Manual de Biodiesel.** Blucher ed. [S.I.], 2006.

<sup>25</sup> KNOTHE, G. et al. **Manual de Biodiesel.** Blucher ed. [S.I.], 2006.

<sup>26</sup> AZEVÉDO, S. H. G. **Extração enzimática de óleo e produção in situ de biodiesel a partir da Moringa oleífera Lam.** 2013. Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

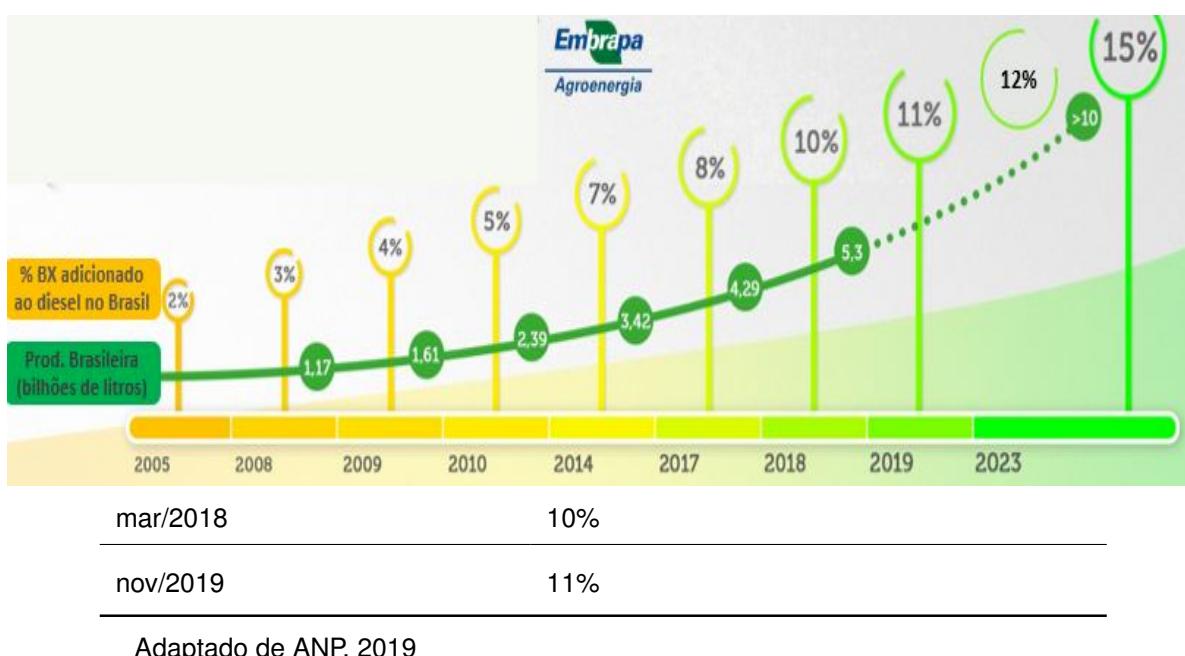
<sup>27</sup> KUSS, V. V. et al. Potential of biodiesel production from palm oil at Brazilian Amazon. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 50, p. 1013 – 1020, 2015.

<sup>28</sup> MCCORMICK, R.; ALLEMAN, T. L. **Emissões de Exaustão. Manual de Biodiesel:** Efeito do biodiesel sobre a emissão de poluentes de motores diesel. Blucher. São Paulo: 1a ed. [S.I.], 2006.

nº 5.448/2005, foi regulamentado a regra de adição que permitiu a comercialização da mistura B2 (2% de biodiesel em 98% do diesel).

Nesse período, medidas complementares foram estabelecidas com o propósito de instituir o modelo de tributação com diferenciação de PIS/PASEP e COFINS. As tais medidas complementares definiam critérios por região e tipo de matéria-prima. Apesar dos esforços com ferramentas jurídicas, o B2 só passou a ser obrigatório em todo território nacional a partir de 2008. Em julho deste ano, o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) aprovou a elevação do percentual para 3% de biodiesel como mistura obrigatória. Em paralelo e nesse mesmo período, ocorreu uma crise mundial de petróleo e os preços se tornaram abusivos, fator que influenciou o Brasil a investir outra vez nas pesquisas de desenvolvimento de biocombustíveis a partir de fontes renováveis. Com o amadurecimento do mercado brasileiro, esse percentual foi sucessivamente ampliado pelo CNPE até o atual percentual de 11,0%, conforme pode ser observado na Tabela 3.

**Tabela 3 – Evolução do percentual de biodiesel presente no diesel no Brasil**



Analisando a Tabela 3, destaca-se que houve um acelerado crescimento do interesse e da produção de biodiesel em todo o mundo, e no Brasil não foi diferente, elevando de modo geral a atenção com os possíveis impactos ao meio ambiente, ao setor econômico e social, sem deixar de lado as questões conflitantes entre “biocombustível versus alimento”. Afim de compensar esses potenciais efeitos, é crucial estabelecer uma visão geral das tendências atuais e futuras do biodiesel no Brasil, incluindo: a caracterização da cadeia de produção, os principais impactos e as notar políticas vigentes, além de impor novos padrões e certificações, melhorar o monitoramento de usinas, distribuidoras e postos de combustíveis, como por exemplo a nova regra da

ANP que passará a exigir a discriminação da porcentagem de BX em notas fiscais para ajudar na avaliação e desenvolvimento da sustentabilidade do biodiesel<sup>29</sup>.

O Brasil possui uma ampla extensão territorial se destacando dentre vários outros países do mundo por ter solo e clima favoráveis à produção de biodiesel a partir de uma vasta quantidade de óleos vegetais. Nesta variedade de sementes oleaginosas adaptadas às diversas condições climáticas do país elucidam-se as culturas cultivadas e empregadas para este fim: o girassol, a soja, a canola, o algodão, o amendoim, o babaçu, o óleo de palma (dendê), o gergelim, a mamona, a macaúba, o pinhão-manso, o abacate, o linho, o nabo-forrageiro e o pequi. Vale ressaltar, que alguns destes são de safra temporária, como a soja, canola, amendoim e girassol. Já outras espécies vegetais oleaginosas são culturas permanentes, no caso, a palma, a macaúba, o babaçu, o buriti, o pequi e o abacate<sup>30</sup>. A produtividade de cada espécie varia de acordo com o teor de óleo presente na oleaginosa e o rendimento de óleo por hectare, conforme mostra a Tabela 4.

O cenário brasileiro de produção de biodiesel atual a partir dos cultivos de grãos, amêndoas e sementes oleaginosas, já considerando aqui a parcela proveniente de gordura de origem animal, é ilustrado pela Figura 2:

<sup>29</sup> ANTONIASSI, R.; FREITAS, S. C. **Processamento. AGEITEC - Agência Embrapa de Informação Tecnológica.** 2019. Disponível em: [http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/tecnologia\\_de\\_alimentos/arvore/](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/tecnologia_de_alimentos/arvore/). Acesso em: 3 setembro de 2019.

<sup>30</sup> UBRABIO. **União Brasileira do Biodiesel e Bioquerosene - Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel.** 2018. Disponível em: <https://ubrablo.com.br/pnpb/>. Acesso em: 22 maio de 2018.

**Tabela 4 – Características das matérias primas oleaginosas brasileiras para produção de biodiesel**

Insumo	Origem	Conteúdo do óleo (%)	Colheita (meses/ano)	Rendimento (t/ha)
Palma	Amêndoas	26	12	3,0 - 6,0
Babaçu	Amêndoas	66	12	0,4 - 0,8
Macaúba	Polpa	20 - 27	5 - 7	4,0 - 6,0
Girassol	Grão	38 - 48	3	0,5 - 1,5
Canola	Grão	40 - 48	3	0,5 - 0,9
Mamona	Grão	43 - 45	3	0,5 - 1,0
Amendoim	Grão	40 - 50	3	0,6 - 0,8
Soja	Grão	18	3	0,2 - 0,6
Algodão	Grão	15	3	0,1 - 0,2
Pinhão Mando	Amêndoas	42	3	0,7

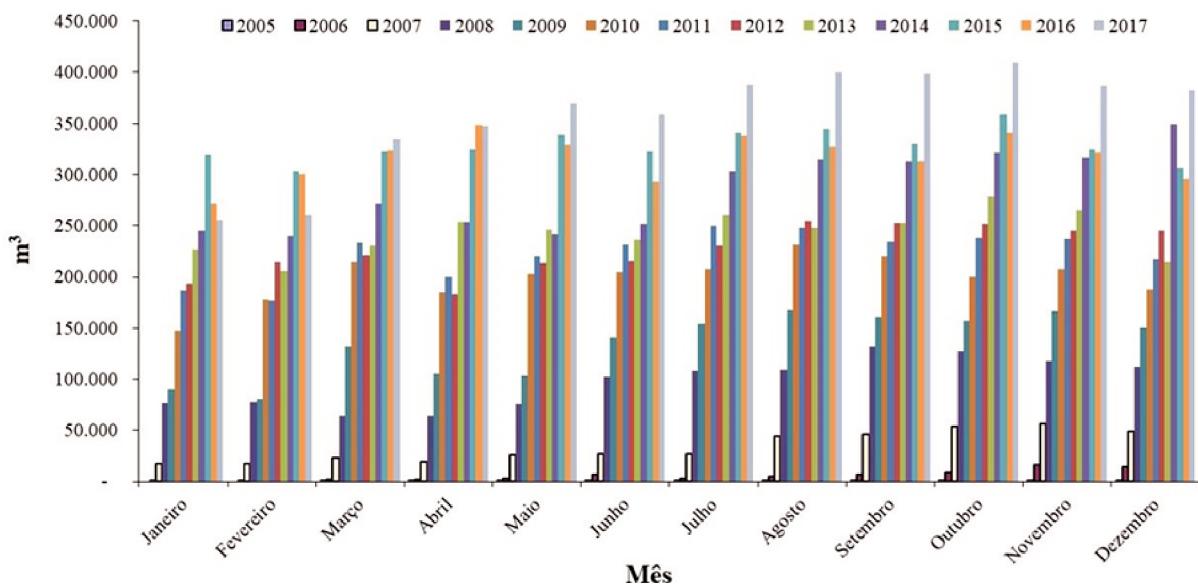
Adaptado de Kuss et al. 2015

**Figura 2 – Insumos utilizados para produção de biodiesel no Brasil**



Um panorama da evolução nacional da produção de biodiesel entre o período de 2005 a 2017 está assinalado pela Figura 3 e Figura 4, onde pode-se verificar uma expansão expressiva no mercado de biodiesel nacional, aumento correspondente a 583% nesse período. Um salto de 736 m<sup>3</sup> para 4.291,30 m<sup>3</sup>(ANP, 2018). O aumento significativo é justificado majoritariamente pelo aumento da mistura do biodiesel ao diesel fóssil, em concordância aos compromissos assumidos pelo governo federal junto as outras nações e organizações internacionais, decorrentes das mudanças climáticas com meta de reduções dos GEE, levando o governo a sancionar medidas legislativas tornando obrigatória a adição do biodiesel no diesel de petróleo em proporções graduais e com prazos previamente estabelecidos, conforme Tabela 3.

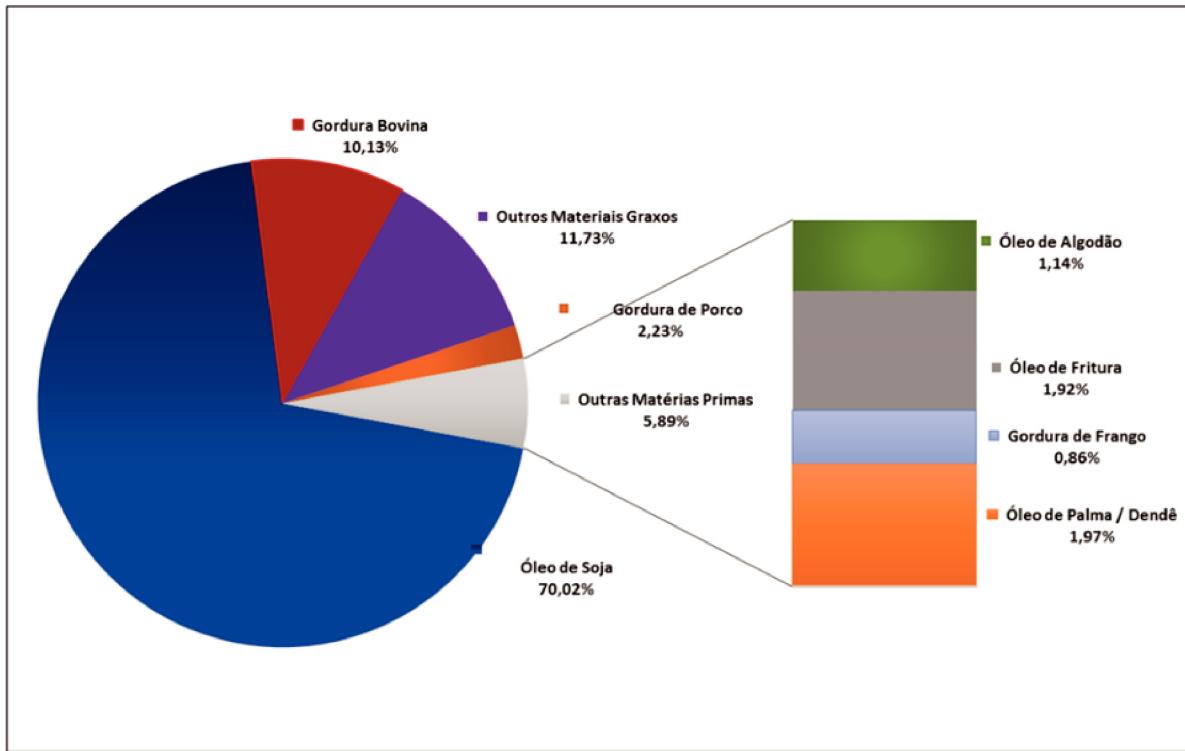
**Figura 3 – Produção do biodiesel mensal no Brasil entre 2005 a 2017**



A Figura 3 mostra o notável aumento de produção no decorrer do período, com estabilização e até queda a partir de alguns meses de 2013 em relação ao ano anterior. Fato justificado com a crise na economia mundial a partir de 2012. Acredita-se que a crise tenha acarretado uma desaceleração em vários setores, e o mercado de produção de biodiesel não foi exceção. Por outro lado, havia pressão por cumprimento das medidas acordadas internacionalmente em torno da redução dos gases de efeito estufa (GEE). Isso é perceptível na Figura 3, especialmente em 2017 comparado aos três últimos anos anteriores.

Com relação as matérias primas utilizadas na produção de biodiesel, desde os primórdios do PNPB a soja é a principal oleaginosa no cenário nacional seguida das gorduras animais, principalmente sebo bovino. Essa predominância é evidenciada na Figura 4, a qual o cenário atual da produção de biodiesel por matéria prima, atualizado em agosto de 2019 pela ANP<sup>31</sup>.

<sup>31</sup> ANP. AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS - BIODIESEL. 2019. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/producao-de-biocombustiveis/biodiesel/informacoes-de->

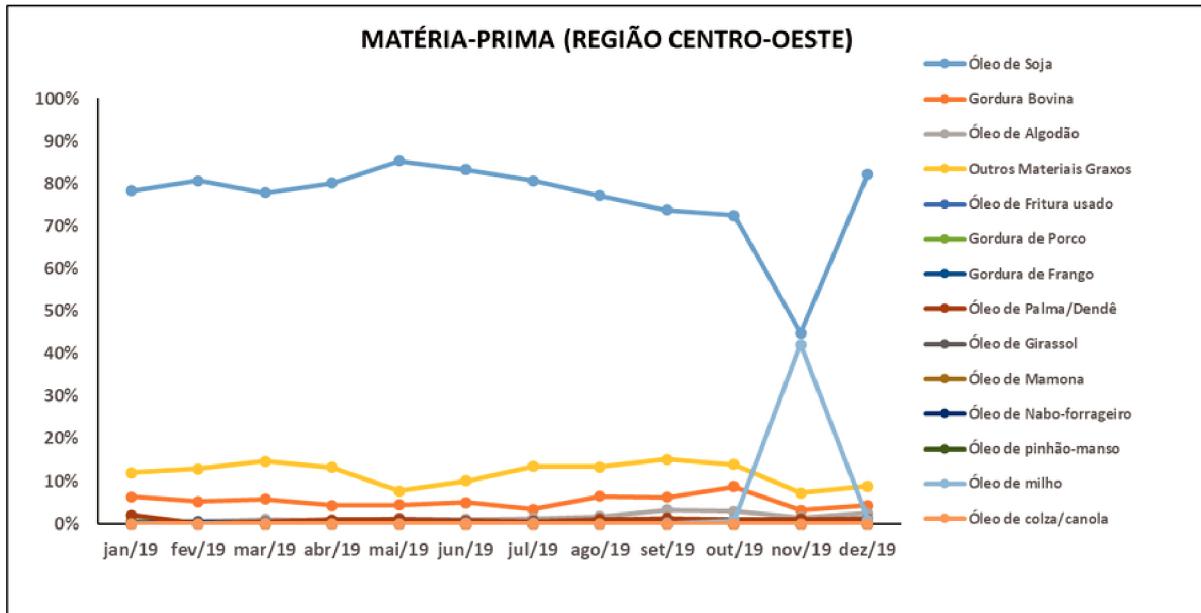
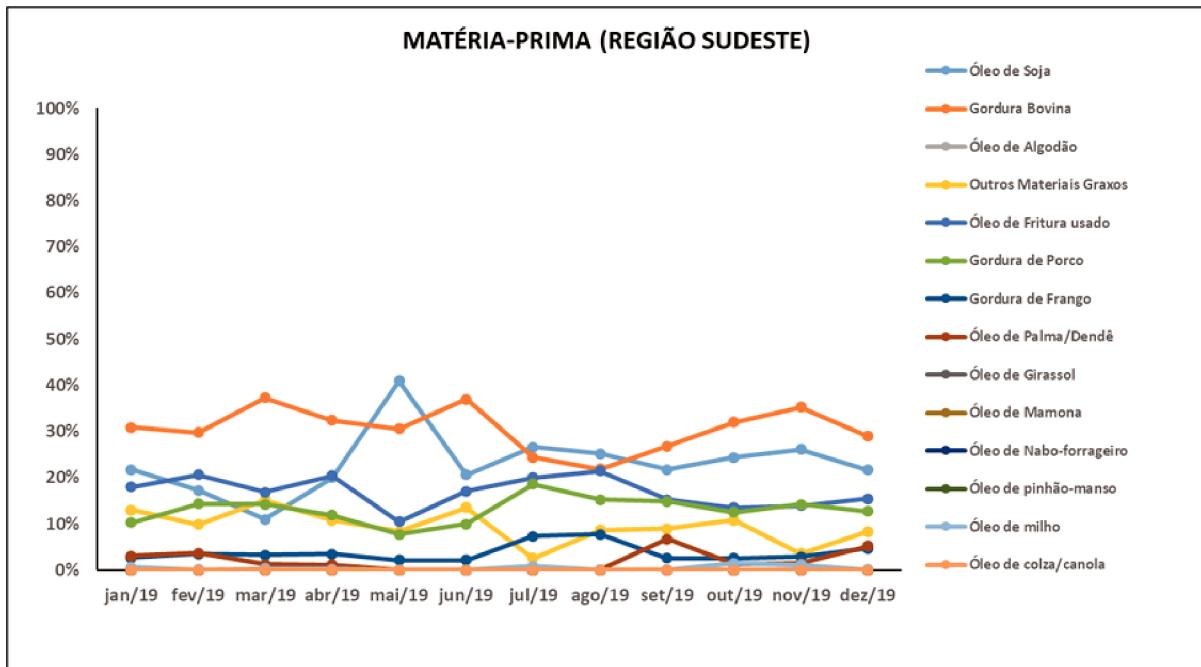
**Figura 4 – Principais matérias primas utilizadas na produção de biodiesel**

É evidente a predominância da soja na Figura 4, contudo outros materiais graxos são relevantes e compõe a mistura de matérias-primas tradicionais em tanque e também em reprocessamento de subprodutos gerados na produção de biodiesel, além do óleo de fritura residual que apresenta tendência de crescimento frente ao algodão que sofreu uma redução de 89,6%, entre 2012 (123. 247 m<sup>3</sup>) e 2019 (12.173 m<sup>3</sup>) demonstrando um declínio acentuado nos quatro últimos anos.

Extrapolando o gráfico por região, demonstrados nas Figura 5 e Figura 6 vemos uma predominância da soja muito grande na região Centro-Oeste do Brasil, região de maior produção. motivo que diferencia essa região, de grande produção, da região de desenvolvimento prático do objeto deste trabalho, região Sudeste.

---

mercado. Acesso em: 20 de setembro de 2019.

**Figura 5 – Percentual de insumos utilizadas para produção de biodiesel região centro-oeste****Figura 6 – Percentual de insumos utilizadas para produção de biodiesel região sudeste**

## 2.3 Propriedades físico-químicas do biodiesel

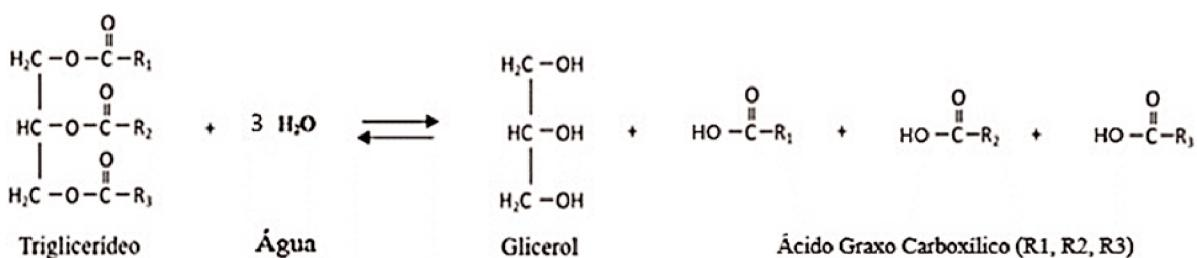
Os principais parâmetros analisados para monitoramento do biocombustível produzido consistem em: Índice de acidez, índice de saponificação, índice de iodo, umidade, densidade e viscosidade<sup>32</sup>, além dos parâmetros geralmente alisados quando o uso é combustível para motores. Todos esses explicitados nos tópicos a seguir

<sup>32</sup> OLIVEIRA, L. B.; COSTA, A. O. **Biodiesel**: uma experiência de desenvolvimento sustentável. Disponível em: <http://www.biodieselecoleo.com.br/biodiesel/estudos>. Acesso em: 24 de setembro de 2019.

### 2.3.1 Índice de ácidez

O I.A é um parâmetro expresso em mg KOH/g que avalia a quantidade de ácidos graxos livres presentes na amostra graxa. Conceitualmente é a quantidade de KOH, gasto para a neutralização dos ácidos graxos livres, contidos em 1g de amostra.<sup>71</sup> O aumento no valor do I.A, no decorrer do tempo, pode revelar que houve hidrólise. A reação acontece em função da presença de água, calor e/ou enzimas que promovem a formação de ácidos carboxílicos ou ácidos graxos livres<sup>33</sup>, conforme apresenta a Figura 7.

**Figura 7 – Exemplo de reação de hidrólise durante a determinação do índice de acidez**



Trabalhos como o de Freire (2009) trazem que os altos índices de acidez colaboram para catalisar as reações intermoleculares dos triacilglicerídeos, ao mesmo tempo em que afeta a estabilidade térmica e oxidativa do combustível na câmara de combustão<sup>34</sup>. Em adição, o mesmo autor relaciona o tipo de extração, a condição de armazenamento e conservação dos frutos, grãos, sementes, bem com o aquecimento e a luz como fatores que propiciam alterações no IA por esses contribuírem com a degradação dos glicerídeos.

Em outro trabalho, Yaakob et al. (2014) enfatizaram que este parâmetro é usado para compreender a degradação do biodiesel, pois está relacionado à estabilidade oxidativa<sup>35</sup>.

Os autores ainda salientaram da importância do I.A na avaliação da qualidade do biodiesel estocado, a fim de verificar se ele se encontra dentro dos limites padronizados, pois o longo tempo de armazenagem é prejudicial ao biodiesel, como já mostrado na Tabela 2.

<sup>33</sup> PIGHINELLI, A. L. M. T. **Estudo da extração mecânica e da transesterificação etílica de óleos vegetais**. 2010. 201 p. Tese (Faculdade de Engenharia Agrícola) — , Universidade Estadual de Campinas.

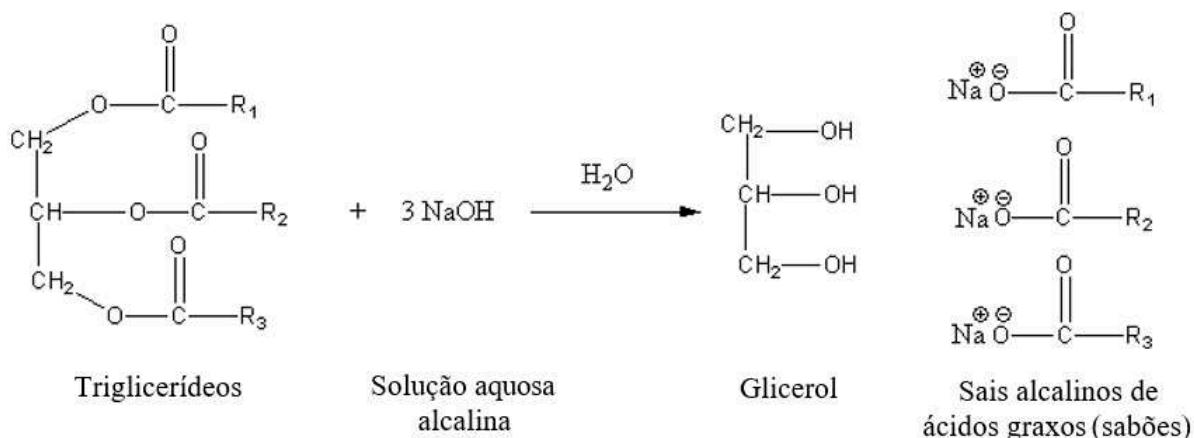
<sup>34</sup> FREIRE, L. M. S. **Otimização da síntese etanólica do biodiesel de pinhão manso (*Jatropha curcas L.*) e determinação de seus parâmetros fluidodinâmicos**. 2009. 99 p. Dissertação (Mestrado em Química) — UFPB.

<sup>35</sup> YAAKOB, Z. et al. A review on the oxidation stability of biodiesel. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 35, p. 136 – 153, 2014.

### 2.3.2 Índice de saponificação

O I.S é um parâmetro que quantifica as ligações de ésteres em amostras graxas. As ligações, hidrolisáveis, produzem na presença de uma solução aquosa alcalina (KOH ou NaOH), sais de ácidos graxos, denominados de sabões<sup>36</sup>. Conceitualmente é a quantidade de KOH, em mg, gasto para a saponificação de 1g de amostra. Unidade usualmente expressa em: mg KOH/g. A reação de saponificação está representada pela Figura 8.

**Figura 8 – Reação da determinação do índice de saponificação**



Este parâmetro tem relação direta com a presença dos ácidos graxos livres e combinados que estão presentes no óleo e é inversamente proporcional à massa molar média, isto implica que quanto menor for seu peso molecular médio, maior será o IS<sup>37</sup>.

### 2.3.3 Índice de iodo

O I.I. é um parâmetro que indica qualidade, especificamente que mede o grau de instauração de um óleo ou gordura. Isso significa que quanto mais iodo absorvido pela amostra, maior é o seu número de duplas ligações.

Conceitualmente, a quantidade de I.I é expressa em gramas (g), e é medido o gasto para reagir com as duplas ligações contidas em 100g de óleo<sup>38</sup>. O I.I também indica a degradação oxidativa dos óleos vegetais, gorduras e biodiesel, servindo para avaliar suas condições, ao longo do tempo de estocagem, especialmente quando se trata de matérias-primas que constam presença elevada de ácidos graxos insaturados, os quais comprometem a qualidade dos produtos. Consequência disso é a instabilidade dos produtos que se tornam mais propensos à oxidação. Embora a Especificação do

<sup>36</sup> KNOTHE, G. et al. **Manual de Biodiesel**. Blucher ed. [S.I.], 2006.

<sup>37</sup> SANTOS, J. A. R. **Avaliação das propriedades físico-químicas, fluidodinâmicas e oxidativa do biodiesel de licuri (*Syagrus coronata*) e das blendas (licuri/soja)**. 2011. 81 p. Dissertação (Mestrado em Química) — Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

<sup>38</sup> KNOTHE, G. et al. **Manual de Biodiesel**. Blucher ed. [S.I.], 2006.

Biodiesel presente na Resolução da ANP n° 45/ 2014 não menciona um valor limite para o I.I., a EN 14214 recomenda um valor limite para biodiesel oriundo de ésteres de ácidos graxos poli-insaturados<sup>39</sup>.

A polimerização dos glicerídeos pode ocorrer devido a reatividade das duplas ligações diminuindo o I.I., com o alto aquecimento. Por conseguinte, isso pode prejudicar a operacionalidade do motor e ainda ocasionar a formação de depósitos na câmara do motor.<sup>40</sup>.

#### 2.3.4 Umidade

O teor de água, expresso em (% m/m) é um parâmetro que mede o grau de umidade de um óleo ou gordura incluindo o biodiesel. Por definição, a umidade é a quantidade de água em gramas (g) absorvida por 100 g de amostra. É representado, geralmente em termos de unidade por: g/100g<sup>41</sup>. O mesmo autor relata que a umidade é responsável pela diminuição da energia, isso ocorre em função do aumento da concentração de ácidos graxos livres, sendo recomendável que o teor de umidade seja abaixo de 1% (ou g/100 g).

No trabalho conduzido Gerpen & Knothe (2006)<sup>42</sup> é enfatizado que dentre os fatores que afetam a qualidade do biodiesel, a água em suspensão representa um grave problema para os sistemas de injeção de combustível, pois pode favorecer à corrosão de peças, que mal ajustadas comprometem o bom funcionamento do motor. Outro ponto a se destacar diz a respeito da presença da água favorecer o crescimento microbiano no combustível, como consequência há possível aumento do índice de acidez e à formação de borras que entupirão os filtros de combustível. A água pode também reduzir o tempo de estocagem do biodiesel, favorecendo a separação após a mistura ao diesel mineral, caso essa seja a aplicação<sup>43</sup>.

<sup>39</sup> SANTOS, J. A. R. **Avaliação das propriedades físico-químicas, fluidodinâmicas e oxidativa do biodiesel de licuri (*Syagrus coronata*) e das blendas (licuri/soja)**. 2011. 81 p. Dissertação (Mestrado em Química) — Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

<sup>40</sup> YAAKOB, Z. et al. A review on the oxidation stability of biodiesel. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 35, p. 136 – 153, 2014.; PIGHINELLI, A. L. M. T. **Estudo da extração mecânica e da transesterificação etílica de óleos vegetais**. 2010. 201 p. Tese (Faculdade de Engenharia Agrícola) — , Universidade Estadual de Campinas.; SANTOS, J. A. R. **Avaliação das propriedades físico-químicas, fluidodinâmicas e oxidativa do biodiesel de licuri (*Syagrus coronata*) e das blendas (licuri/soja)**. 2011. 81 p. Dissertação (Mestrado em Química) — Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

<sup>41</sup> SANTOS, J. A. R. **Avaliação das propriedades físico-químicas, fluidodinâmicas e oxidativa do biodiesel de licuri (*Syagrus coronata*) e das blendas (licuri/soja)**. 2011. 81 p. Dissertação (Mestrado em Química) — Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

<sup>42</sup> GERPEN, J. V.; KNOTHE, G. **Produção de biodiesel**: Manual de Biodiesel. Blucher. 1a ed. São Paulo, 2006.

<sup>43</sup> CARVALHO, C. O. **Comparação entre métodos de extração do óleo de Mauritia flexuosa L.F. (ARACACEAE buriti) para o uso sustentável na reserva de desenvolvimento Tupé**: rendimento e atividade microbiana. 2011. 109 p. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia e Recursos Naturais) — Universidade do Estado do Amazonas, Manaus.

### 2.3.5 Densidade

Esse parâmetro tem correlação direta com o processo de oxidação do biodiesel. O processo acarreta o aumento da massa de óleo e gordura devido a formação de sedimentos insolúveis resultando no também aumento da densidade. No caso de estocagem do biodiesel, existe uma tendência em aumentar a densidade devido a presença de produtos provenientes de reações de oxidação. Em amostras com alto conteúdo de éster de ácidos graxos saturados e pequenas cadeias, a densidade também se apresenta alta, uma vez que os combustíveis que contêm hidrocarboneto de cadeia mais curta e ácido graxo mais saturado têm mais tendência a serem cristalizados. Com o resultado disso, estes cristais favorecem a diminuição do volume do produto e, portanto, aumentam a densidade, já que conceitualmente a densidade é a massa por unidade de volume ( $\text{kg/m}^3$ )<sup>44</sup>.

A especificação do biodiesel brasileira, Resolução da ANP n° 45/2014, limita em 850 - 900  $\text{kg/m}^3$ , porém a uma temperatura de 20 °C. a principal consequência relacionada a densidade elevada em relação ao valor estipulado como limite, e no uso de motores, é no desempenho dos mesmos, incidindo na combustão<sup>45</sup>. A densidade pode aumentar ainda com o aumento da saturação e do conteúdo de átomos mais pesados<sup>46</sup>.

Outros indicadores de performance, como número de cetano e calor de combustão, também estão associados à densidade, assim como o funcionamento da injeção em sistemas a diesel, que medem o combustível pelo volume, logo uma mudança na massa específica influenciará na potência de saída do motor devido a uma diferença de massa de combustível injetada, destaca Pighinelli (2010)<sup>47</sup>. O autor complementa relacionando a densidade portanto, os constituintes de ácidos graxos que compõe a matéria-prima, consequentemente o produto final biodiesel, e a presença das impurezas, não sendo influenciada pelos diferentes métodos de produção existentes ou etapas de purificação.

### 2.3.6 Viscosidade

Define-se viscosidade como sendo a resistência do fluido ao escoamento. Os óleos que são constituídos com maior quantidade de ácidos graxos de baixo peso molecular, apresentam uma viscosidade menor quando comparado aos de elevada

<sup>44</sup> YAAKOB, Z. et al. A review on the oxidation stability of biodiesel. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 35, p. 136 – 153, 2014.

<sup>45</sup> SAHAR et al. Biodiesel production from waste cooking oil: An efficient technique to convert waste into biodiesel. **Sustainable Cities and Society**, v. 41, p. 220 – 226, 2018.

<sup>46</sup> KNOTHE, G.; RAZON, L. F. Biodiesel fuels. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 58, p. 36 – 59, 2017.

<sup>47</sup> PIGHINELLI, A. L. M. T. **Estudo da extração mecânica e da transesterificação etílica de óleos vegetais**. 2010. 201 p. Tese (Faculdade de Engenharia Agrícola) — , Universidade Estadual de Campinas.

massa molar<sup>48</sup>. No entanto, seu comportamento segue o mesmo de outros líquidos, quando submetidos ao aumento de temperatura se tornam menos viscosos, ressalta o autor.

Através da análise de viscosidade que se tornou possível avaliar que o uso direto dos óleos vegetais puros não resultaria, a longo prazo, em bom desempenho do funcionamento do motor, sendo deixados de lado como combustível alternativo para substituição total ao diesel mineral<sup>49</sup>. Após conversão à ésteres, a viscosidade é uma das principais propriedades físicas utilizadas para avaliar o biodiesel, pois está relacionada à presença dos triglicerídeos que não reagiram, sendo seus maiores valores para ésteres de cadeia longa, com aumento do grau de saturação dos ácidos graxos e dos seus ésteres, e a presença de ácidos graxos livres<sup>50</sup>.

A viscosidade, entre as propriedades físicas, se mostra de grande importância, pois não só avalia o fluxo em todas as temperaturas a que um combustível pode ser exposto, mas sim porque influencia fortemente a atomização de um combustível após injeção na câmara de combustão, podendo causar, entre outros problemas, a formação de depósitos. Quanto maior a viscosidade, maior a tendência do combustível para causar tais problemas. Altas viscosidades podem causar: (I) baixa atomização do combustível, exigindo mais energia para bombeá-lo, (II) pode aderir nos elementos da bomba e injetores, (III) intensificar problemas em clima frio uma vez que a viscosidade aumenta quando a temperatura diminui, (IV) formação de compostos poliméricos oxidados, que formam gomas e sedimentos em longos períodos de armazenamento. Por outro lado, baixos valores de viscosidade também não é desejável, pois podem causar derramamento no sistema de combustível resultando na emissão de fumaça preta devido à baixa combustão<sup>51</sup>.

De acordo com Serrano-Ruiz et al. (2012)<sup>52</sup>, a formação de espécies de alto peso molecular é a razão pela qual a viscosidade pode ser usada também como verificação da qualidade do biodiesel armazenado.

<sup>48</sup> PIGHINELLI, A. L. M. T. **Estudo da extração mecânica e da transesterificação etílica de óleos vegetais**. 2010. 201 p. Tese (Faculdade de Engenharia Agrícola) — , Universidade Estadual de Campinas.

<sup>49</sup> KNOTHE, G.; RAZON, L. F. Biodiesel fuels. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 58, p. 36 – 59, 2017.

<sup>50</sup> YAAKOB, Z. et al. A review on the oxidation stability of biodiesel. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 35, p. 136 – 153, 2014.; PIGHINELLI, A. L. M. T. **Estudo da extração mecânica e da transesterificação etílica de óleos vegetais**. 2010. 201 p. Tese (Faculdade de Engenharia Agrícola) — , Universidade Estadual de Campinas.

<sup>51</sup> KNOTHE, G.; RAZON, L. F. Biodiesel fuels. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 58, p. 36 – 59, 2017.; SAHAR et al. Biodiesel production from waste cooking oil: An efficient technique to convert waste into biodiesel. **Sustainable Cities and Society**, v. 41, p. 220 – 226, 2018.; YAAKOB, Z. et al. A review on the oxidation stability of biodiesel. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 35, p. 136 – 153, 2014.

<sup>52</sup> SERRANO, L. M. V. et al. Performance Study about Biodiesel Impact on Buses Engines Using Dynamometer Tests and Fleet Consumption Data. **Energy Conversion and Management**, v. 60, p. 2 – 9, 2012.

### 2.3.7 Propriedades de combustível

Foram tratados neste tópicos dois aspectos relevantes dentre as características para análise de biodiesel como combustível, são eles o Ponto de Fulgor (P.F) e o teor de enxofre.

Conceitualmente, o P.F é a menor temperatura em que um líquido em análise é submetido a uma fonte de calor por meio de uma chama ou faísca, cuja mistura de vapor formada acima da amostra em contato com o ar entra em ignição. Sendo, portanto, este parâmetro uma das propriedades que permite avaliar condições de inflamabilidade<sup>53</sup>.

O P.F é diretamente um meio de aferir o teor de álcool contaminante no biodiesel, o nível de álcool residual no biodiesel deve ser muito baixo (< 0,1%)<sup>54</sup>. Na Resolução da ANP de especificação do biodiesel, nº 45, o limite ao teor de álcoois (metanol e etanol) foi regulado em no máximo 0,2% (m/m) e do ponto de fulgor mínimo de 100 °C, sendo dispensada a análise de traços de álcoois, caso o P.F.  $\geq$  130 °C.

Sobre este aspecto desse parâmetro, diversos autores ressaltam como uma das grandes principais vantagens do biodiesel em relação ao diesel mineral, isso porque o seu ponto de fulgor que é superior. Contudo, este valor não afeta a combustão diretamente, significando dizer que o biodiesel é um combustível que oferece maior segurança ao ser transportado, manuseado e armazenado<sup>55</sup>.

Em relação ao teor de enxofre, o mesmo pode ser identificado como um parâmetro para análise do biodiesel como combustível quando há mistura de BX no diesel mineral, devido à presença natural deste elemento no petróleo. Os combustíveis advindos deste, como, a gasolina, o diesel, contém teores de enxofre, hoje menos toleráveis pela ANP. Quando submetido a queima, o enxofre transforma-se em óxidos de enxofre. Os óxidos de enxofre, por sua vez, ao reagir com vapor de água formam ácido sulfúrico e outros componentes sulfatados, os quais incidem no fenômeno da chuva ácida juntamente com outros compostos azotados (NOx). Os sulfatos podem formar partículas na exaustão e elevar o nível de particulados decorrente da exaustão. O autor ainda coloca que a presença do enxofre é potencialmente danosa para os catalisadores restringindo as opções disponíveis para o controle das emissões nos motores. De modo geral, quando comparado ao diesel mineral, o biodiesel é livre de enxofre<sup>56</sup>. A presença do enxofre é potencialmente prejudicial para os catalisadores

<sup>53</sup> SANTOS, J. R. de J. **Biodiesel de babaçu**: avaliação térmica, oxidativa e misturas binárias. 2008. 103 p. Tese (Programa de Pós-Graduação em Química) — Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

<sup>54</sup> KNOTHE, G.; RAZON, L. F. Biodiesel fuels. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 58, p. 36 – 59, 2017.

<sup>55</sup> SANTOS, A. G. D. et al. Kinetic study and thermoxidative degradation of palm oil and biodiesel. **Thermochimica Acta**, v. 592, p. 18 – 26, 2014.

<sup>56</sup> GEBREMARIAM, S.; MARCHETTI, J. Economics of biodiesel production: Review. **Energy Conversion and Management**, v. 168, p. 74 – 84, 2018.

pois restringe as opções disponíveis para o controle das emissões nos motores.

De modo geral, quando comparado ao diesel mineral, o biodiesel é livre de enxofre<sup>57</sup>. As resoluções da ANP nº 45/2014 para o biodiesel e nº 30/2016 para o diesel mineral estabeleceram o valor limite de enxofre de 10 mg/kg em ambos combustíveis. Todavia, é esperado um percentual de enxofre mais expressivo nas misturas (BX) com o diesel fóssil em maior proporção.

## 2.4 Matriz energética e matriz elétrica

Em princípio, é necessário distinguir os termos matriz energética e matriz elétrica. Esses termos se diferem a partir do conceito que se define energia como uma das duas grandezas físicas necessárias à correta descrição do inter-relacionamento, sempre mútuo, entre dois entes ou sistemas físicos<sup>58</sup>. Energia, é usada, por exemplo, para acender uma luz, preparar refeições e nos transportes. Essa energia é proveniente de um conjunto de fontes que formam o que chamamos de matriz energética. Ou seja, ela representa o conjunto de fontes disponíveis em um país, estado, ou no mundo, para suprir a necessidade (demanda) de energia<sup>59</sup>. Enquanto a matriz energética representa o conjunto de fontes de energia disponíveis para mover os veículos e gerar eletricidade, a matriz elétrica é formada pelo conjunto de fontes disponíveis apenas para a geração de energia elétrica. Dessa forma, podemos concluir que a matriz elétrica é parte da matriz energética<sup>60</sup>.

### 2.4.1 Matriz energética mundial

O mundo possui uma matriz energética composta, principalmente, por fontes não renováveis, como o carvão, petróleo e gás natural, por outro lado o desenvolvimento de combustíveis sustentáveis, advindo de matérias-primas renováveis ou recicláveis, só vem aumentado sua participação muito em função que os países alcancem os objetivos referentes às emissões de gases na atmosfera, através dos acordos internacionais<sup>61</sup>.

<sup>57</sup> GEBREMARIAM, S.; MARCHETTI, J. Economics of biodiesel production: Review. **Energy Conversion and Management**, v. 168, p. 74 – 84, 2018.

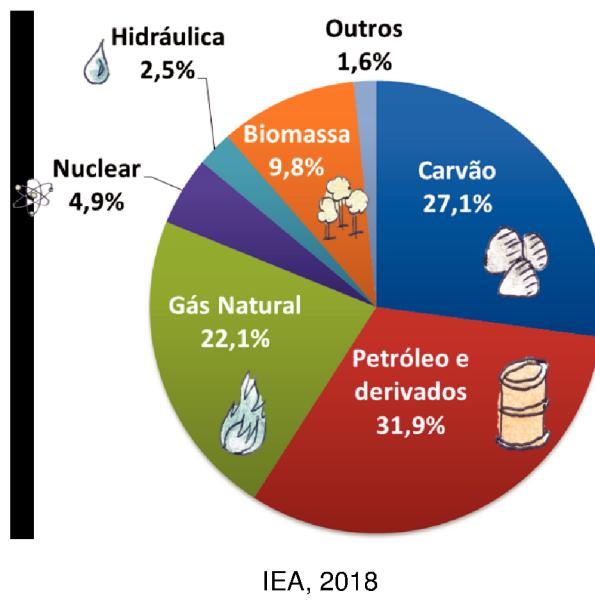
<sup>58</sup> BP. BP Statistical Review of World Energy, [s.l.: s.n.], 2018.

<sup>59</sup> MME. **Ministério do Meio Ambiente - Acordo de Paris**. 2014. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris>. Acesso em: 24 de julho de 2019.

<sup>60</sup> BP. BP Statistical Review of World Energy, [s.l.: s.n.], 2018.

<sup>61</sup> ANEEL. **AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Banco de Informações de Geração: BIG**. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>. Acesso em: 18 de dezembro de 2019.

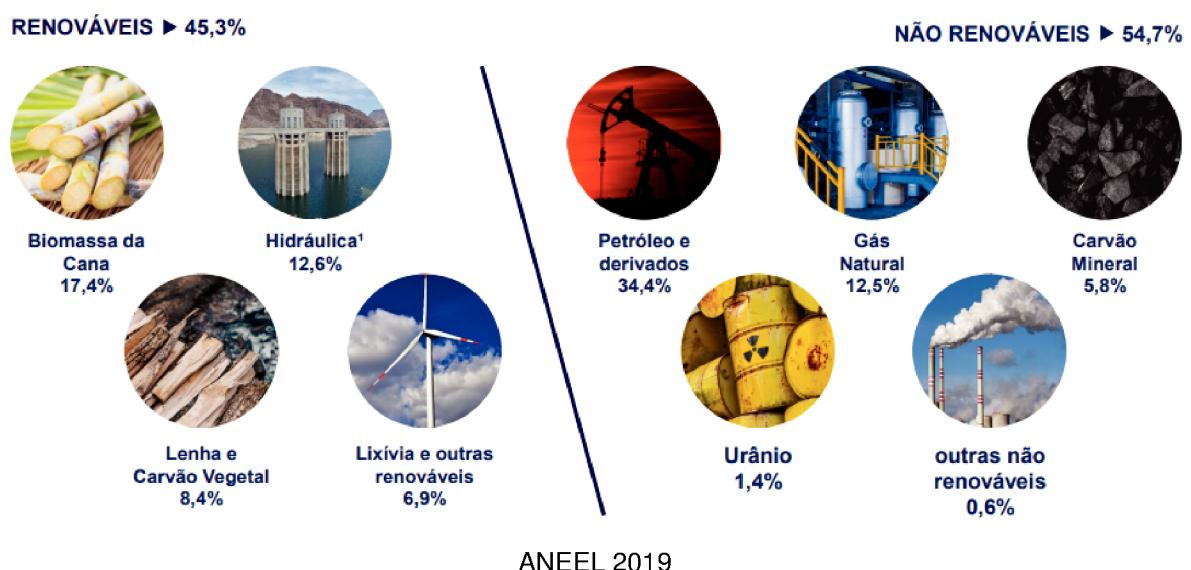
Figura 9 – Matriz energética mundial em 2018



Ao passo que os combustíveis de fontes renováveis como solar, eólica e geotérmica, por exemplo contribuíram, no ano de 2018, com apenas 1,60% da matriz energética mundial, assinaladas como “Outros” no gráfico. Somando à participação da energia hidráulica e da biomassa, as renováveis totalizam 14%. Questões políticas e ambientais relacionados à redução de GEE, também fomenta a produção de combustíveis ecologicamente sustentáveis de grande importância para um investimento a longo prazo<sup>62</sup>.

#### 2.4.2 Matriz energética nacional

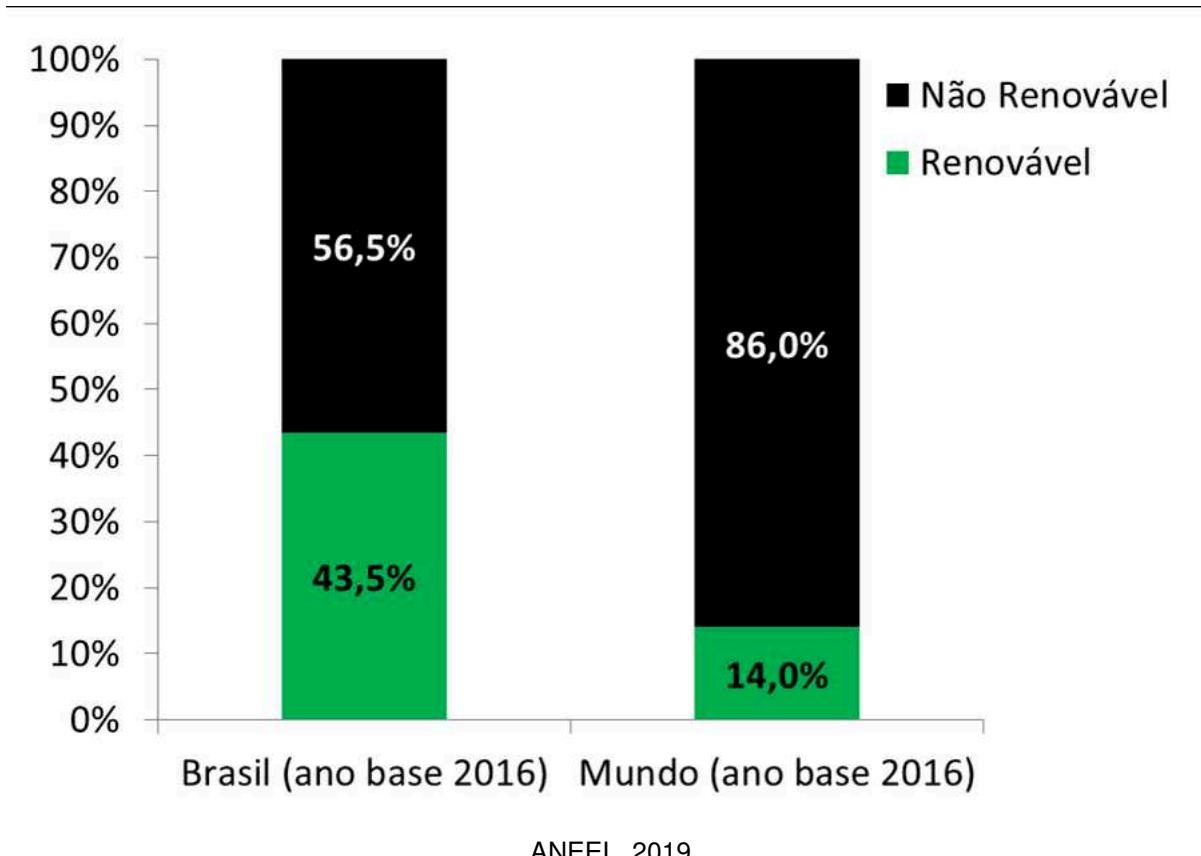
Figura 10 – Matriz energética nacional em 2019 (Ano base 2018)



<sup>62</sup> AGENCY, I. E. *World Energy Outlook, 2018*. Paris: [s.n.], 2018.

As fontes não renováveis de energia são as maiores responsáveis pela emissão de gases de efeito estufa (GEE). Como consumimos mais energia das fontes renováveis comparado a outros países, espera-se que nosso país emite menos GEE por habitante que a maioria dos outros países. A Figura 11 demonstra uma comparação entre o consumo de energia proveniente de fontes renováveis e não renováveis no Brasil e no mundo.

**Figura 11 – Consumo de energia proveniente de fontes renováveis e não renováveis no Brasil e no mundo**



A matriz elétrica brasileira apresenta-se ainda mais renovável do que a energética, ultrapassando os 80% em relação as fontes não renováveis. Isso porque grande parte da energia elétrica gerada no Brasil vem de usinas hidrelétricas, isso é ponto muito positivo para o Brasil, pois além de possuírem menores custos de operação, as usinas que geram energia a partir de fontes renováveis em geral emitem bem menos gases de estufa<sup>63</sup>. Nota-se também o crescimento da energia eólica, contribuindo para que a nossa matriz elétrica continue sendo, em sua maior parte, renovável. Apesar de ser algo positivo o Brasil, o país possui compromissos internacionais de redução de emissões. É notória a necessidade de ações a nível mundial direcionadas a mitigação de GEE, juntamente com a limitação do aumento da temperatura global, um acordo realizado em Paris, na 21<sup>a</sup> Conferência das Partes (COP21), foi adotado um novo

<sup>63</sup> EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Plano decenal de expansão de energia 2026 Plano decenal de expansão de energia 2026. 2017.

compromisso entre países com o objetivo principal de assegurar a capacidade destes ao enfrentar impactos ocasionados pelas mudanças climáticas.

#### 2.4.3 Acordo de Paris

Um total de 195 países, os participantes da UNFCCC, incluindo o Brasil, tem como compromisso principal a redução de GEE na busca pelo desenvolvimento sustentável<sup>64</sup>. Como base para quantificar as reduções possíveis, o Brasil utilizou de sua experiência na produção e aplicação de biocombustíveis alternativos, iniciada nos anos de 1975 ao produzir etanol a partir da cana de açúcar mediante o programa PROÁLCOOL.

Além do PROÁLCOOL e outros programas de incentivo do governo, vale ressaltar a criação do avião agrícola pela Embraer, em 2005, desenvolvido especialmente para operar com etanol hidratado<sup>65</sup>, o Brasil se comprometeu, contudo, a reduzir futuras emissões de GEE e cooperar na busca pelo desenvolvimento sustentável.

Dividido a meta nacional em duas etapas, o Brasil almeja emitir 37% a menos de GEE até 2025, e em 2030, menos 43%, tendo como parâmetro as emissões registradas no ano de 2005. Na busca pela redução das emissões de gases liberados na atmosfera, o Brasil conta com o aumento de 18% da utilização de bioenergia sustentável e participação de 45% em energias renováveis na sua matriz enérgica até o ano de 2030. E mais, deve contar com a restauração e reflorestamento de 12 milhões de hectares de florestas.

No decorrer do desenvolvimento sustentável, o Brasil propicia crescimento econômico, garantindo a preservação ambiental e o desenvolvimento social para as futuras gerações. Um exemplo que agrega no progresso dos combustíveis alternativos sem atrapalhar o crescimento do país, é garantir disponibilidade de energia elétrica através dos grupos geradores, principalmente na indústria, onde é possível encontrar tantos geradores à diesel, sejam esses para suprir horários de ponta (quando a energia é mais cara), quanto para suprir a demanda quando há alguma falha ou manutenção nas redes de distribuição<sup>66</sup>.

### 2.5 Uso do biodiesel para geração de energia

O Biodiesel possui destaque dentre os biocombustíveis por já estar presente na matriz energética nacional. Como apresentado neste capítulo, oferece uma série

<sup>64</sup> IEA. **INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Energy technologies for the 21st Century.** Paris. 1997. Disponível em: [www.iea.org/techno/index.htm](http://www.iea.org/techno/index.htm). Acesso em: 03 de agosto de. 2019.

<sup>65</sup> FEROLDI, M.; AL. et. Environmental, economic and social impact of aviation biofuel production in Brazil. *New Biotechnology*. v. 32, n. 2, p. 263 – 271, 2015.

<sup>66</sup> ŠIMELYTĖ, A.; DUDZEVIČIŪTĖ, G. Consumption of Renewable Energy and Economic Growth. In: **Proceedings of 5th International Scientific Conference Contemporary Issues in Business, Management and Education.** [S.I.: s.n.], 2017.

de benefícios técnicos e ambientais quando comparado aos combustíveis fósseis convencionais, tornando-o atraente como combustível alternativo para o setor de transporte e geração de energia. Entre os principais benefícios econômicos, pode-se citar: diminuição da dependência da importação de diesel fóssil, diversidade de matriz energética, possibilidade de criação de empregos, desenvolvimento de novas tecnologias e a competitividade internacional.

Além do biodiesel existem várias substâncias que podem ser obtidas através da biomassa e utilizadas para aplicações semelhantes como os derivados de furanos, em especial, o 2,5-dimetilfurano (DMF)<sup>67</sup>, que apresenta alguns atrativos enquanto biocombustível. O DMF possui densidade energética comparável à da gasolina e é quimicamente estável, insolúvel em água (e não absorve umidade). Pode ser eficientemente obtido através da frutose, encontrada em frutas e algumas raízes vegetais, ou a partir de glicose, que pode, por sua vez, ser obtida através de amido e de celulose. A razão ar/combustível é cerca de 11, comparáveis a do butanol e superior a do etanol e inferior à da gasolina. A adoção do DMF na matriz energética, especialmente como combustível veicular, é dificultada, entretanto, pois há necessidade de caracterização do perfil de combustão, identificação de possíveis necessidades de adaptação mútua dos motores e da previsão dos poluentes atmosféricos presentes na exaustão, decorrentes do processo de queima, fatores já consolidados para o biodiesel.

Em relação aos impactos ambientais do biodiesel, destacam-se como benefícios a redução de gases de efeito estufa, a biodegradabilidade, a redução de enxofre a zero, emissões aromáticas e a menor toxicidade. Finalmente, benefícios em relação aos aspectos energéticos são a confiabilidade de abastecimento, o maior ponto de fulgor, e a capacidade de renovação. Atualmente, o termo energia verde vem sendo usado como um termo alternativo para energia renovável gerada a partir de fontes, que são consideradas ambientalmente amigáveis.

Nos transportes, vários trabalhos foram relatados na literatura, tanto com veículos leves como carros de passageiro típicos, quanto em veículos pesados como ônibus e caminhões<sup>68</sup>.

Em ambos os casos, pesquisas passadas já concluem que motores diesel abastecidos com misturas de biodiesel geralmente produzem menores emissões de GEE em geral.

Em relação aos motores é introduzido na sequência a diferença entre motores Otto e o motor diesel. Segundo Ghorbani (2011), o motor Otto e o motor diesel são dois tipos de motores térmicos. Estes são dois tipos de motores exotérmicos que, através de reações termodinâmicas, convertem a energia interna do combustível em

<sup>67</sup> SIRJEAN, B. et al. **Phys. Chem.**, 117, p. 1381–1390. 2013.

<sup>68</sup> MARCOR, A.; AVELLA, F.; FAEDO, D. Effects of 30% v/v Biodiesel/Diesel Fuel Blend on Regulated and Unregulated Pollutant Emissions from Diesel Engines. **Applied Energy**, v. 88, n. 12, p. 4985 – 4986, 2011.

trabalho mecânico. No entanto, existem certas diferenças entre eles. A diferença mais importante é encontrada em seu ciclo teórico. O motor Otto opera de acordo com o ciclo Otto por ignição por faísca, enquanto o motor diesel é controlado de acordo com o ciclo diesel por ignição por compressão, e por sua vez, é o tipo que será utilizado neste trabalho.

No que diz respeito aos geradores, pesquisas são apresentadas na literatura usando diferentes matérias primas na produção de biodiesel, diferentes motores, bem como diferentes grupos motor-gerador. Alguns trabalhos têm analisado o aquecimento da mistura diesel-biodiesel para diminuir a viscosidade dos combustíveis a fim de eliminar várias dificuldades operacionais<sup>69</sup>. Outros trabalhos têm investigado o uso de EGR (recirculação dos gases de escape) para reduzir as emissões de NOx, bem como o material particulado, devido à baixa temperatura da câmara de combustão<sup>70</sup>. Em todos os estudos, os resultados mostraram que o biodiesel pode ser usado como combustível alternativo para abastecer os motores diesel sem modificações.

O presente projeto descreve os principais aspectos técnicos deste sistema de geração de energia a partir de biodiesel, classificado como B100, ou seja 100% de origem renovável para fins de fonte de energia. O projeto contempla uma etapa de validação, com uma planta em operação, onde foram realizados estudos afim de caracterizar o combustível adquirido, em adição com funcionamento do mesmo em um grupo gerador. Também foi realizado a consulta de acesso junto à distribuidora de energia local CEMIG Distribuição S.A (CEMIG D) considerando o disposto na Resolução Normativa – REN n°. 687, de 24 de novembro de 2015 que altera a REN n° 482, de 17 de abril de 2012 e na norma de distribuição da própria CEMIG ND 5.31, normativas tratadas no capítulo seguinte.

## 2.6 Geração Distribuída

A geração distribuída, ou simplesmente GD é definida como o uso integrado ou isolado de recursos modulares de pequeno porte através concessionárias, que são as distribuidoras de energia interconectadas pelo Sistema Interligado Nacional – SIN. Nesse modelo, consumidores e terceiros, por meio utilizam de sistemas aplicados que beneficiam o sistema elétrico e consumidores. O termo tem sintonia com outras expressões normalmente usadas como: autogeração, geração in situ, cogeração e geração exclusiva. A GD oferece inúmeras vantagens ao setor elétrico, visto que a disposição da unidade de geração próxima a carga permite a diminuição das perdas associadas ao transporte de energia elétrica, além de uma maior diversificação das tecnologias empregadas para produção de energia, e assim sua escolha pode ser

<sup>69</sup> VALENTE, O. S. et al. Exhaust Emissions from a Diesel Power Generator Fuelled by Wated Cooking Oil Biodiesel. **Science of the Total**, 2012.

<sup>70</sup> AGARWAL, A.; SINHA, S. Experimental Investigation of Control of Nox Emisisons in Biodiesel-Fuelled Compression Ignition Engine. **Renewable Energy**, v. 31, 2006.

realizada em função dos requerimentos específicos da carga ou da disponibilidade dos recursos energéticos locais<sup>71</sup>.

As tecnologias de GD têm evoluído para incluir potências cada vez mais variadas. O conceito envolve, ainda, equipamentos de medida, controle e comando que articulam a operação dos geradores, quando utilizados esses equipamentos, e o eventual controle de cargas (ligamento/desligamento) para que estas se adaptem à oferta de energia. Com a GD, torna-se possível obter maior eficiência energética<sup>72</sup>.

GD se define também como geração e armazenamento de energia elétrica em pequena escala, mais próximo ao centro de carga, com opção de interagir, ou seja, trocar kWh com a rede elétrica, através do sistema de compensação de energia elétrica regulados pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL e Procedimentos de Distribuição - PRODIST. É a denominação genérica de um tipo de geração de energia elétrica que se diferencia da geração centralizada por ocorrer em locais em que não seria instalada uma usina geradora convencional, contribuindo assim para aumentar a distribuição geográfica da geração de energia elétrica em determinada região<sup>73</sup>. Outra diferença relevante é que nos moldes e regulações brasileiras, só é possível a instalação de usinas de GD utilizando fontes de energia renovável.

Os conceitos apresentados acima possuem em comum os seguintes pontos: (a) proximidade com a região de consumo; (b) produção em pequena escala, possibilitando conexão próxima aos diversos pontos da rede elétrica (alta, média e baixa tensão); (c) emprego de diversas tecnologias. No sentido de pensar futuramente sobre o esgotamento dos recursos não renováveis, ou seja, que utilizam combustível fóssil, a GD se apresenta como uma ferramenta de estratégia importante, no incentivo ao uso de recursos renováveis disponíveis ou mesmo na concepção de medidas de eficiência energética . Em termos ambientais, na utilização da GD, os recursos energéticos distribuídos podem e devem contribuir na redução da emissões de GEE e para mitigar a mudança climática<sup>74</sup>.

### 2.6.1 Histórico da Geração Distribuída

Considerando o mercado regulatório de energia, na década passada o setor elétrico brasileiro passou por uma grande reforma, que estabeleceu uma nova base para a criação de novas instituições, enquanto as já existentes sofreram revisão de

<sup>71</sup> OLIVEIRA, B. **Incentivos Tarifários para a Conexão de Geração Distribuída em Redes de Média Tensão**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) — Universidade Federal de Minas Gerais.

<sup>72</sup> INEE. **INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. Notas sobre geração distribuída**. 2001. Disponível em: [http://www.inee.org.br/down\\_loads/forum/Notas%20sobre%20GD.pdf](http://www.inee.org.br/down_loads/forum/Notas%20sobre%20GD.pdf).

<sup>73</sup> COGEN. **ASSOCIAÇÃO DA INDÚSTRIA DE COGERAÇÃO DE ENERGIA. Geração Distribuída – Novo Ciclo de Desenvolvimento**. 2013. Disponível em: [http://www.cogen.com.br/workshop/2013/Geracao\\_Distribuida\\_Calabro\\_22052013.pdf](http://www.cogen.com.br/workshop/2013/Geracao_Distribuida_Calabro_22052013.pdf).

<sup>74</sup> EPE. **Empresa de Pesquisa Energética. Legislação**. 2019. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/quemsomos/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 10 de setembro de 2019.

suas atribuições. Esse novo surgiu a partir da instituição da Lei nº 10.848/2004, que visa a garantia de segurança de fornecimento, o estabelecimento de tarifas justas e um novo planejamento para lidar com o crescimento da demanda. No intuito de regularizar o setor e atrair investimentos, a normativa inseriu no mercado econômico, dois novos ambientes, o ACR (Ambiente de Contratação Regulada) e o ACL (Ambiente de Contratação Livre). No ACR comercializa-se a energia elétrica utilizada pelas companhias distribuidoras para atender a seus respectivos consumidores finais, enquanto o ACL trata do mercado livre de energia para grandes consumidores.

A venda de energia passou a ser regulada pela lei e executada por meio de licitações, ou seja, através de leilões, geralmente com contratos de longo prazo com duração estimada entre 15 e 35 anos e entrega a partir do 3º ou 5º ano, visando direcionar os contratos de energia à empresas prestadoras de serviços públicos. Esse sistema tem desenvolvido um crescimento para empreendimentos de geração de energia de fontes renováveis. O ACL tornou possível a comercialização de energia elétrica para atender aos consumidores livres, por intermédio de contratos bilaterais livremente negociados.

O novo regulamento tem como base a Resolução Normativa nº 305/2008 da ANEEL, que trata das condições para contratação de energia elétrica por consumidores livres no SIN. Em meados de 2012, entrou em vigor a Resolução Normativa nº 482, de 17/04/2012, da ANEEL, que estabeleceu as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, que visa reduzir as barreiras regulatórias existentes para conexão de geração de pequeno porte disponível na rede de distribuição, bem como introduzir o sistema de compensação de energia elétrica (*net metering*), além de estabelecer adequações necessárias no PRODIST. Esse sistema funciona como um arranjo no qual a energia injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída é cedida à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica dessa mesma unidade consumidora ou de outra unidade de mesma titularidade (CNPJ ou CPF), ou na fatura do mês subsequente. Segundo a Resolução Normativa nº 482/2012 da ANEEL, os créditos da quantidade de energia gerada continuam válidos para serem consumidos por um prazo de 36 meses. Normativa essa que já foi atualizada através da Resolução Normativa nº 687/2015 da ANEEL, que prorroga para 60 meses a utilização de créditos.

Esse sistema de compensação transforma o consumidor cativo em também um produtor de energia, criando assim o conceito de “prosumidores”. Para efeito, o sistema de microgeração ou minigeração distribuída, quando da sua instalação, deve ser analisado previamente pela distribuidora local, pois seu funcionamento necessita de alguns requisitos, que incluem também um leitor de energia específico. Vale salientar, que na regra atual, a microgeração distribuída consiste em uma central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW, e a minigeração distribuída

para potência instalada acima de 75 kW e menor ou igual a 5 MW, sendo ambas para fontes hidráulica, solar, eólica, biomassa e cogeração qualificada. Simultaneamente, foi publicada pela ANEEL a Resolução Normativa nº 481/2012<sup>75</sup>, pela qual ficou estipulado, para a fonte solar cuja potência injetada nos sistemas de transmissão ou distribuição seja menor ou igual a 30 MW, o desconto de 80% para os empreendimentos que entrarem em operação comercial até 31/12/2017, aplicável nos dez primeiros anos de operação da usina, nas tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição – TUST e TUSD, sendo esse desconto reduzido para 50% após o décimo ano de operação da usina. E ainda, farão jus ao desconto de 50% nas referidas tarifas, os empreendimentos que entrarem em operação comercial após 31 de dezembro de 2017.

## 2.6.2 Modalidades de Geração Distribuída

Com a entrada em vigor da Resolução Normativa nº 687 de 24 de novembro de 2015<sup>76</sup>, em 01 de março de 2016, a Resolução 482 da ANEEL sofreu atualizações, impactando diretamente sobre o mercado de energia elétrica para micro e minigeradores distribuídos, pois cria novos nichos de consumidores e possibilidades de negócios. Destaca-se também a criação de melhoria e reforço, caracterizados pela instalação do sistema gerador como um todo, visando manter a qualidade da prestação do serviço à energia elétrica e ao aumento da confiabilidade e capacidade da geração distribuída, respectivamente.

A primeira modalidade, já incluída na resolução inicial, comprehende na geração de energia elétrica no local de consumo do consumidor, sendo a modalidade mais simples entre as existentes, denominada geração junto à carga. Exemplos diretos são as instalações de sistemas de micro geração fotovoltaica em residências particulares.

Já em condomínios e prédios, os sistemas podem ser instalados na área comum, como no caso de um estacionamento conjunto. Exemplo esse que introduz a segunda modalidade de geração distribuída, os empreendimentos com múltiplas unidades consumidoras. A modalidade se baseia em condomínios verticais e/ou horizontais, situados em mesma área ou área contígua, com o sistema gerador instalado em área comum, onde as unidades consumidoras do local e a área comum do condomínio sejam energeticamente independentes entre si. Assim, os créditos de energia gerados

<sup>75</sup> ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução nº 481, Complementa a Resolução Normativa nº 482, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Dispõe sobre tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição. 17 de abril de 2012.

<sup>76</sup> ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução nº 687, Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Dispõe sobre as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica. 24 de novembro de 2015.

são divididos entre os condôminos participantes e a área comum do empreendimento, sob responsabilidade do condomínio, da administração ou do proprietário do local.

A terceira modalidade de geração, enquadram-se todos os consumidores que desejam instalar um gerador de energia elétrica para compensar os gastos da fatura de energia, mas não possuem espaço suficiente para tal, no local de consumo, modalidade denominada como Auto Consumo Remoto. Importante frisar que nessa modalidade não se faz necessário estabelecer nenhum tipo de entidade administradora terceira<sup>77</sup>. Exemplos práticos de auto consumo remoto são consumidores pessoa física que possuem outras unidades consumidoras de mesma titularidade, onde a geração distribuída de energia elétrica está em local diferente dos locais que fazem uso dos créditos de energia gerados. E, consumidores pessoa jurídica que possuem unidades consumidoras em mesmo CNPJ, onde a geração distribuída energia elétrica está em local diferente dos locais que fazem uso dos créditos energéticos.

Por fim a quarta modalidade é a geração compartilhada. Consumidores CPF ou CNPJ distintos, abastecidos pela mesma concessionária distribuidora, associados por meio de cooperativa no caso de pessoas físicas, ou consórcio, no caso de pessoas jurídicas, onde a unidade geradora fica em local diferente das unidades consumidoras compensatórias.

Em resumo, define-se as modalidades de geração junto à carga e autoconsumo remoto, para consumidores únicos, sendo essas pessoas físicas ou jurídicas, diferenciando-se pelo fato da primeira ter mesma localização de geração de energia e utilização dos créditos gerados, e a segunda sendo essas localizações distintas. Em complemento, define-se geração em condomínios com GD a geração no mesmo local de consumo onde são várias unidades consumidoras beneficiadoras, e geração compartilhada os sistemas localizados em locais diferentes dos locais de utilização de créditos energéticos, sendo os beneficiados unidos por uma cooperativa, ou consórcio.

A atualização da Res. Normativa nº482/2012, trouxe benefícios para o segmento de geração distribuída, entre eles a diminuição de prazo do processo burocrático para a inserção das centrais geradoras junto às concessionárias de energia elétrica, o aumento de mão de obra capacitada, com o surgimento de novos postos de trabalho <sup>112</sup>. Acredita-se que através da Resolução Normativa nº687/2015, a ANEEL pôde tornar mais atrativo o investimento em energias renováveis. Na prática, a agência reguladora alterou as regras para o sistema de compensação de energia elétrica, e incluiu outras modalidades de geração <sup>113</sup>. As principais ações realizadas por esta resolução e posterior revisões foram as definições e alterações de micro e mini geradores de acordo com a potência do sistema instalado. A primeira definição é designada aos sistemas

<sup>77</sup> ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução nº 687, Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Dispõe sobre as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica. 24 de novembro de 2015.

que utilizem energias renováveis ou de cogeração qualificada conectados à rede e com potência instalada inferior a 75 kW. A segunda definição, por sua vez, é designada aos mesmos sistemas com potência instalada maior que 75 kW e menor ou igual a 5 MW, com exceção das fontes hídricas<sup>112</sup>. Nessa exceção consta a regra de restrição de 3 MW para Pequenas Centrais Hidrelétricas - PCH e Centrais Geradoras Hidrelétricas - CGH adaptadas, abrangendo a potência limite de 5MW apenas para nova PCH ou CGH. Vale ressaltar as mudanças prazo de validade dos créditos de energia, que antes era de 36 meses, passou para 60 meses. E o prazo total para a distribuidora conectar usinas de microgeração, por sua vez, foi reduzido de 82 para 34 dias<sup>78</sup>.

Uma inclusão relevante feita pela ANEEL durante a revisão da normativa, foi a configuração chamada de “geração compartilhada”, possibilitando que diversos interessados se unam em um consórcio ou em uma cooperativa, instalem uma micro ou minigeração distribuída e utilizem a energia gerada para redução das faturas dos consorciados ou cooperados. As novas regras, neste caso, facilitam o acesso à rede através preenchimento de um formulário padrão, a ser disponibilizado pela distribuidora local<sup>79</sup>. Outra inovação relevante da norma diz respeito à possibilidade de instalação de geração distribuída em condomínios e outros empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras. Nesta modalidade, a energia gerada pode ser repartida entre os condôminos em proporções definidas pelos próprios consumidores.

<sup>78</sup> BRASIL, P. PORTAL BRASIL. **Novas regras estimulam geração de energia pelos consumidores.** 2015. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2015/11/>. Acesso em: 06 de agosto de 2019.

<sup>79</sup> BRASIL, P. PORTAL BRASIL. **Novas regras estimulam geração de energia pelos consumidores.** 2015. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2015/11/>. Acesso em: 06 de agosto de 2019.

### 3 Justificativa

#### 3.1 Aumento tarifário de energia

Sem dúvidas o aumento histórico das tarifas de energia influenciou que os consumidores buscassem alternativas para reduzir seu consumo. Desde a Lei 8.631/1993 a tarifa de energia elétrica (R\$/kWh) no Brasil é definida pela ANEEL para cada monopólio regional atendido por uma distribuidora. A homologação da tarifa não acontece ao mesmo tempo para todas as distribuidoras. O processo ocorre ao longo do ano e a tarifa é homologada na data de aniversário de cada contrato de concessão<sup>1</sup>.

Três custos compõem a tarifa de fornecimento das distribuidoras, a saber: aquisição da eletricidade (geração e comercialização); transporte (transmissão e distribuição); e os encargos setoriais. De acordo com a Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica (ABRADEE), no período de 2017/2018 a aquisição de energia representava 35,7% da tarifa, encargos e tributos 44,5%, os custos de distribuição 16,9% e os de transmissão apenas 2,9%<sup>2</sup>.

A tarifa é dividida entre a parcela A e a parcela B. A primeira é composta pelos custos não gerenciáveis, ou seja, gastos com encargos setoriais, aquisição de energia e transmissão.

A segunda é composta pelos custos internos à distribuidora relacionados a OPEX (*Operational Expenditure* - despesas com operação e manutenção), CAPEX (*Capital Expenditure* - despesas com capital instalado) e remuneração do capital. A parcela B é sujeita à análise de eficiência em períodos de quatro anos, mas podem variar a depender da concessionária, e os ganhos de produtividade são capturados nas revisões tarifárias periódicas - RTP e repassados ao consumidor<sup>3</sup>. Na RTP também são consideradas as alterações nas premissas econômico-financeiras para manter o equilíbrio do empreendimento. Além disso, a cada ano é promovido o reajuste tarifário anual que atualiza o valor da tarifa de energia com o propósito de manter o poder de compra das receitas auferidas pela distribuidora.

Adicionalmente à tarifa de energia elétrica convencional, foi introduzido o ano de 2015 o sistema de bandeiras tarifárias, que adiciona o custo de despacho de termoelétricas em períodos de menor disponibilidade das fontes hidroelétricas e eólicas. Esse ajuste é justificado pelo fato de que quando a disponibilidade dessas fontes é baixa, a solução consiste na ativação das termoelétricas, geralmente onde o custo de

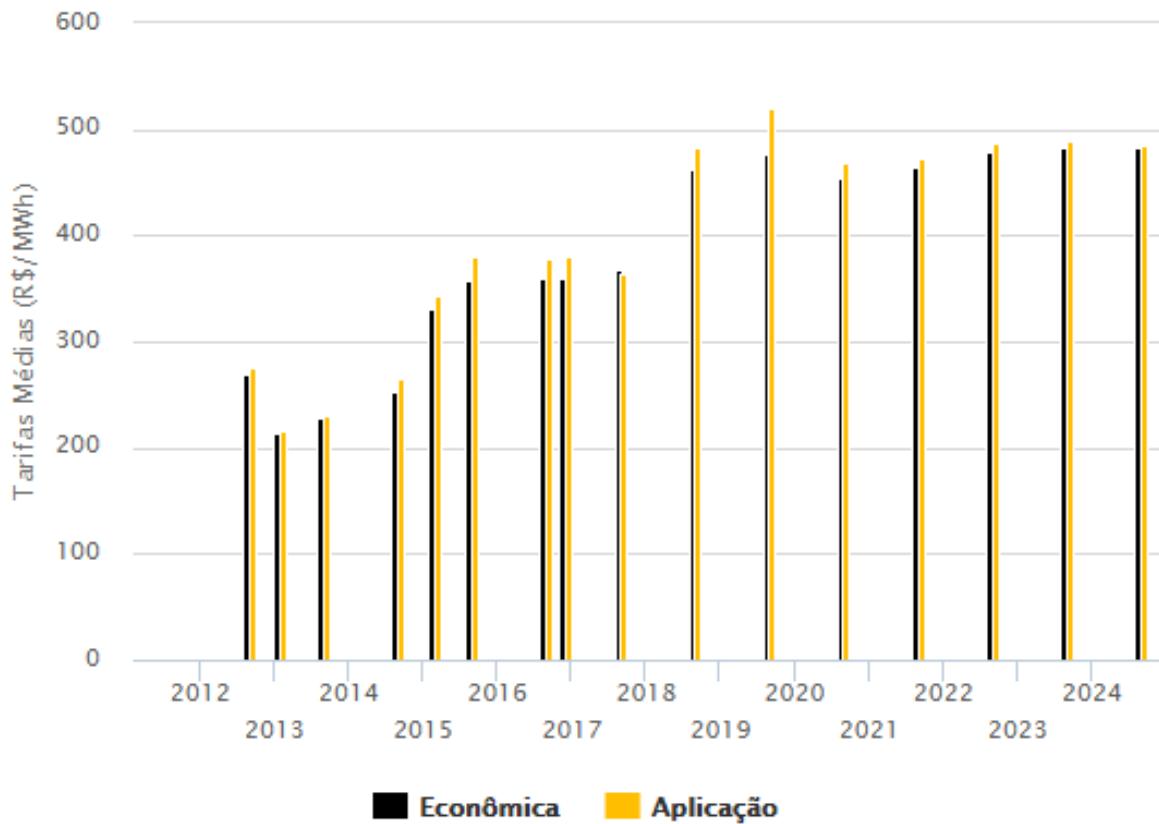
<sup>1</sup> CODI. **Comitê de Distribuição de Energia Elétrica, Tarifas horo-sazonais Azul e Verde. Manual de Orientação ao Consumidor.** Rio de Janeiro, 1988.

<sup>2</sup> ABRADEE. **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA. Relacionamento cliente x concessionária: direitos e deveres:** SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. Foz do Iguaçu: [s.n.], 2000.

<sup>3</sup> CARVALHO, C. H. R. Emissões Relativas de Poluente do Transporte Motorizado de Passageiros nos Grandes Centros Urbanos Brasileiros. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.** Disponível em: [http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/1578/1/td\\_1606.pdf](http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/1578/1/td_1606.pdf). Acesso em: 16 de agosto de 2019.

energia é mais cara, além de agredir mais o meio ambiente<sup>4</sup>.

**Figura 12 – Evolução tarifária CEMIG**



A Figura 12 apresenta a evolução tarifária dentro da área de concessão da distribuidora CEMIG, área de execução do presente trabalho. Na figura, são apresentadas duas barras, que compõem a estrutura tarifária. Estrutura tarifária é um conjunto de tarifas, aplicadas ao faturamento do mercado de distribuição de energia elétrica, que refletem a diferenciação relativa dos custos regulatórios da distribuidora entre os subgrupos, classes e subclasses tarifárias, de acordo com as modalidades e postos tarifários. A perspectiva histórica oferece, no ambiente economicamente e politicamente instável do Brasil, a calibração dos valores publicados para as concessionárias nas numerosas Resoluções da ANEEL e da conjuntura resumida na Figura 13. Por exemplo, há defasagens no ajuste das tarifas, que podem ter impactos importantes na comparação entre concessionárias quando esse for o objetivo. Apesar disso, é comum o aumento tarifário quando se analisa a evolução tarifária no cenário brasileiro em geral, fato motivador para este trabalho.

<sup>4</sup> ALMEIDA JUNIOR, C. R. S. **Proposta Metodológica para o Cálculo do Custo Marginal de Expansão do sistema Interligado Nacional.** 2017. 112 p. Tese (Engenharia em Sistemas e Computação) — COPPE/UFRJ.

### 3.2 Horário de ponta

Como qualquer sistema elétrico, as redes que se interligam através do SIN, a princípio, são dimensionadas para suportar seus momentos de maior carga, não importando se tratar da distribuição de energia de uma residência ou dos sistemas de geração e distribuição de uma distribuidora que forneça energia para todo um estado ou região. Analisando uma distribuidora de energia, por exemplo, em sua curva típica de carga, nota-se um pico no período compreendido entre o final do horário comercial e o início da noite, que ocorre porque neste horário um grande número de consumidores residenciais chegam em casa e começam a utilizar com mais intensidade a energia, além das indústrias que continuam funcionando. É neste horário que grande parte das consumidores residenciais utilizam por exemplo seus chuveiros elétricos, seus televisores, e iluminação em geral, é neste horário que os consumidores residenciais utilizam simultaneamente diversos aparelhos elétricos<sup>5</sup>.

Segundo a ANEEL, define-se horário de ponta como período definido pela distribuidora e aprovado pela agência reguladora para toda sua área de concessão, considerando a curva de carga de seu sistema elétrico e composto por três horas diárias consecutivas, exceção feita aos sábados, domingos, terça-feira de carnaval, sexta-feira da Paixão, Corpus Christi e feriados definidos por lei federal. A Tabela 5 apresenta o horário de ponta adotado por algumas das distribuidoras brasileiras pertencentes ao SIN.

Para os consumidores de grande porte que permanecem em atuação durante o horário de ponta, tais como shopping centers, hipermercados, fábricas etc., o custo da energia neste horário é muito elevado, o que justifica a geração próxima ao local de utilização. Os novos desenvolvimentos em tecnologias de geração elétrica em pequena escala, considerando geradores a diesel ou fontes renováveis, têm colocado tais centrais como uma alternativa concreta de suprimento de energia elétrica<sup>6</sup>.

O termo GD vem sendo utilizado para designar sobretudo os projetos de geração de pequeno porte, conectados de forma dispersa à rede elétrica, e configuram um modelo complementar ou alternativo aos das grandes centrais de potência no suprimento de energia elétrica<sup>7</sup>. A aplicação da geração distribuída em horário de ponta é um instrumento de grande valia para a diminuição dos custos operacionais, que garante uma maior confiabilidade e flexibilidade, assim como diversifica a matriz energética do sistema.

<sup>5</sup> ALMEIDA JUNIOR, C. R. S. **Proposta Metodológica para o Cálculo do Custo Marginal de Expansão do sistema Interligado Nacional**. 2017. 112 p. Tese (Engenharia em Sistemas e Computação) — COPPE/UFRJ.

<sup>6</sup> LORA, E. E. S. Geração Distribuída: aspectos tecnológicos, ambientais e institucionais. In: **Interciência**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2006.

<sup>7</sup> REIS, L. B. **Geração de energia elétrica**: tecnologia, inserção ambiental, planejamento, operação e análise de viabilidade. Barueri: [s.n.], 2003.

**Tabela 5 – Horários de ponta das distribuidoras brasileiras**

Distribuidora/Estado	Horário
CEMIG MG	17h às 20h
LIGHT RJ	17:30h às 20:30h
ELETROPAULO SP	17:30h às 20:30h
CELG GO	18h às 21h
COPEL PR	18h às 21h
COELCE CE	17:30h às 20:30h
COELBA BA	18h às 21h
CEB DF	18h às 21h
CELPE PE	17:30h às 20:30h
ENEL SP/RJ	18h às 21h
ELEKTRO	17:30 às 20:30h

Adaptado de ANEEL, 2019

## **4 Objetivos**

### **4.1 Objetivo geral**

O objetivo principal deste projeto consiste na análise de eficiência de consumo de uma unidade de minigeração de energia com grupo gerador movido à biodiesel B100 e conectada à rede elétrica com potência instalada total de 260 kva.

### **4.2 Objetivos específicos**

- 1) Construir um sistema para funcionamento dos equipamentos, prevendo conexões entre tanque de combustível e motor, painel elétrico de controle do grupo moto-gerador;
- 2) Caracterização em laboratório dos parâmetros físico-químicos do biodiesel adquirido;
- 3) Quantificar os fatores que influenciam na eficiência de consumo do combustível.

## 5 Materiais e métodos

Uma das formas de inserir uma nova fonte de energia a um sistema de regulação já existente, é testar o conceito através de uma planta experimental, assim esse conceito pode ser validado e os resultados podem embasar tomadores de decisão e empresas viabilizarem projetos de maior relevância. Os benefícios atribuídos a GD são vários e não devem conflitar com interesses das distribuidoras de energia, que visam preservar seu mercado, além de sentirem-se ameaçadas, pela atratividade da GD. A principal alegação relacionada à afirmação anterior, que teria como resultado a revisão das regras atuais estava prevista na Res. 482/2012, consiste no fato das distribuidoras decorrerem do fato de que a manutenção indefinida das regras atuais não permitiria, no médio e longo prazos, a remuneração adequada pelo uso da rede de distribuição, transferindo tais custos para a própria distribuidora e os consumidores que não optarem por instalar geração própria, os quais, em tese, seriam os consumidores com menor poder aquisitivo. No estudo denominado *Utility of the future, o Massachusetts Institute of Technology – MIT* alerta que a aplicação de um sistema de compensação (*net metering*) associado a tarifas puramente volumétricas implicaria em um “subsídio cruzado dos usuários com GD pelos consumidores sem GD”<sup>1</sup>.

Para solução desse problema, os pesquisadores propõem a adoção de um sistema de compensação em curtos intervalos de tempo (base horária ou inferior). “*Netting the internal generation and demand of all the devices behind the connection point to the network during a short time interval (one hour or less) is what we propose. However, the actual implementation of NEM — over long periods of time and accompanied by volumetric tariffs that include network and policy costs — introduces serious distortions in the tariff system*”

Para a Edison Foundation<sup>2</sup>, esse subsídio dado ao consumidor por meio do *net metering* possui ainda problemas de alocação: o benefício seria direcionado para consumidores de maior poder aquisitivo (e pago pelos de menor renda) e, além disso, nos casos de locação dos painéis, “a maior parte do subsídio é transferida para a empresa locadora”. “*Under NEM practices in California today, when a residential customer leases rooftop solar PV (which accounted for about 75 percent of all new residential rooftop solar PV in 2013), most of the NEM subsidy is transferred to the leasing company. This is one of the unintended consequences*”.

Tendo em vista que atualmente no Brasil ainda não existem sinais tarifários horários com essa granularidade, esse tipo de abordagem somente seria viável após uma maior evolução nos mercados de energia do país, bem como do mercado de

<sup>1</sup> MIT. “cross-subsidization of DG network users by customers without DG” (*Utility of the Future, p. 85, tradução livre*). 2016.

<sup>2</sup> TEI. THE EDISON INSTITUTE. Net Energy Metering: Subsidy issues and Regulatory solutions. Institute for Electric Innovation. The Edison Institute. September. 2014.

medidores – que teriam, em teoria, capacidade de abranger com essas estruturas tarifárias mais complexas.

O que se deve buscar é o equilíbrio, fator que de certa forma provoca as instituições do setor a se adaptarem, agindo de forma a propor soluções inovadoras e benéficas para ambos os lados. O experimento deste trabalho, baseia-se no estudo da combinação de fontes de energia em um sistema de geração elétrica distribuída. Foi instalado na sede da empresa Alsol Energias Renováveis, localizado em Uberlândia, MG situada a 18°52'07.51" S e 48°17'25.52" W. No local, o principal objetivo consiste no controle total do despacho de energia, através da combinação de fontes de geração, onde o quesito inovação já trabalhado por um projeto de P&D existente, que combina as fontes solar fotovoltaica e armazenamento com baterias, torna-se ainda mais inédito com a adição de um sistema de geração com grupo gerador à combustão, abastecido com biodiesel B100, ou seja, 100% de biodiesel, sem adição do diesel de origem fóssil.

## 5.1 Grupo gerador de energia

Utilizou-se no projeto, um grupo gerador de potência 360kW, em regime principal, que será utilizado para complementar, flexibilizar e garantir um despacho de energia contínuo, “flat” e com qualidade.

Compreende o fornecimento de um grupo gerador marca Fockink, Modelo SG0360BD, Linha Biodiesel, de potência de 360/325 kVA – 280/260 kW (Emergência / Principal), trifásico, com fator de potência 0,8, na tensão de 380 / 220 Vca, em 60 Hz, para funcionamento singelo e manual, com componentes apresentados na Tabela 6.

### *Motor diesel estacionário*

Contempla um motor tipo diesel, turboalimentado, quatro tempos, cinco cilindros em linha; Sistema de arrefecimento: através de ar/água através de radiador com ventilador soprante; Filtros: ar a seco, diesel com separador de água e óleo lubrificante

### *Gerador*

O sistema contém um alternador síncrono, trifásico, *brushless*, com excitação tipo excitatriz rotativa sem escovas com regulador automático de tensão. As potências de funcionamento compreendem: (a) Emergência: 360kVA/280kW; (b) Prime-power: 325kVA/260kW. O alternador tem tensão de 380/220Vca, frequência de 60hz. Sendo sua ligação do tipo estrela com neutro acessível. Número de polos / RPM: 4 polos / 1800 RPM; O item ainda conta com regulador de tensão eletrônico, que assegura máxima precisão e velocidade de correção das variações de carga, segundo o fabricante.

### *Painel de transferência fechada*

Na aquisição do equipamento foi solicitado o fornecimento de um quadro automático para realizar a partida/parada e medição do gerador, além de transferência “fechada” da rede da concessionária para o gerador, sendo o contrário também possível.

Foi utilizado o controlador modelo EasyGen-3200, da marca Woodward. O

**Tabela 6 – Componentes principais do grupo gerador**

Grupo gerador Fockink 360 kVA
Motor SCANIA modelo DC09
Gerador com excitatriz rotativa sem escovas, síncrono, trifásico, marca WEG, com grau de proteção IP21
Base de estrutura robusta e integralmente soldada
Sistema de proteção por disjuntor de 550A instalado na base do gerador
Amortecedores de vibração instalados entre motor, gerador e base
Baterias de partida chumbo ácidas, silenciador, segmento elástico e conjunto de manuais técnicos
Tanque de combustível com capacidade de 355 litros
Kit de interligação do tanque combustível
Escapamento com isolamento térmico
Duas baterias de chumbo ácido de 12vcc 150Ah

quadro foi equipado com um sistema para garantir a estabilidade da tensão nominal, sistema de proteção para alta temperatura da água, curto circuito, tensão, frequências anormais e falha de partida ou parada, além de supervisor de sobre corrente, leitura de tensão de rede e grupo F-F/F-N, leitura de horas de funcionamento, leitura de rotação do motor, leitura do grupo gerador e alarme à preventiva.

## 5.2 Painel elétrico de transferência e proteção

O sistema conta em adição ao painel de transferência que faz parte do grupo gerador, um painel de comando externo, utilizado para controle e sinalização sinótica. É relevante citar a presença de um relé secundário nesse equipamento para atender as proteções listadas pela distribuidora local, para o caso descrito neste trabalho, a norma ND.31 da distribuidora de energia CEMIG: Requisitos Para Conexão de Acessantes Produtores de Energia Elétrica ao Sistema de Distribuição da Cemig D. Além do relé citado, estão presentes transformadores de corrente e potencial, um Nobreak de 1000VA. Como acabamento vale ressaltar os isoladores, canaletas plásticas, sinaleiros e botões, disjuntor de comando e uma placa de disparo. A classificação fiscal NCM do produto referido é: 0085.37.1090, e as características do painel estão apresentadas na Tabela 7.

O painel de dimensões 800mm x 600mm x 200mm foi montado em caixa metálica tratada contra oxidações, com dobradiças reforçadas e compactas, fecho tipo rápido,

**Tabela 7 – Características do painel de transferência e proteção**

Item	Especificação
Tensão de operação	220 V
Classe de isolamento	0,6 kV
Tensão de controle	220 Vca
Tensão de serviços auxiliares	220 Vca
Frequência	60 Hz
Instalação	Abrigada
Classe de proteção IP	54
Estrutura do painecl	Aço carbono
Espessura das estruturas	1,2 mm
Tratamento da chapa	Fosfotizado
Pintura	Tinta pó poliéster
Pintura interna	Tinta pó híbrida
Espessura da pintura	60 micra

porta frontal, perfil especial de borracha, flange para entrada e saída de cabos, visor em acrílico transparente. Todas as especificações acima apresentadas foram orientadas pelas normas ABNT NBR IEC 60439-1 124/ NBR 5410 125/ NR 10 126. Os itens que precedem o funcionamento do sistema à biodiesel também foram analisados no trabalho, onde realizou-se levantamentos quantitativos da fonte biomassa utilizada como GD no país, análise jurídica se há algum impedimento para utilização desse tipo de combustível, consulta à órgãos regulamentadores – ANEEL E ANP e análise crítica sobre a utilização e viabilidade do sistema.

### 5.3 Construção do sistema

A implantação dos equipamentos apresentados teve início em março de 2019. Foram construídas 3 (três) bases de concreto, para suportar o grupo gerador, o tanque externo de combustível e o abrigo para o painel de proteção e sincronismo com a rede elétrica, todos com 30 cm acima do nível do solo e fundações dimensionadas para suportar as respectivas cargas, totalizando 15,3 m<sup>3</sup> de concreto com FCK 30Mpa. A Figura 13 mostra as bases sendo instaladas na sede da empresa Alsol Energias Renováveis.

**Figura 13 – Bases de concreto para suporte de grupo gerador, abrigo com painel de proteção e sincronismo de rede e tanque externo de combustível.**



A Figura 13 retrata as três bases em fase de construção, ainda com as formas externas em madeira alocadas, e em processo de secagem do concreto, sendo molhado para auxiliar no processo de cura e evitar rachaduras 129. Os equipamentos alocados sobre as bases de concreto são apresentados na sequência, nos itens 5.3.1, 5.3.2 e 5.3.3.

### 5.3.1 Grupo gerador carenado

Foi adquirido um grupo gerador à biodiesel 260kva, painel de transferência fechada, carenagem com proteção de 85 decibéis (DB) e painel para transferência e proteção. Em função da diferença do tempo de aquisição e execução da infraestrutura necessária, que passou de seis (6) meses, foi recomendado pelo fabricante Fockink a troca de óleo de dos filtros para correto funcionamento do sistema. O equipamento está representado na Figura 14, já as atividades de manutenção de troca de óleo lubrificante, troca dos filtros de óleo lubrificante, filtro de combustível e filtro separador, representados nas Figuras 15 e 16.

**Figura 14 – Representação do grupo gerador carenado**



**Figura 15 – Atividades de manutenção - troca de filtro de óleo lubrificante**



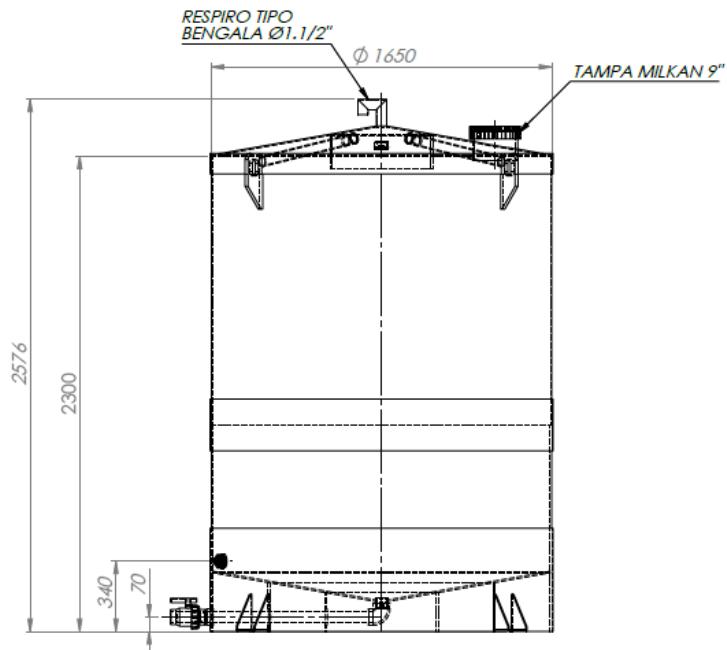
**Figura 16 – Atividades de manutenção - troca de filtro de combustível e filtro separador**



### 5.3.2 Tanque externo de combustível

O tanque externo foi providenciado após negociação com a empresa Grabe, o modelo de tanque escolhido foi o QUIMPLAST, de capacidade de 4 m<sup>3</sup>. O formato do tanque é cilíndrico e sua posição é vertical, contendo dimensões de 2550mm de altura e 1650mm de diâmetro. O tanque possui fundo levemente cônico e o tipo de tampo do equipamento é modelo chapéu chinês, e como recomendação do fabricante, para tanque acima de 2 m<sup>3</sup> foram fornecidas quatro (4) alças para içamento. O desenho técnico do tanque é representado pela Figura 17.

**Figura 17 – Projeto do reservatório de combustível de 4m<sup>3</sup>**



O tanque foi fabricado a partir de chapas de polietileno virgem com proteção contra raios U.V. (aptos para ficarem expostos ao tempo), calandradas e soldadas a quente. Possui tampo e fundo reforçados apresentando ótima resistência mecânica, bastante superior à de tanques plásticos convencionais. A escolha do material se baseou em Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico – FISPQ fornecida pela empresa Petrobras<sup>3</sup>. Na FISPQ em questão, além do polietileno, recomenda-se que os tanques de armazenamento sejam constituídos de algum dos materiais a seguir: (a) alumínio, (b) aço, (c) Teflon® ou (d) fibras de vidro. Na Figura 18 é apresentado o tanque de armazenamento para o B100.

<sup>3</sup> PETROBRAS. Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico – FISPQ BIODIESEL (B-100). 2015.

**Figura 18 – Tanque de armazenamento de combustível 4m<sup>3</sup>**

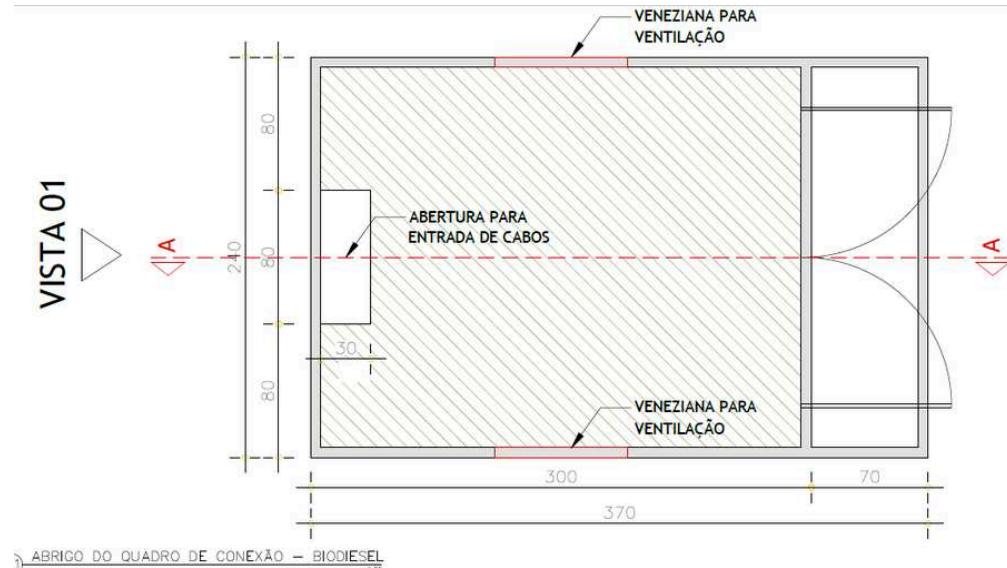


### 5.3.3 Abrigo do painel elétrico

O item foi fabricado pela empresa Andaimes Uberlândia, no modelo de container, nas direções de 2400mm de largura, 3700mm de comprimento e 2740mm de altura. O equipamento tem funcionalidade uma vez que abriga o painel elétrico, que não pode ficar ao tempo. Por sua vez, o painel é responsável pelo controle eletrônico do grupo gerador, e também pelo sincronismo com a rede elétrica, já que o sistema é conectado na rede da CEMIG, como GD, através da rede de distribuição que fornece energia ao local. Com o sistema instalado e os trâmites de solicitação de acesso e vistoria realizados pela concessionária, é possível injetar energia na rede de distribuição obedecendo o disposto nas regras da resolução 482/2012 da Aneel e suas revisões.

O sistema conta com a vantagem de ser instalado em um bairro industrial, ou seja, próximo a um polo de grande consumo, e por ser uma fonte despachável, torna-se possível a injeção de energia em horários de ponta, quando a energia é mais cara, período em que geralmente a rede tem maior demanda. A representação do projeto do abrigo, assim como o equipamento confeccionado, são apresentados nas Figuras 19 e 20. Já o painel elétrico apresentado nesta seção, é exibido na Figura 22.

**Figura 19 – Croqui do abrigo para o painel elétrico - quadro de conexão**



**Figura 20 – Abrigo do painel confeccionado na sede da empresa Andaimes Uberlândia**



Em relação ao painel elétrico – quadro de conexão, foi escolhido o relé de marca Woodward pela robustez, confiabilidade e praticidade para parametrização. A Figura 21 expõe o quadro de conexão já abrigado no interior do container construído. Nota-se que o painel se divide em duas partes, sendo a parte da esquerda da imagem, a parte que possui o relé Woodward, portanto o lado responsável pelo sincronismo e proteção da rede elétrica, e a parte da direita do painel com o controlador, responsável pelos comandos eletrônicos do grupo gerador. O controlador do grupo gerador adotado foi o modelo DST4602 fabricado e fornecido pela empresa Sices.

A figura 22 exibe as funções de proteção disponíveis no relé. Importante citar que o relé de proteção contém dispositivo para lacre por parte da distribuidora, assim como exigido pela mesma.

**Figura 21 – Painel de proteção e sincronismo com a rede elétrica**



**Figura 22 – Funções de proteção do relé Woodward**


Tecnologia em Proteção Elétrica e Automação Industrial

**Tabela de consulta rápida**  
Função ANSI

Função	Descrição
37	Subcorrente
50	Sobrecorrente instantânea de fase
51	Sobrecorrente temporizada de fase
51V	Sobrecorrente temporizada de fase com restrição por tensão
51C	Sobrecorrente temporizada de fase com controle de torque
50N	Sobrecorrente instantânea de neutro
51N	Sobrecorrente temporizada de neutro
51GS	Sobrecorrente temporizada de sensor de terra
50Q	Sobrecorrente instantânea de sequência negativa de fase
51Q (46)	Sobrecorrente temporizada de sequência negativa de fase (desequilibrio das correntes de fase)
67	Direcional de sobrecorrente de fase
67N	Direcional de sobrecorrente de neutro
67GS	Direcional de sobrecorrente de sensor de terra
32	Direcional de potência
59	Sobretensão de fase
59N (64G)	Sobretensão de neutro (sobretensão residual)
27	Subtensão
27-0	Subtensão alimentação auxiliar
47 (48)	Sequência de fase (falta de fase).
81	Frequência
25	Sincronismo
78	Salto vetorial
74	Alarme de continuidade da Bobina e falha no circuito da Bobina.
86	Bloqueio
62BF (50BF/51BF)	Falha de disjuntor temporizado
98	Oscilografia

Tabela de funções ANSI configuráveis no relé.

## 5.4 Montagem do sistema

Após conclusão de confecção e fornecimento dos componentes do sistema, os itens foram posicionados sobre as bases de concreto construídas por um guindaste munck. A movimentação de cargas obedeceu às normas de segurança cabíveis, para isolação da área e uso de equipamentos de segurança, dispostas na Norma Regulamentadora (NR) Nº 11 - Transporte, Movimentação, Armazenagem e Manuseio de Materiais<sup>4</sup>. A movimentação de cargas é demonstrada na Figura 23, e os equipamentos em suas posições finais são dispostos na Figura 24.

<sup>4</sup> BENTO, F. M. et al. Suscetibilidade do óleo diesel com 2 e 5% de biodiesel à contaminação microbiana durante a estocagem. **Revista Bióiesel**, v. 4, p. 24 – 26, 2006.

**Figura 23 – Movimentação do grupo gerador com guindaste**



**Figura 24 – Posicionamento dos componentes do sistema nas bases**



#### 5.4.1 Cobertura e bacia de contenção

O escopo desta atividade engloba cálculo estrutural, fabricação, transporte e montagem das estruturas, estrutura de cobertura, instalação de telhas, rufos e arremates, além da própria bacia de contenção, dimensionada para conter o mesmo volume de capacidade do tanque externo, de 4m<sup>3</sup>. As dimensões da bacia de contenção são de 2,90 m<sup>2</sup> e 0,60m de altura. A Tabela 8 mostra as normas seguidas para a construção dos itens citados.

A telha de cobertura foi construída em telha metálica termo acústica trapezoidal dupla, poliisocianurato 30 mm, pré pintada na cor branca, com espessura de 0,50mm. Os rufos foram fornecidos em chapa pré pintada, com espessura 0,65mm. Por fim, em relação à pintura das estruturas metálicas, foi realizado jateamento ao metal quase branco (Sa 2.1/2) com aplicação de tinta poliuretano alifático, com espessura 120 micras. A Figura 25 mostra as instalações de cobertura e bacia de contenção concluídas.

**Tabela 8 – Normas técnicas atendidas para construção de cobertura e bacia de contenção**

Identificação	Norma
NBR 880 / 1996	Projeto e Execução de estruturas metálicas
NBR 14762 / 2001	Dimensionamento de perfis formados a frio
NBR 6123 / 1988	Forças devidas ao vento em edificações
NBR 6120 / 1980	Cargas para o cálculo de estruturas de edificações
NBR 8261 / 2010	Perfis tubulares de aço carbono formados a frio
NBR 8681 / 2003	Ações e Segurança nas estruturas
AWS D1.1 / 2002	American Welding Society

**Figura 25 – Instalações de cobertura e bacia de contenção**

#### 5.4.2 Instalação de sistema de interligação de combustível entre tanque e grupo gerador

Os equipamentos fazem referência à instalação de um sistema de combustível entre o tanque vertical de 4.000 litros e o Grupo Gerador de 260 kVA. Tal sistema engloba a interligação entre o motor e o tanque de combustível externo e é composta por uma tubulação de alimentação, uma tubulação de retorno e um kit de visor de nível. Os itens citados foram detalhados na Tabela 9.

**Tabela 9 – Descrição de componentes do sistema de interligação entre tanque e grupo gerador**

Unidade	Item
1 pç	Redução de 2“ para 1 1/2”
1 pç	Redução de 1 1/2“ para 1”
3 pçs	Registro de 1“
20 metros	Tubulação tudo DIN 2440 de 1“
12 pçs	Curvas de 90° de 1“
1 pç	Filtro separador de água e óleo
1 pç	Redução de 1“ para 3/4”
2 pçs	Espigão
2 metro	Mangueira com trama de aço
15 metros	Tubulação tudo DIN 2440 de 1“
1 pç	Ampliação de 3/4“ para 1”
1 pç	Ampliação de 1“ para 1 1/2”
1 pç	Ampliação de 1 1/2“ para 2”
1 pç	Escala volumétrica
1 pç	Tubo visor de acrílico
1 conjunto	Jogo de sapatas para fixação no tanque
1 conjunto	Jogo de parafusos em inox

A Figura 26 demonstra as instalações do sistema de combustível, além da bomba para recirculação do combustível no tanque, para evitar criação de borra no tanque em função da armazenagem do biodiesel B100. A contaminação microbiana de misturas do biodiesel ao óleo diesel tem sido percebida como um problema crônico, quanto

maior a quantidade de biodiesel, há uma maior suscetibilidade desta nova mistura à contaminação microbiana. A formação de sedimentos durante o armazenamento incorreto pode ocasionar o entupimento e saturação prematura de filtro e aumento da corrosividade do combustível<sup>5</sup>. Estas consequências podem ocorrer concomitantemente e indicam condições inadequadas de armazenamento.

**Figura 26 – Instalações do sistema de interligação de combustível**



No Brasil, desde 2008, temos a presença de biodiesel na mistura com diesel. O biodiesel dependendo de sua origem (vegetal ou gordura animal) apresenta características distintas em termos de composição química. No país, cerca de 70% do biodiesel produzido e comercializado é obtido a partir de óleo de soja, reconhecidamente mais instável quimicamente que o biodiesel produzido, por exemplo, a partir de canola, como na Europa. A biodegradabilidade desse deve-se à presença de moléculas (ésteres de ácidos graxos), que são facilmente reconhecidas e degradadas pelos microrganismos<sup>6</sup>.

<sup>5</sup> KLINKSPON, N. Impact of biodeterioration on diesel fuel systems. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON STABILITY OF LIQUID FUELS**. Praga, República Tcheca: [s.n.], 2009.

<sup>6</sup> PASSMAN, F.; DOBRANICK, J. K. Relative biodegradability of b-100 biodiesel and conventional low

Os procedimentos de limpeza e drenagens regulares são medidas físicas que impedem o acúmulo da água formada nos lastros e constituem-se em uma forma estratégica no controle da infecção microbiana<sup>7</sup>. Em alguns formatos de tanque, tornasse impossível a drenagem em certos pontos, além da infecção microbiana se difundir de um tanque para outro com a passagem de um combustível sem contaminação, através de mangueiras ou filtros que tenham sido utilizados, para um combustível contaminado.

A preservação do combustível também pode ocorrer por meio da aplicação de compostos químicos, conhecidos como biocidas que impedem e controlam o desenvolvimento de populações microbianas deteriogênicas. As recomendações de um biocida para o uso durante o armazenamento de combustíveis incluem: (a) amplo espectro de ação (atividade contra fungos, bactérias aeróbias e anaeróbias); (b) capacidade de manter o seu efeito inibidor em presença de outras substâncias no meio em condições de operação semelhantes; (c) não ser corrosivo ao sistema; (d) apresentar propriedades de biodegradabilidade; (e) coeficiente de partição que garanta ação nas fases oleosa e aquosa e ter baixo custo<sup>8</sup>.

---

sulfur diesel fuels. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON STABILITY, HANDLING AND USE OF LIQUID FUELS, 9, 2005, Sitges, Spain. Proceedings.** [S.I.: s.n.], 2009.

<sup>7</sup> PASSMAN, F.; DOBRANICK, J. K. Relative biodegradability of b-100 biodiesel and conventional low sulfur diesel fuels. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON STABILITY, HANDLING AND USE OF LIQUID FUELS, 9, 2005, Sitges, Spain. Proceedings.** [S.I.: s.n.], 2009.

<sup>8</sup> MARIANO, A. P. et al. Biodegradability of diesel and biodiesel blends. In: **African Journal of Biotechnology.** [S.I.: s.n.], 2008. v. 7, n. 9.

## 6 Resultados e discussões

### 6.1 Aquisição e análise do coombustível

Foi contatada a empresa Royal FIC, distribuidora de combustíveis com atuação em diversos estados brasileiros e 26 bases espalhadas em todo o território nacional. A Royal FIC possui uma base no bairro Distrito Industrial, local próximo ao sistema de geração de energia desenvolvido para este trabalho, o que facilitou a aquisição e reduziu custos com frete do produto. O B100 foi adquirido em um volume de 3m<sup>3</sup>, volume inferior a capacidade do tanque de armazenamento, de capacidade de 4m<sup>3</sup>. A aquisição parcial justifica-se pelas partições do caminhão que carrega os combustíveis, divididos em bocas de 3, 5 e 10m<sup>3</sup> de capacidade.

As Figuras 27 e 28 retratam o procedimento de descarregamento de combustível, etapa em que foi verificado o lacre, que consta o número de série e qualidade do produto. A quantidade foi averiguada através do mostrador de nível externo ao tanque de armazenamento.

**Figura 27 – Verificação do lacre do combustível**



**Figura 28 – Procedimento de rompimento do lacre para descarregamento do combustível**



Juntamente com a entrega do B100, foi entregue também um laudo, Figura 29, requisitado pela instituição compradora, com características físicas e químicas do biodiesel adquirido.

Figura 29 – Legenda

SYS THECA //		THECA - Análise Petroquímica e Inspeções Laboratório de Uberlândia-MG.		
Nº Registro	0000103/2019	Boletim de Conformidade		
Nº Batelada	00000102	Resolução ANP nº 45 de 25/08/2014 - DO 26/08/2014		
Cliente		Royalfle		
Base Distribuição		G8 - UDI		
Amostragem				nº Lacre
Data	07/10/2019	Hora	07:30	Responsável pela Amostragem
Local Amostragem	Tanque 02			
Entrada no Laboratório				
Data	07/10/2019	Hora	08:00	Responsável pelas Análises
Dados das Análises Físico-Químicas				
Parâmetros	Resultados			
	Encontrado	Unidade	Limite	
Aspecto	LJF	N/A	Límpido e isento de impurezas - Vide nota 1 e 2	
Massa específica a 20 °C	880,1	Kg/m³	850,0 a 900,0	
Ponto de fulgor (vaso fechado), min.	136,0	°C	100,0	
Teor de água, máx.	198,0	mg/Kg	200,0 - Vide nota 3	
Temperatura de Ensaio	22,0	°C	Anotar	

É possível observar que os parâmetros de aspecto, massa específica, ponto de fulgor, teor de água estão dentro das especificações descritas na Resolução ANP nº45.

#### 6.1.1 Estudo do problema do uso de biodiesel em motores

Na literatura, constam argumentos que visam comprovar a inviabilidade do uso de biodiesel em motores, sendo utilizado como mistura ou combustível puro, dentre os principais, é possível citar: (a) a obstrução nos filtros de óleo e principalmente nos bicos injetores; (b) o comprometimento da durabilidade do motor; e (c) um aumento considerável nos custos de manutenção<sup>1</sup>. Outros autores<sup>2</sup>, demonstram que a baixa

<sup>1</sup> MACEDO, C. New heterogeneous metal-oxides based catalyst for vegetable oil trans-esterification. *Braz. Chem. Soc.*, v. 17, p. 1291 – 1296, 2006.

<sup>2</sup> O'BRIAN, R.; FARR, W.; WAN, P. *Introduction to fats and oil technology*. Champaing-II (EUA): AOCS Press. 2000.

volatilidade dos óleos vegetais e a alta viscosidade podem provocar problemas severos problemas ao bom funcionamento do motor, como a deposição de carbono provocada pela combustão incompleta e o entupimento dos sistemas de injeção.

Por definição, o biodiesel é um substituto natural do diesel fóssil, produzido a partir de fontes renováveis como óleos vegetais ou gorduras animais. Quimicamente é definido como éster de ácidos graxos derivados de lipídeos de ocorrência natural, através da reação de triglicerídeos com etanol ou metanol, na presença de um catalisador ácido ou básico<sup>140</sup>. Embora essa seja uma definição amplamente aceita, alguns autores, como generalização, ainda associam o termo a qualquer ação que promova a substituição do diesel na matriz energética mundial. Portanto, é importante frisar a relevância do uso do biodiesel neste trabalho para aplicação em Geração Distribuída, abrindo possibilidades e apresentando alternativas para diferentes aplicações que possam movimentar o setor, diminuindo parcialmente assim, a dependência do aumento na mistura obrigatória, para aumento nos números de produção do biocombustível no Brasil, consequentemente, trazendo mais investimentos e diversificação para a área de Geração Distribuída, que é comumente associada apenas a fonte solar fotovoltaica.

**Tabela 10 – Usinas com GD, por tipo de geração**

Tipo	Quantidade	Potência Instalada
CGH	100	97.081,80
EOL	60	10.360,86
UFV	137.059	1.587.940,76
UTE	199	51.076,04
<b>TOTAL</b>	<b>137.418</b>	<b>1.476.459</b>

Adaptado de ANEEL, 2019

Analizando a Tabela 10, adaptada de ANEEL, nota-se a grande predominância de usinas solares fotovoltaicas como unidades consumidoras que possuem geração distribuída, ultrapassando 99% em quantidade de usinas. Fazendo a mesma análise para a potência instalada por fonte, o número é de 90,92%.

Os números ao contrário de serem visto como restrições, devem servir de alerta de incentivo para as instituições que trabalham com biomassa, por exemplo, como oportunidades de desenvolvimento ao imenso potencial agroindustrial brasileiro. A introdução do biodiesel na matriz energética brasileira conseguiu em apenas uma década estruturar parques industriais capazes de produzir cerca de 4 bilhões de litros de biodiesel por ano. Essa parcela do setor industrial é estratégica para o país, pois consegue substituir parcialmente a importação de derivados de petróleo, gerando

empregos e renda no Brasil.

No entanto, ainda é atribuído a introdução das misturas BX ao diesel problemas para o setor de combustíveis no país. Principalmente com a formação de sedimentos e formação de compostos oxigenados que aumentam o desgaste e a corrosão de tanques, tubulações, bombas e sistemas de injeção.

Diversos pesquisadores têm-se debruçado no estudo destes problemas e na proposição de soluções. Um exemplo relevante e que contribui positivamente para o uso de biodiesel como biodiesel é o estudo conduzido por Wahnfried, 2019<sup>141</sup>. Segundo os estudos conduzidos pelos autores, um dos problemas mais graves associados ao uso de biodiesel em motores é a formação de sedimentos oxidados na ponta do bico injetor de combustível, comumente conhecido como coque. O coque causa diminuição do furo de injeção em motores diesel de nova geração e o aumento do teor de metais em biodiesel pode aumentar a possibilidade de falhas na injeção de combustível pela formação e deposição de metais oxidados.

Em complemento ao exposto no parágrafo anterior, Antoniosi Filho<sup>3</sup>, constatou que para misturas de B10, o combustível que foi adicionado o biodiesel teve uma redução na concentração de metais, fato que seria positivo para a diminuição da formação de coque nos bicos injetores.

Os metais marcados com \* são elementos monitorados pela ANP.

Os valores apresentados mostram uma redução de 86% para 70% em relação ao teor de enxofre encontrado no combustível, além de uma redução de 10% para o total de metais encontrados. Apesar dos resultados obtidos o autor apresenta como ponto de atenção para teores elevados de biodiesel, pois a estabilidade à oxidação apresenta tendência de queda conforme o aumento do percentual BX.

A Tabela 11 apresenta argumentos que possam melhorar o desempenho de motores ao se adicionar de biodiesel ao diesel A. Esse fato é comprovado e está em acordo com estudos que compararam misturas de BX no desempenho de motores, para algumas porcentagens de misturas. Mujahid, (2013)<sup>4</sup> observou que menos combustível é necessário para a mesma potência quando o biodiesel substitui o diesel em até 20% do volume. Santos et al., (2018) comparou desempenho de um grupo gerador abastecido com misturas diesel-biodiesel e diesel-biodiesel-etanol e foi verificado que quando considerado o consumo específico de combustível, o menor consumo deu-se para a mistura B20.

<sup>3</sup> BEZERRA, K. da S.; ANTONIOSI FILHO, N. R. ANÁLISE COMPARATIVA DO CONTEÚDO EM ESTEROIDES LIVRES DE DIFERENTES ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEIS POR CROMATOGRAFIA GASOSA. **Química Nova**, scielo, v. 38, p. 498 – 505, 05 2015. ISSN 0100-4042. Disponível em: <http://www.scielo.br/scieloOrg/php/articleXML.php?lang=en&pid=S0100-40422015000400498>.

<sup>4</sup> MUJAHID, M. A. Energy Sustainability : study of fuel efficiency and engine properties by using biodiesel and fossil diesel. **Proceedings of International Conference on Energy and Sustainability**, 2013.

**Tabela 11 – Concentração de metais em óleo diesel S10 e mistura S10 B10**

Elemento	Óleo diesel S10 (mg/kg)	Mistura S10 B10 (mg/kg)
Ag	<LQ	<LQ
Al*	0,27	0,38
Ba	<LQ	<LQ
Ca*	<LQ	0,14
Cd	<LQ	<LQ
Cr	<LQ	<LQ
Cu	<LQ	<LQ
Fe	<LQ	<LQ
Mg*	<LQ	0,04
Mn	<LQ	<LQ
Mo*	<LQ	0,07
Na*	0,73	1,27
Ni	<LQ	<LQ
P*	0,42	0,74
Pb*	<LQ	0,1
Sn	<LQ	<LQ
Ti	0,01	<LQ
V*	<LQ	0,01
Zn	<LQ	<LQ
S*	8,7	6,4
<b>TOTAL</b>	<b>10,13</b>	<b>9,15</b>

Adaptado de ANTONIOSI FILHO, 2019

## 6.2 Consulta as agências regulamentadoras

Extrapolando as usinas termelétricas (UTE), a ANEEL considera a divisão de implantações conforme a Tabela 12.

**Tabela 12 – Unidades com GD com tipo de geração UTE**

Fonte	Quantidade	Potência (kW)
Bagaço de cana de açúcar	6	411
Biogás (RA, RU, AGR, Floresta)	175	28.362,36
Casca de arroz	5	4900
Gás de alto forno - biomassa	3	5361
Gás natural	6	3931,68
Resíduos florestais	4	8110

Adaptado de ANEEL, 2019

Das 199 usinas já conectadas e reconhecidas pela ANEEL que utilizam alguma fonte do tipo UTE, verifica-se que nenhuma utiliza a fonte biodiesel como combustível em grupos geradores à combustão. A partir dessa prerrogativa foram feitas consultas aos órgãos regulamentadores ANEEL e ANP. Ambas as agências foram contatadas através de canais de comunicação online, obtendo-se os seguintes retornos:

A ANP foi contatada através do canal Fale Conosco presente no site da agência. Através de texto escrito pelo formulário do site foram registradas as seguintes questões:

- I) A aquisição de biodiesel puro, b100 pode ser feita de forma direta através de uma distribuidora ou usina que fabrica o produto?
- II) Faz-se necessário a autorização da anp para aquisição de biodiesel b100? Se sim qual procedimento deve ser seguido? Existe algum formulário pronto?
- III) Existe um limite de compra para o biodiesel b100 sem autorização ou apenas notificação junto ao órgão ANP?

O atendimento, então, recebeu um número de atendimento – 277642, e o retorno, foi recebido por e-mail, no dia 08/09/2019, com assinatura do Centro de Relações com o Consumidor – CRC/ANP com os seguintes dizeres:

*“Em atendimento a sua manifestação 277642, informamos que a atividade de produção de biodiesel no país é regulamentada pela Resolução ANP nº 30 de 2013 (disponível no sitio da ANP na internet). De acordo com o art. 17 desta resolução, o*

*Produtor de Biodiesel poderá comercializar Biodiesel com: [...] III - o mercado externo, diretamente, quando autorizado pela ANP ao exercício da atividade de exportação de Biodiesel; [...] VII - agente autorizado pela ANP para utilização de Biodiesel, B100, e de suas misturas com óleo diesel, em teores diversos do autorizado por legislação específica, de acordo com o disposto na Resolução ANP nº 34, de 28 de julho de 2016; VIII - agente autorizado pela ANP para utilização de combustíveis não especificados no país, destinados ao uso experimental, de acordo com o disposto na Resolução ANP nº 19, de 22 de junho de 2007, ou legislação que venha substituí-la; IX - agente autorizado pela ANP para utilização de Biodiesel, B100, e de suas misturas com óleo diesel, destinados ao uso específico, de acordo com o disposto na Resolução ANP nº 02, de 29 de janeiro de 2008, ou legislação que venha substituí-la.*

A análise então foi estendida a interpretação da Resolução ANP nº 34 de 28 de julho de 2016 onde constatou-se no artigo 1º, inciso 2º: “*Fica dispensado de prévia anuência da ANP o uso experimental ou específico que trata o caput, caso consumo mensal do combustível a ser testado seja inferior a 10.000 litros*”.

Concluiu-se então que a instalação não teria impeditivos da legislação em relação a aquisição e uso experimental do biodiesel B100.

Na ANNEL, O Protocolo-Geral é o setor responsável pelo recebimento da documentação encaminhada para à agência e cuida da distribuição dessas informações pela mesma. A ANEEL disponibiliza meios digital e recepção no guichê. Pela impossibilidade de assinatura eletrônica, foi enviado um ofício eletrônico enviado à agência no dia 05 de setembro de 2019, com os seguintes questionamentos:

- I) Qual a abrangência da fonte biomassa para usinas de micro e minigeração de energia e se ela inclui biodiesel?
- II) Faz-se necessário a autorização da ANEEL para uso de biodiesel para utilização em grupos geradores de energia?

Até o momento de escrita deste capítulo não houve retorno formal da ANEEL, apenas confirmou-se o recebimento do ofício onde constava a sugestão de consulta ao FAQ, documento de perguntas frequentes sobre geração distribuída.

No FAQ, disponível em <https://bit.ly/33iPHvx> não consta nenhuma informação sobre a utilização de biodiesel. Entretanto, na resposta do item 1.3 consta a apresentação a diferentes tipos de fonte de energia, segundo a agência: “*além de painéis solares, há diversas outras opções, tais como: turbinas eólicas, geradores a biomassa, hidrelétricas bem pequenas*”.

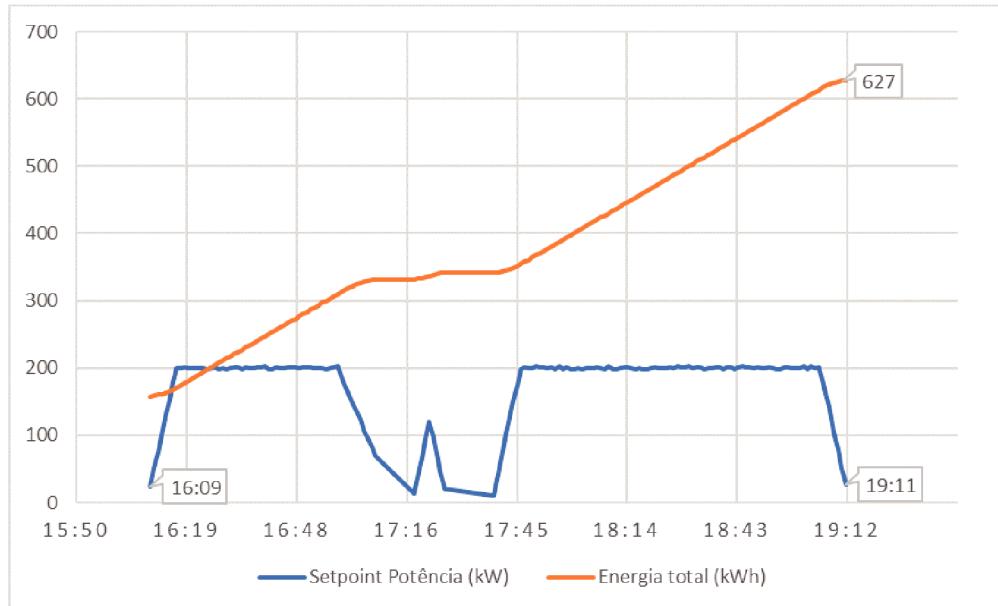
Apesar do não retorno, foi obtido através de e-mail uma resposta do Superintendente de Regulação Marco Aurélio Lenzi Castro. No e-mail o especialista formaliza: “*A REN 687/2015, que alterou a REN 482/12, enquadrou na micro e minigeração todas as “demais fontes renováveis de energia elétrica”, na qual se inclui o biocombustível B100.*

O B100 é composto de 100% de biocombustível, logo 100% renovável, e é regulado pela ANP. Assim, não há, a princípio, problemas quanto a esse enquadramento.”.

### 6.3 Testes de funcionamento

Para iniciar os testes práticos, o combustível então foi testado no grupo gerador, com uma potência ajustada em 200kW, obtendo-se os resultados apresentados na Figura 30.

**Figura 30 – Teste inicial de potência e energia acumulada**

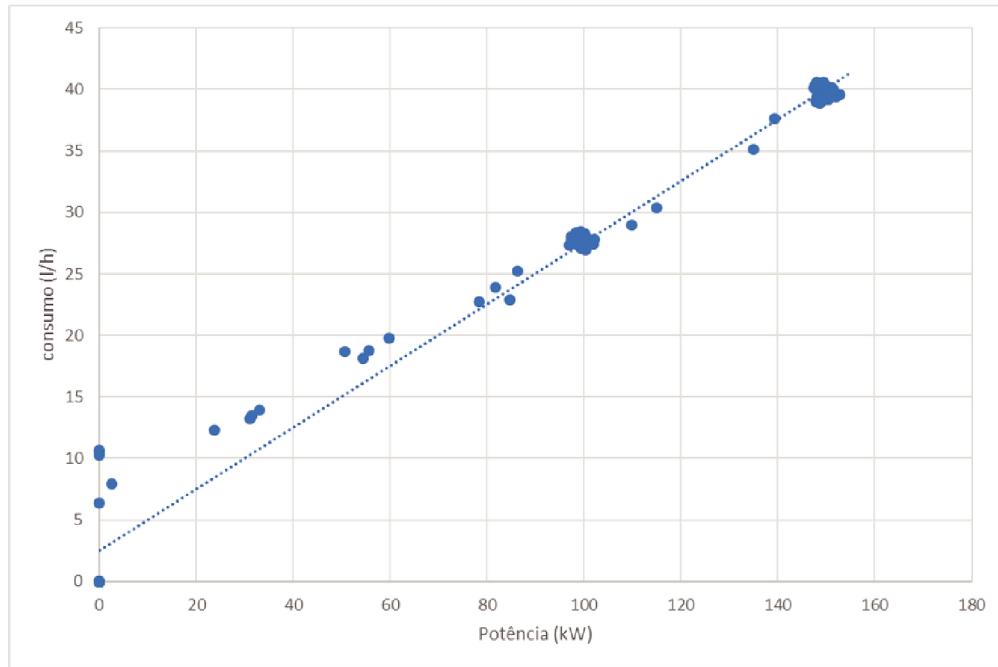


A Figura 30 demonstra a potência do sistema e a energia em kWh acumulada no período. O teste foi realizado no dia 18 de outubro de 2019, entre o horário de 16:00h e 19:00h, período representado pelo eixo X. O eixo Y, na escala de kW, observa-se tanto a potência do sistema ao longo do tempo (linha azul), quanto a energia acumulada no período. A queda de potência que pode ser observada entre 17:00 e 17:45 horas justifica-se pelo desligamento do equipamento para instalação de um analisador de energia.

### 6.4 Testes com variação de potência

No intuito de esclarecer qual seria a melhor configuração para o desempenho do sistema, foi realizado um teste de variação de potência para verificar eficiência do consumo de combustível, além de relacionar o consumo com a geração de energia elétrica. Variou-se então a potência em dois níveis, 100 kW e 150 kW. Os resultados obtidos estão representados nas Figuras 31 e 32.

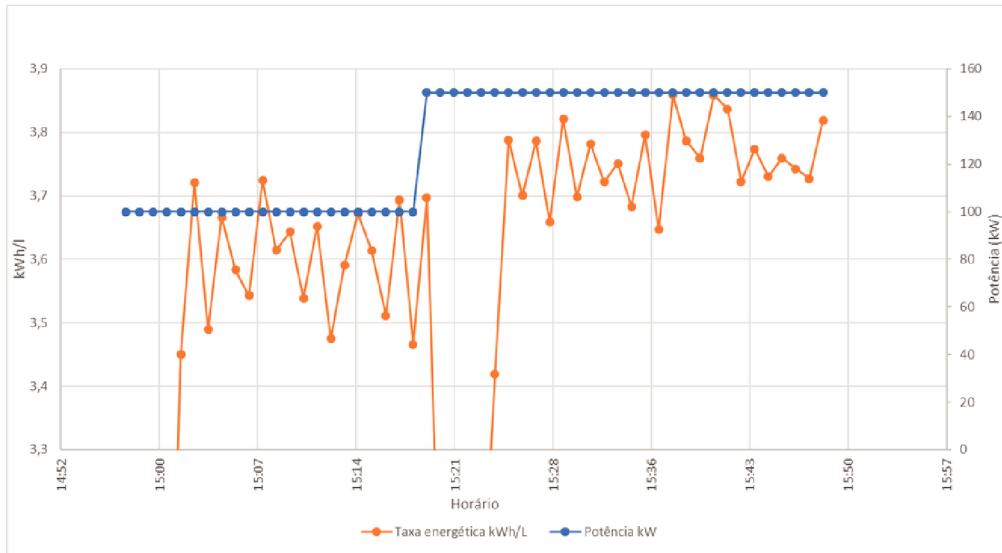
**Figura 31 – Consumo instantâneo do grupo gerador no teste de variação de potência**



O grupo gerador foi configurado para funcionar durante um período de 15 minutos em duas potências diferentes. O teste ocorreu durante o dia 18/11/2019 entre às 14:55 horas e 15:48 horas.

Analisando o gráfico da Figura 31 acima, observa-se o consumo instantâneo em litros por hora do equipamento, em relação a potência, parâmetro que variou entre dois “setpoints”, sendo configurado em 100kW e 150kW. Muitas das dificuldades de implementação de sistemas e análise de resultados partem da falta de padronização e disponibilidade de equipamentos<sup>146</sup>. A carência de equipamentos para operar o sistema pode ser evidenciada pela ausência de normatizações que busquem padronizar esse tipo de trabalho, fator que intensificado quando buscamos trabalhar com um tipo de combustível não convencional, cmo o B100 para a aplicação em questão.

Importante ressaltar que para padronização do teste realizado, foi necessário um período maior do que 30 minutos para que o sistema funcionasse durante 15 minutos continuos nas duas configurações de potência. O tempo maior é justificado pelos seguintes fatores: O gerador encontrava-se desligado, e precisa de um tempo para atingir a potência de 100 kW (processo conhecido como “ramp up”), além dos processos de sincronização com a rede elétrica e resfriamento do motor, ao final do teste (processo conhecido como “ramp down”). O tempo maior para realização do teste é mais bem observado no eixo horizontal da Figura 32.

**Figura 32 – Taxa energética instantânea em teste de variação de potência**

Na Figura 32 foi evidenciado no eixo horizontal o tempo de realização do teste. Além disso é possível observar dois eixos verticais, sendo o da direita representando o *setpoint* de potência, sendo esse um parâmetro fixo, ou seja, que representa a potência configurada no controlador do sistema e não a potência real e instantânea do sistema, pois essa varia durante os processos de *ramp up* e *ramp down*. E o eixo vertical da esquerda do gráfico da Figura 32 que apresenta a taxa energética, na unidade kWh/l, calculada pela seguinte equação:

$$\text{Taxaenergética}(\frac{\text{kWh}}{\text{l}}) = \text{potncia}(\frac{\text{kW}}{\text{1}}) * \text{consumo}(\frac{\text{h}}{\text{L}})$$

Tal cálculo é obtido através de um Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados, possibilitando a extração dos resultados a partir do software Microsoft Access.

A taxa energética, assim como os demais parâmetros monitorados, foi programada para realizar um evento de coleta de dados a cada minuto. Constatou-se a maior variação da taxa energética entre 3,44 e 3,82 kWh/l. A taxa apresentou uma média de 3,59 kWh/l para a potência de 100 kW, considerando os 15 minutos que o sistema manteve a potência de 100kW. Durante os 15 minutos que o sistema operou a 150 kW, a média da taxa energética foi de 3,76 kWh/l. Para ambos os casos foram excluídos os dados em que o sistema estava em *ramp up* ou *ramp down*.

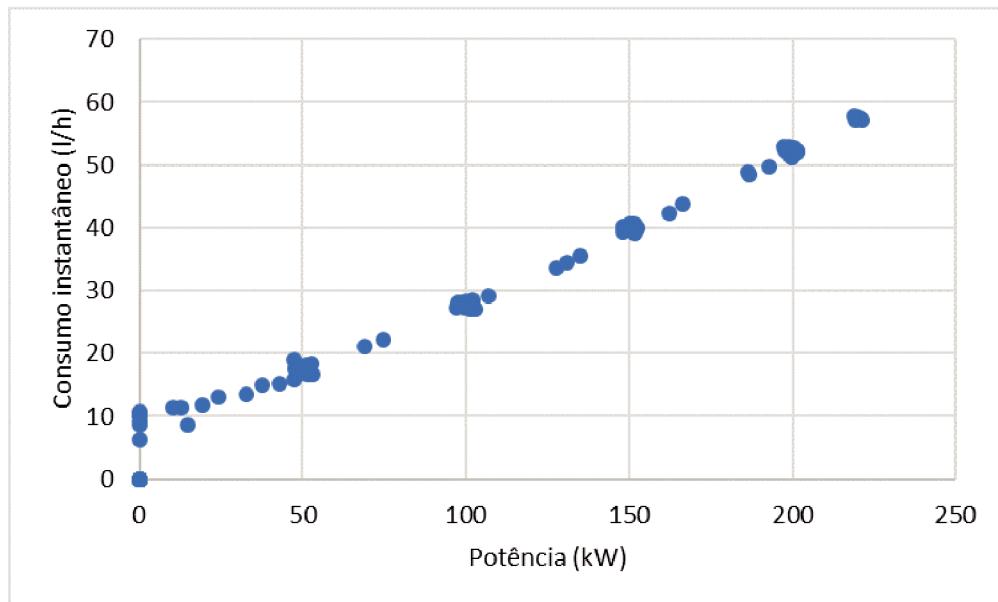
Analizando a Figura 32, foi possível verificar que o parâmetro potência, para essa configuração de sistema, nas condições e equipamentos utilizados, interfere na taxa energética calculada, fato que direcionou a realização de um teste mais completo, com maiores variações no parâmetro potência, apresentado na sessão 6.3.1 deste trabalho.

#### 6.4.1 Verificação da taxa energética com variação de potência

Variou-se a potência em 4 níveis, começando em 50 kW, sendo incrementada mais 50 kW de potência, desta vez em períodos de 30 minutos até 200 kW. Como foi levado em consideração o setpoint de potência, pois o sistema, embora varie, consegue manter a potência no valor configurado estável e o consumo instantâneo, ambos coletados com frequência de um em um minuto, o tempo de amostragem não interferiu para os cálculos. Por outro lado, em busca de padronização, os testes foram conduzidos levando em consideração sempre os mesmos 30 minutos, a fim de que os cálculos realizados para cada período tivessem a mesma quantidade de dados.

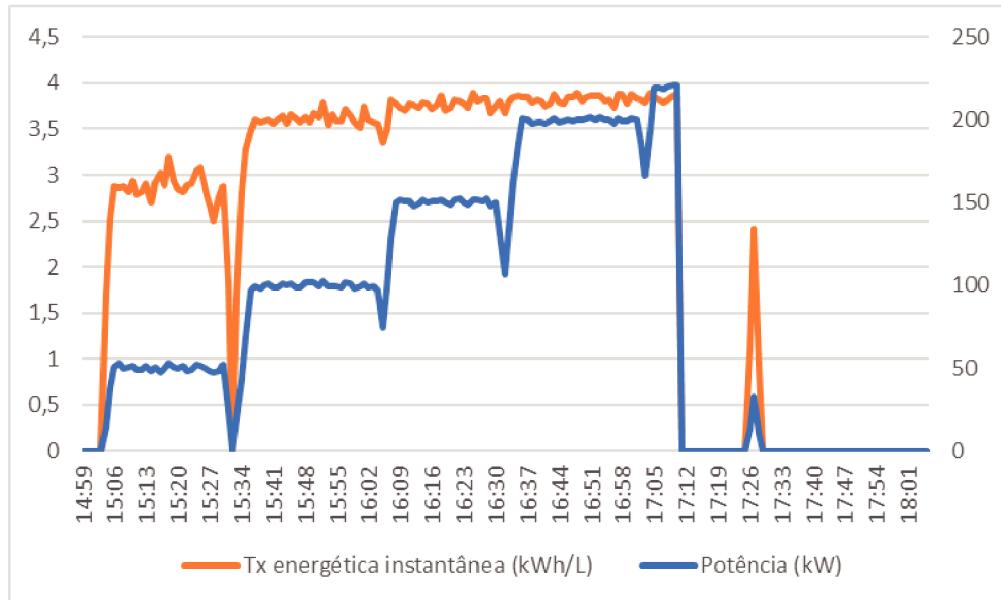
Como apresentado na sessão de objetivos específicos e validado na sessão 6.3 deste trabalho, variaram-se as configurações de potência afim de quantificar o quanto esse parâmetro interferiria no desempenho do sistema, demonstrando que tem uma relação direta com a taxa energética, que por sua vez, leva em consideração além desse parâmetro de configuração, o consumo em litros por hora do equipamento.

**Figura 33 – Consumo de combustível instantâneo em relação à potência (L/h)**



O consumo de combustível apresentou um crescimento linear conforme o incremento de potência. No gráfico é possível notar que nas potências 50, 100, 150 e 200 kW coincidem vários pontos na curva, o que demonstra que o sistema leva um tempo para atingir a potência configurada, porém consegue se manter garantindo por exemplo, o despacho de energia contínuo.

**Figura 34 – Taxa energética obtida em função da variação de potência de 50 a 200 kW**



Excluindo-se os dados coletados em que o sistema se encontrava em *ramp down* ou *ramp up* obteve-se uma variação de 2,50 kWh/L, quando o sistema funcionou com 50 kW, e 3,89 kWh/L, quando o sistema estava configurado em 200 kW. Observou-se então que quanto maior a potência, mais vantajoso seria a utilização do sistema em relação à energia elétrica gerada em função do consumo de combustível naquele período.

Nota-se também que houve uma tentativa de aumentar ainda mais a potência, teste que foi interrompido por um intertravamento de proteção do sistema. Como esperado, o sistema chegou ao seu limite operacional ocasionando em um desligamento brusco do grupo gerador. Os dados coletados nesse período foram descartados pois a potência superior a 200 kW não é segura para o funcionamento em regime contínuo do sistema.

## 6.5 Consolidação dos testes e resultados

Na Tabela 13 é apresentado os dados consolidados nos dias em que foram realizados testes. Para consolidação, foram descartados os dados em que o equipamento não funcionou.

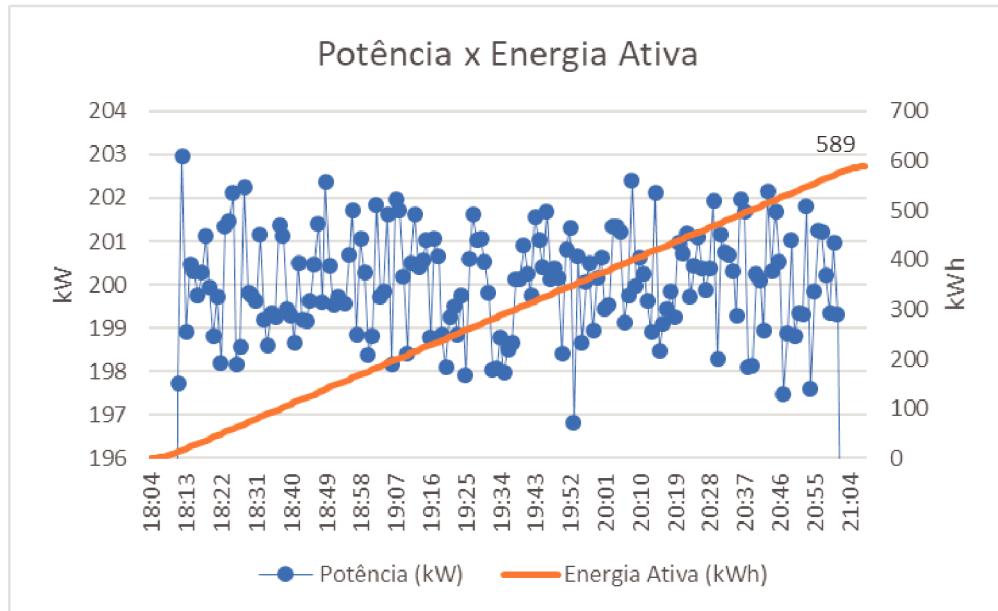
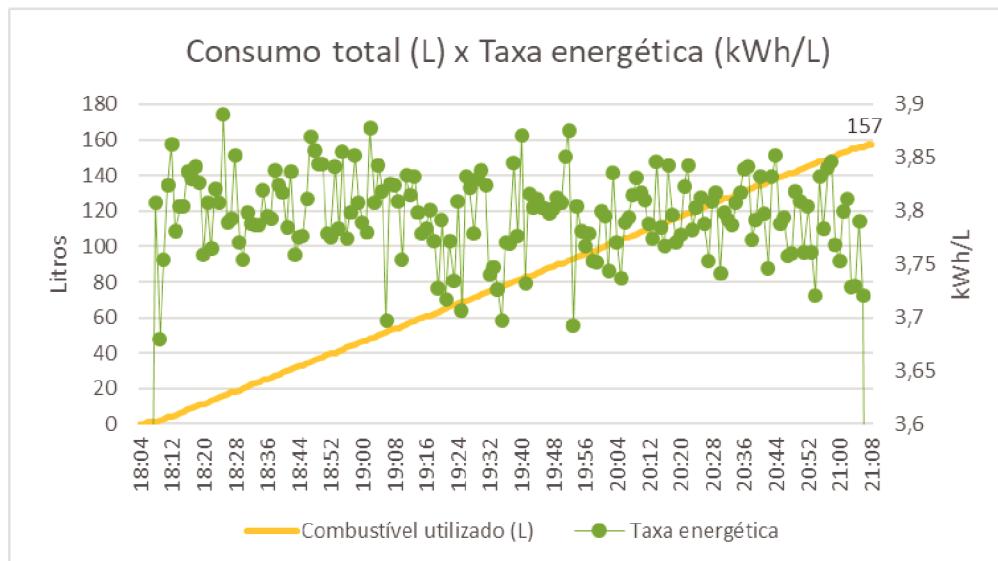
No dia 10 de dezembro de 2019 se obteve os melhores resultados, quando o sistema foi programado para funcionar das 18 às 21 h com setpoint de potência em 200 kW, exemplificando o funcionamento no horário de ponta, os resultados extraídos constam na Tabela 14 e nas Figura 35, 36 e 37.

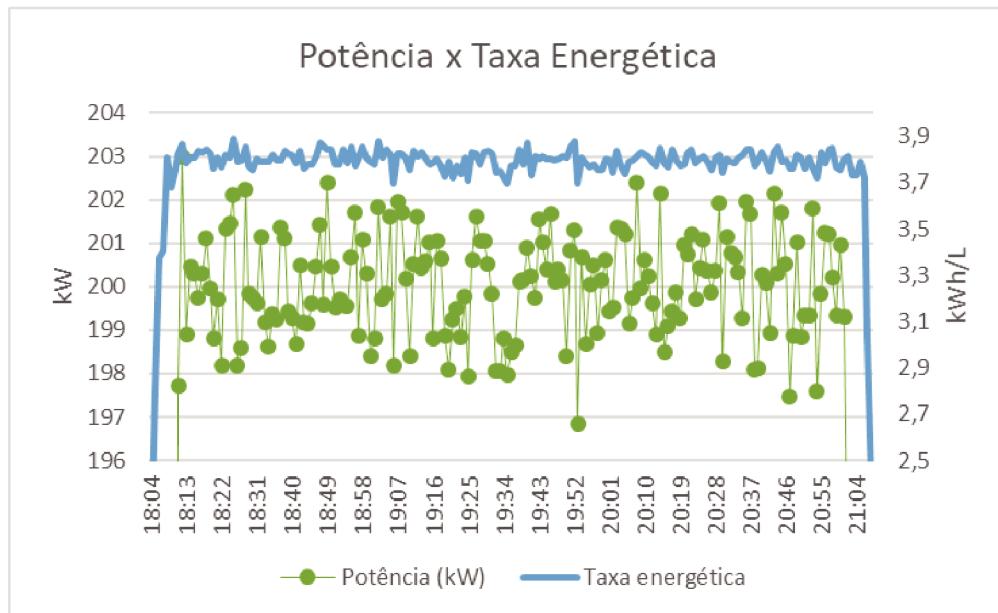
**Tabela 13 – LDados consolidados dos testes realizados com combustível B100**

Data	Hora Max	Hora Min	Horas funcionamento	Energia gerada (kWh)	Combustível consumido (l)	Potência Média (kW)	Taxa energética média (kWh/L)
10/12/19	21:08	18:04	03:04	589	157	192,91	3,77
09/12/19	21:09	18:05	03:05	594	157	191,79	3,74
04/12/19	21:09	17:04	04:05	795	210	193,68	3,74
03/12/19	14:44	10:48	03:56	774	205	196,32	3,76
28/11/19	21:08	17:06	04:02	783	207	194,34	3,77
27/11/19	20:08	15:04	05:04	995	263	195,58	3,77
26/11/19	18:38	14:34	04:04	795	210	194,12	3,77
22/11/19	17:44	13:44	04:00	779	204	193,65	3,78
21/11/19	17:28	15:04	02:24	263	73	123,46	3,44
18/11/19	16:06	13:23	02:42	134	283	114,51	3,43

**Tabela 14 – Dados do dia com maior média de taxa energética obtida**

Data	Hora desliga	Hora liga	Horas funcionamento	Energia gerada (kWh)	Combustível Consumido (L)	Potência média (kW)	Taxa energética média (kWh/L)
10/12/19	21:08	18:04	03:04	589	157	192,91	3,77

**Figura 35 – Potência e taxa energética 10/12/19 - HP****Figura 36 – Consumo e taxa energética 10/12/19 - HP**

**Figura 37 – Potência e taxa energética 10/12/19 - HP**

## 6.6 Viabilidade do sistema

Os fatores ambientais combinados com a elevação dos preços do petróleo favorecem a expansão do mercado de produtos combustíveis derivados da biomassa no mundo todo. O exemplo mais clássico é o etanol para uso em automóveis. No caso do biodiesel, o uso pode se estender para caminhões, ônibus, tratores, transportes marítimos e em motores estacionários para a produção de energia elétrica, como o objeto deste estudo.

As taxas energéticas encontradas para o caso do grupo gerador instalado na empresa Alsol Energias Renováveis são baixas quando se leva em consideração o custo do combustível somado aos custos de implantação, custos de manutenção periódica como trocas de óleo e filtro necessárias a cada 500 horas de funcionamento e custos de operação, o que aumenta a complexidade da aplicação da fonte como fonte primária de despacho de energia. Por outro lado, encontra-se estudos na literatura que apresentam resultados satisfatórios para o B100, comparando com o diesel fóssil:

- Em VOLPATO, C. *et al.* avaliou-se o desempenho de um motor de ciclo diesel quatro tempos e quatro cilindros utilizando biodiesel de óleo de soja (B100), em comparação ao óleo diesel. Foram analisados os parâmetros: potência efetiva e reduzida, torque, consumo específico e energético de combustível, eficiência termomecânica e volumétrica. Os testes realizados mostraram viabilidade de operação de um motor ciclo diesel com biocombustível (B100) soja. Apesar da perda de torque com a utilização do biocombustível, sendo 10,7% menor ao diesel na rotação de trabalho, O biodiesel de soja apresentou menor consumo

específico e energético em relação ao diesel, sendo 14,66 % menor na rotação de trabalho (540 rpm)<sup>5</sup>.

- SILVA, M. et al. ressaltou que o estudo de fontes alternativas de energia ao óleo diesel mineral, como o biodiesel, com origem renovável, é importante para o meio-ambiente e diversificação da matriz energética. No estudo de desempenho foi avaliado o desempenho de biodiesel B100 e misturas BX. Para as proporções de biodiesel B40, B60 e B100 os resultados descreveram redução no valor calórico e aumento do consumo específico. Portanto, realizando comparação das proporções de biodiesel com o óleo diesel, a proporção B20 substitui parcialmente o óleo diesel, sem perdas significativas do desempenho do motor gerador<sup>6</sup>.

Outro argumento que seria positivo para estudos de caso, é o foco para clientes do grupo A, com horário de ponta, onde as tarifas são altas e não há limitação pela intermitência da fonte, como a fonte solar fotovoltaica. Em adição, os argumentos para uso do biodiesel em aplicações de geração de energia ganham força quando é analisada as propostas da ANEEL para mudança da Resolução Normativa nº 482/2012. Na referida resolução, criou-se o mecanismo de compensação de energia elétrica, permitindo que a energia excedente gerada seja injetada na rede da distribuidora local e posteriormente utilizada para abater o consumo mensal. O modelo vigente, foi mantido pela Resolução Normativa nº 687/2015 da ANEEL permitindo que a energia injetada seja utilizada integralmente para abater consumos inclusive distantes do ponto de geração, desde que estejam conectados na mesma rede de distribuição.

A revisão da norma em 2019 foi prevista em 2015, quando foi publicada a resolução 687/2015, que alterou a resolução 482/2012. A proposta, atualmente em consulta pública, sugere aperfeiçoamentos ao modelo do sistema de compensação de créditos, considerando os avanços da geração distribuída nos últimos anos.

O último documento sobre o tema apresentado pela ANEEL, trata-se do Relatório Análise de Impacto Regulatório - AIR nº 003/2019, de 07 de outubro de 2019. No documento de propostas preliminares, A ANEEL propõe seis alternativas, numeradas de 0 a 5, porém sugere tendência às alternativas com cobrança maior do que 50% sobre a energia injetada na rede pela geração distribuída, mudança essa que causaria vários impactos negativos no setor. Em diversas regiões do País, consumidores, lideranças políticas, especialistas, empresários e jornalistas têm se mobilizado em defesa da liberdade do cidadão de gerar a própria eletricidade renovável em residências, comércios, indústrias, propriedades rurais e prédios públicos. A justificativa para

<sup>5</sup> VOLPATO, C. Desempenho de motor diesel quatro tempos alimentado com biodiesel de óleo de soja (B 100). **Ciênc. agrotec.**, v. 33, n. 4, 2009.

<sup>6</sup> SILVA, M. Motor gerador ciclo diesel sob cinco proporções de biodiesel com óleo diesel. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, v. 16, n. 3, 2012.

tamanha mobilização se baseia na não consideração de diversos benefícios que a geração distribuída pode trazer às redes de distribuição de energia conectadas ao SIN, são os chamados serviços anciários. Na Tabela 15 são apresentadas as principais considerações da ANEEL presentes na AIR n° 003/2019.

**Tabela 15 – Considerações ANEEL sobre a revisão da resolução n° 482/2012**

Argumento AIR 003/2019	Descrição
Custos existentes no sistema pelos micro e minigeradores distribuídos	Atualmente, quando a compensação de energia se dá na baixa tensão, os usuários deixam de pagar todas as componentes da tarifa de fornecimento sobre a parcela de energia consumida que é posteriormente compensada pela energia injetada.
Alternativas 0 a 5 avaliadas para aplicação no Sistema de Compensação de Energia Elétrica	De um modo geral, são feitas propostas para aperfeiçoar as condições de acesso à rede desses sistemas, ajustes nas obrigações e direitos dos envolvidos, bem como são incluídas disposições para dirimir possibilidades de desvirtuamentos da norma, de modo a assegurar seu bom uso por todos os interessados.
Sistema de Compensação	O modelo do Sistema de Compensação atual isenta o consumidor com geração própria do pagamento de todas as componentes da tarifa de energia consumida da rede que é posteriormente compensada pela energia injetada. Tal condição faz com que vários custos relacionados ao serviço de distribuição (tais como encargos setoriais e investimentos em rede), não sejam remunerados pelo micro e minigerador, e acabam sendo alocados para os demais usuários do sistema.
Postergar a revisão	Postergar a revisão e prolongar os incentivos atualmente conferidos à tecnologia comprometeria o seu desenvolvimento no país, resultando em distorções alocativas que se refletem em aumentos tarifários.

Os grupos geradores, abastecidos com biodiesel, em função da obrigatoriedade de ser um combustível de fonte renovável, contribuem positivamente para o debate pois vários dos problemas do sistema elétrico. Esses surgem perto das cargas e suas soluções são facilitadas e barateadas se providenciadas próximo a elas. Este é um tipo de serviço ancilar. Grupos geradores próximos da carga quando operam na ponta, por exemplo, podem operar em paralelo e trabalham como compensador síncrono, melhorando o fator de potência da rede. Como um vizinho na situação oposta paga à distribuidora, nada mais natural que reconhecer o serviço ancilar e

remunerar o gerador local que, na prática tem despesas a mais com combustível para ajudar a rede. Para a distribuidora, a solução local é mais econômica, pois o custo para corrigir o problema nas altas tensões se agrava com as perdas e outros problemas inerentes aos sistemas elétricos. Geradores de ponta instalados junto aos consumidores comandados à distância podem operar dentro de uma lógica de mercado e atender algumas necessidades da rede com um custo muito inferior para obter o mesmo efeito com sistemas centralizados das distribuidoras. As bases para a prestação deste serviço anciliar já começam a existir no Brasil abrindo até novas possibilidades onde os sistema de geração descentralizada seriam monitorados e utilizados partir de uma central de onde são programados os despachados para atender os clientes, garantido assim confiabilidade e energia de qualidade à rede elétrica.

A Figura 38 traz um resumo das possíveis alternativas para a nova revisão da norma regulamentadora aplicada as unidades com micro e minigeração distribuída.

**Figura 38 – Alternativas avaliadas para aplicação no Sistema de Compensação de Energia Elétrica**

Alternativa 0 – 0% TUSD	Alternativa 1 – 56% TUSD	Alternativa 2 – 68% TUSD
<b>TUSD</b>	<b>TUSD</b>	<b>TUSD</b>
Transporte fio A	Transporte fio A	Transporte fio A
Transporte fio B	Transporte fio B	Transporte fio B
Encargos	Encargos	Encargos
Perdas	Perdas	Perdas
<b>TE</b>	<b>TE</b>	<b>TE</b>
Energia	Energia	Energia
Encargos e demais componentes	Encargos e demais componentes	Encargos e demais componentes
Cenário atual		

Alternativa 3 – 84% TUSD	Alternativa 4 – 100% TUSD	Alternativa 5 – 100% TUSD e 25% TE
<b>TUSD</b>	<b>TUSD</b>	<b>TUSD</b>
Transporte fio A	Transporte fio A	Transporte fio A
Transporte fio B	Transporte fio B	Transporte fio B
Encargos	Encargos	Encargos
Perdas	Perdas	Perdas
<b>TE</b>	<b>TE</b>	<b>TE</b>
Energia	Energia	Energia
Encargos e demais componentes	Encargos e demais componentes	Encargos e demais componentes

No geral, entende-se o relatório como uma análise incompleta, já que a geração distribuída, que extrapola a fonte solar fotovoltaica agrega amplos benefícios ao País. Os ganhos vão desde aqueles específicos ao setor elétrico e aos consumidores, como a postergação de investimentos em novas usinas de geração, linhas de transmissão e infraestrutura de distribuição, a redução de perdas elétricas ao sistema. Além dos benefícios que podem ser exemplificados com o uso de geradores à biodiesel como o alívio na operação das redes pelo efeito vizinhança, a diversificação da matriz elétrica e o aumento da segurança no fornecimento de energia.

O que deve ser explorado, é o fator de simultaneidade. A remuneração da parcela da distribuidora pelo uso da rede tem fundamento e deveria ser contemplada na alteração da regra do sistema de compensação. No entanto, é preciso medir quanto da rede está sendo usada. É preciso considerar as simultaneidades existentes entre a

geração e o consumo, afinal, quando a energia gerada, mesmo que injetada na rede de distribuição, está localizada em um centro com grandes cargas, como o bairro distrito industrial de Uberlândia, por exemplo. E para tanto, é preciso ter medição adequada para essas informações.

## 7 Conclusão

Foi atingido o objetivo de construção da planta experimental para testes com biodiesel obedecendo as normas vigentes. O trabalho conclui que não há impeditivos para o uso do biodiesel como biocombustível para geração distribuída. As consultas às agências regulatória, se desdobraram nas seguintes conclusões: Primeiramente junto a ANP, a análise sobre a legislação mostrou que não impeditivos para a compra fora do leilão bimestral regulado pela agência, desde que o adquirente possua a prévia anuênciia da ANP, e que o mesmo é dispensado caso o volume seja inferior a 10.000 litros por mês. Mesmo não sendo comum o mercado para consumidores finais acima da mistura obrigatória, não foram encontradas restrições. Em adição, junto a ANEEL, foi obtido uma formalização, mesmo que através de e-mail, sobre a possibilidade do uso de B100 para geração distribuída. Fato que confirma o disposto, embora de forma vaga, na Resolução Normativa nº 482/2012 e suas revisões, onde consta a informação que podem ser usadas fontes de biomassa, desde que sejam de origem vegetal, ou seja, 100% renováveis, reduzindo assim a emissão de gases GEE como o CO<sub>2</sub>.

O combustível biodiesel B100 adquirido de uma distribuidora de combustíveis, teve os aspectos apresentados em laudo laboratorial satisfatórios, uma vez que os parâmetros analisados encontraram-se em conformidade com a Resolução ANP nº 45/2014, que estabelece a especificação do biodiesel contida no Regulamento Técnico ANP nº 3/2014 e as obrigações quanto ao controle da qualidade a serem atendidas pelos diversos agentes econômicos que comercializam o produto no Brasil. Em relação aos problemas atribuídos ao crescente aumento da parcela BX no diesel comercializado em território nacional, recomenda-se que os produtores e distribuidores busquem sempre bons laudos, proponham estudos, e até extrapolam os parâmetros exigidos pela agência reguladora, de forma a desmistificar que todos os problemas aparentes em tanques e motores, sejam atribuídos exclusivamente biodiesel. Esse movimento, pode trazer benefícios como movimentar a industria nacional, gerando empregos e diversificando a matriz energética.

Sobre os benefícios do uso B100, em relação ao diesel, além da restrição da origem renovável, para uso em geração distribuída. A redução significativa de enxofre no B100, reduz também a formação da chuva ácida, das diversas doenças ocasionadas nos grandes centros urbanos, prejuízos ao meio ambiente e agricultura e a contaminação do próprio motor.

Nos testes práticos realizados, a melhor taxa energética encontrada nas configurações do sistema foi de 3,89 kWh por litro de biodiesel e deve-se buscar combinação de fontes, para viabilizar esse tipo de biocombustível em aplicações de geração distribuída. Ressalta-se nesta sessão também, que o número, podem e devem servir como base para estudos financeiros, aprofundados na viabilidade econômica de possíveis modelos de negócio.

Em relação à regulação, as mudanças devem ser planejadas e bem fundamentadas. O órgão regulador deve agir de forma sensata ouvindo todos os agentes, promovendo transparência e preocupando-se em manter a estabilidade regulatória, tão importante para a atração dos investidores, por isso é função de todos os impactados demonstrarem com resultados concretos estudos para basear uma mudança mais justa na geração distribuída. Conta com um setor organizado e com profissionais e pesquisadores altamente qualificados para esse desafio. Já vivemos outros tempos em que mudanças bruscas tiveram consequências severas para o setor elétrico.

## Referências

**ABRADEE. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA. Relacionamento cliente x concessionária: direitos e deveres:** SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. Foz do Iguaçu: [s.n.], 2000.

AGARWAL, A.; SINHA, S. Experimental Investigation of Control of Nox Emissions in Biodiesel-Fuelled Compression Ignition Engine. **Renewable Energy**, v. 31, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2005.12.003>

**AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA -- ANEEL.** Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica. **Resolução Normativa nº482**, 17 de Abril de 2012.

**AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA -- ANEEL.** Estabelece de forma atualizada e consolidada as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica. **Resolução Normativa nº456**, 29 de Novembro de 2000.

**AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS.** Estabelece as especificações do óleo diesel de uso rodoviário e as obrigações quanto ao controle da qualidade a serem atendidas em todo o território nacional. **RESOLUÇÃO ANP Nº 50**, 23 de dezembro de 2013.

**AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS.** Resolução ANP Nº 37. Brasília, 28 de agosto de 2015. Disponível em: <http://legislacao.anp.gov.br/?path=legislacao-anp/resol-anp/2015/agosto&item=ranp- 37--2015>.

AGENCY, I. E. **World Energy Outlook, 2018.** Paris: [s.n.], 2018.

**ALMEIDA JUNIOR, C. R. S. Proposta Metodológica para o Cálculo do Custo Marginal de Expansão do sistema Interligado Nacional.** 2017. 112 p. Tese (Engenharia em Sistemas e Computação) — COPPE/UFRJ.

ALTIN, R.; ÇETINKAYA, S.; YUCESU, H. S. The potential of using vegetable oil fuels as fuel for diesel engines. **Energy Conversion and Management**, v. 42, n. 5, p. 529 – 238, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(00\)00080-7](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(00)00080-7)

**ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Banco de Informações de Geração: BIG.** Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>. Acesso em: 18 de dezembro de 2019.

**ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA.** Resolução nº 481, Complementa a Resolução Normativa nº 482, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Dispõe sobre tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição. 17 de abril de 2012.

**ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA.** Resolução nº687, Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Dispõe sobre as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica. 24 de novembro de 2015.

- ANP. **AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS**
- **BIODIESEL.** 2019. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/producao-de-biocombustiveis/biodiesel/informacoes-de-mercado>. Acesso em: 20 de setembro de 2019.
- ANTONIASSI, R.; FREITAS, S. C. **Processamento. AGEITEC - Agência Embrapa de Informação Tecnológica.** 2019. Disponível em: [http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/tecnologia\\_de\\_alimentos/arvore/](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/tecnologia_de_alimentos/arvore/). Acesso em: 3 setembro de 2019.
- AZEVÉDO, S. H. G. **Extração enzimática de óleo e produção in situ de biodiesel a partir da Moringa oleífera Lam.** 2013. Dissertação (Mestrado)—Programade Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- BALAT, M. Political, economic and environmental impacts of biomass-based hydrogen. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 34, n. 9, p. 3589 – 3603, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2009.02.067>
- BALAT, M.; BALAT, H. Recent trends in global production and utilization of bioethanol fuel. **Applied Energy**, v. 86, n. 11, p. 22273 – 2282, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.03.015>
- BALAT, M.; BALAT, H. Progress in Biodiesel processing. **Applied Energy**, v. 87, n. 6, p. 1815 – 1835, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.01.012>
- BAROUTIAN, S. et al. Blended aviation biofuel from esterified Jatropha curcas and waste vegetable oils. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, v. 44, n. 6, p. 911 – 916, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2013.02.007>
- BENTO, F. M. et al. Suscetibilidade do óleo diesel com 2 e 5% de biodiesel á contaminação microbiana durante a estocagem. **Revista Biodiesel**, v. 4, p. 24 – 26, 2006.
- BEZERRA, K. da S.; ANTONIOSI F. N. R. Análise comparativa do conteúdo em esteroides livres de diferentes óleos, gorduras e biodieselis por cromatografia gasosa. **Química Nova**, scielo, v. 38, p. 498 – 505, 05 2015. ISSN 0100-4042. Disponível em: <http://www.scielo.br/scieloOrg/php/articleXML.php?lang=en&pid=S0100-40422015000400498>.
- BP. BP Statistical Review of World Energy, [s.l.: s.n.], 2018.
- BRASIL, P. **PORTAL BRASIL. Novas regras estimulam geração de energia pelos consumidores.** 2015. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2015/11/>. Acesso em: 06 de agosto de 2019.
- BUIATTI, G. Selo Solar para PGM Sistemas. Renex South America – Feira Internacional de Energias Renováveis. **Inovações no marketing para pequenas empresas**, 2013.
- CARVALHO, C. H. R. Emissões Relativas de Poluente do Transporte Motorizado de Passageiros nos Grandes Centros Urbanos Brasileiros. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada**. Disponível em: [http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/1578/1/td\\_1606.pdf](http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/1578/1/td_1606.pdf). Acesso em: 16 de agosto de 2019.

- CARVALHO, C. O. **Comparação entre métodos de extração do óleo de Mauritia flexuosa L.F. (ARACACEAE buriti) para o uso sustentável na reserva de desenvolvimento Tupé**: rendimento e atividade microbiana. 2011. 109 p. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia e Recursos Naturais) — Universidade do Estado do Amazonas, Manaus.
- CASTELANI, A. C. **Estudo da Viabilidade de Produção do biodiesel, obtido através do óleo de fritura usado**. 2008. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- CODI. **Comitê de Distribuição de Energia Elétrica, Tarifas horo-sazonais Azul e Verde. Manual de Orientação ao Consumidor**. Rio de Janeiro, 1988.
- COGEN. **ASSOCIAÇÃO DA INDÚSTRIA DE COGERAÇÃO DE ENERGIA. Geração Distribuída – Novo Ciclo de Desenvolvimento**. 2013. Disponível em: [http://www.cogen.com.br/workshop/2013/Geracao\\_Distribuida\\_Calabro\\_22052013.pdf](http://www.cogen.com.br/workshop/2013/Geracao_Distribuida_Calabro_22052013.pdf).
- D-ZHEN, H. L. et al. Physico-chemical properties of ethanol–diesel blend fuel and its effect to performance and emissions of diesel engines. **Renewable Energy**, 2005.
- DABDOUB, M.; BRONZEL, J.; RAMPIM, M. Biodiesel: visão crítica do status atual e perspectivas na academia e na indústria. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p. 776 – 779, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000300021>
- DOMINKOVIĆ, D. F. et al. The future of transportation in sustainable energy systems. **Opportunities and barriers in a clean energy transition. Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 822, p. 1824 – 1824, 2017.
- ENCARNAÇÃO, A. P. G. **Geração de Biodiesel pelos processos de transterificação e hidroesterificação: Uma avaliação econômica**. 2007. Dissertação (Dissertação de Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) — UFRJ.
- EPE. **EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Plano decenal de expansão de energia 2026 Plano decenal de expansão de energia 2026**. 2017.
- FEROLDI, M.; AL. et. Environmental, economic and social impact of aviation biofuel production in Brazil. **New Biotechnology**. v. 32, n. 2, p. 263 – 271, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2015.01.001>
- FREIRE, L. M. S. **Otimização da síntese etanólica do biodiesel de pinhão manso (Jatropha curcas L.) e determinação de seus parâmetros fluidodinâmicos**. 2009. 99 p. Dissertação (Mestrado em Química) — UFPB.
- GEBREMARIAM, S.; MARCHETTI, J. Economics of biodiesel production: Review. **Energy Conversion and Management**, v. 168, p. 74 – 84, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.05.002>
- GERPEN, J. V.; KNOTHE, G. **Produção de biodiesel**: Manual de Biodiesel. Blucher. 1a ed. São Paulo, 2006.
- GHORBANI, A. et al. Comparative Study of Combustion Performance and Emission of Biodiesel Blends and Diesel in an Experimental Boiler. **Applied Energy**, v. 88, n. 12, p. 4725 – 4732, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.06.016>

- HABIBULLAH, M., Biodiesel Production and Performance Evaluation of Coconut, Palm and Their Comined Blend with Diesel in a Singer-Cylinder Engine. **Energy Conversion and Management**, 2014.<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.07.006>
- HADDAD, J.; LORA, E. E. S. **Geração Distribuída**: Aspectos Tecnológicos, Ambientais e Institucionais. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2006.
- IEA. **INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Energy technologies for the 21st Century. Paris**. 1997. Disponível em: [www.iea.org/techno/index.htm](http://www.iea.org/techno/index.htm). Acesso em: 03 de agosto de. 2019.
- INEE. **INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. Notas sobre geração distribuída**. 2001. Disponível em: [http://www.inee.org.br/down\\_loads/forum/Notas%20sobre%20GD.pdf](http://www.inee.org.br/down_loads/forum/Notas%20sobre%20GD.pdf).
- JAYARAMANA; IBRAHIMB, D.; GUATC, C. L. Managerial optimism to overcome economic recession in the world. **Procedia Social and Behavioral Sciences**, v. 24, p. 32 – 48, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.09.006>
- KLINKSPON, N. Impact of biodeterioration on diesel fuel systems. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON STABILITY OF LIQUID FUELS**. Praga, República Tcheca: [s.n.], 2009.
- KNOTHE, G. et al. **Manual de Biodiesel**. Blucher ed. [S.I.], 2006.
- KNOTHE, G.; RAZON, L. F. Biodiesel fuels. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 58, p. 36 – 59, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2016.08.001>
- KUSS, V. V. et al. Potential of biodiesel production from palm oil at Brazillian Amazon. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 50, p. 1013 – 1020, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.05.055>
- LORA, E. E. S. Geração Distribuída: aspectos tecnológicos, ambientais e institucionais. In: **Interciência**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2006.
- MACEDO, C. New heterogeneous metal-oxides based catalyst for vegetable oil trans-esterification. **Braz. Chem. Soc**, v. 17, p. 1291 – 1296, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0103-50532006000700014>
- MARCOR, A. Effects of 30% v/v Biodiesel/Diesel Fuel Blend on Regulated and Unregulated Pollutant Emissions from Diesel Engines. **Applied Energy**, v. 88, n. 12, p.4986, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.06.045>
- MARIANO, A. P. et al. Biodegradability of diesel and biodiesel blends. In: **African Journal of Biotechnology**. [S.I.: s.n.], 2008. v. 7, n. 9.
- MARTINS, D. **Relatório interno PET-COPPE-UFRJ**: Rio de Janeiro. [S.I.], 2006.
- MAZIERO, J. V. G. Avaliação do desempenho de um motor de ignição por compressão utilizando óleo diesel e éster etílico de óleo de girassol como combustível. In: UFLA (Ed.). **CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL**. [S.I.: s.n.], 2005.
- MCCORMICK, R.; ALLEMAN, T. L. **Emissões de Exaustão. Manual de Biodiesel**: Efeito do biodiesel sobre a emissão de poluentes de motores diesel. Blucher. são paulo: 1a ed. [S.I.], 2006.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. Disponível em:  
<http://www.mme.gov.br>. Acesso em: 02 de setembro de 2019.

MIT. “cross-subsidization of DG network users by customers without DG” (Utility of the Future, p. 85, tradução livre). 2016.

MME. **Ministério do Meio Ambiente - Acordo de Paris**. 2014. Disponível em:  
<http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris>. Acesso em: 24 de julho de 2019.

MUJAHID, M. A. Energy Sustainability : study of fuel efficiency and engine properties by using biodiesel and fossil diesel. **Proceedings of International Conference on Energy and Sustainability**, 2013.

NAMASIVAYAM, A. M. et al. Biodiesel, emulsified biodiesel and dimethyl ether as pilot fuels for natural gas fuelled engines. **Applied Energy**, v. 87, n. 3, p. 769 – 778, 2010.  
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.09.014>

OLIVEIRA, B. **Incentivos Tarifários para a Conexão de Geração Distribuída em Redes de Média Tensão**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) — Universidade Federal de Minas Gerais.

OLIVEIRA, L. B.; COSTA, A. O. **Biodiesel**: uma experiência de desenvolvimento sustentável. Disponível em: <http://www.biodieselecooleo.com.br/biodiesel/estudos>. Acesso em: 24 de setembro de 2019.

OLIVEIRA, V. F. et al. Short-chain esters enriched biofuel obtained from vegetable oil using molecular distillation. **Canadian Journal of Chemical Engineering**, v. 96, n. 5, p. 1071 – 1078, 2018. <https://doi.org/10.1002/cjce.23044>

O'BRIAN, R.; FARR, W.; WAN, P. **Introduction to fats and oil technology. Champaing-II (EUA)**: AOCS Press. 2000.

PARENTE, E. J. S. Biodiesel: uma aventura tecnológica num país engraçado. In: **Fortaleza**. [S.l.: s.n.], 2003. p. 70 –81.

PASSMAN, F.; DOBRANICK, J. K. Relative biodegradability of b-100 biodiesel and conventional low sulfur diesel fuels. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON STABILITY, HANDLING AND USE OF LIQUID FUELS, 9, 2005, Sitges, Spain. Proceedings**. [S.l.: s.n.], 2009.

PAULO, A. A. et al. Performance and emission evaluations in a power generator fuelled with Brazilian diesel and additions of waste frying oil biodiesel. **Applied Thermal Engineering**, v. 98, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.12.036>

PETROBRAS. **Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico – FISPQ BIODIESEL (B-100)**. 2015.

PIGHINELLI, A. L. M. T. **Estudo da extração mecânica e da transesterificação etílica de óleos vegetais**. 2010. 201 p. Tese (Faculdade de Engenharia Agrícola) — , Universidade Estadual de Campinas.

PUERTA, M. L.; ARMAS, O.; RODRIGUEZ-FERNANDEZ, J. Effect to biodiesel fuels on diesel engine emissions. **Prog Energy Combust Sci**. 2008.  
<https://doi.org/10.1016/j.pecs.2007.07.001>

- RAMOS, L. P. et al. Biodiesel: Um Projeto de sustentabilidade econômica e sócio-ambiental para o Brasil. **Revista Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, v. 31, p. 29 –, 2003.
- REIS, L. B. **Geração de energia elétrica**: tecnologia, inserção ambiental, planejamento, operação e análise de viabilidade. Barueri: [s.n.], 2003.  
<https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.05.037>
- SAHAR et al. Biodiesel production from waste cooking oil: An efficient technique to convert waste into biodiesel. **Sustainable Cities and Society**, v. 41, p. 220 – 226, 2018.
- SANTOS, A. G. D. et al. Kinetic study and thermoxidative degradation of palm oil and biodiesel. **Thermochimica Acta**, v. 592, p. 18 –26, 2014.  
<https://doi.org/10.1016/j.tca.2014.08.006>
- SANTOS, J. A. R. **Avaliação das propriedades físico-químicas, fluidodinâmicas e oxidativa do biodiesel de licuri (*Syagrus coronata*) e das blendas (licuri/soja)**. 2011. 81 p. Dissertação (Mestrado em Química) — Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.
- SANTOS, J. R. de J. **Biodiesel de babaçu**: avaliação térmica, oxidativa e misturas binárias. 2008. 103 p. Tese (Programa de Pós-Graduação em Química) — Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.
- SERRANO, L. M. V. et al. Performance Study about Biodiesel Impact on Buses Engines Using Dynamometer Tests and Fleet Consumption Data. **Energy Conversion and Management**, v. 60, p. 2 – 9, 2012.  
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2011.11.029>
- SERRANO-RUIZ, J. C.; RAMOS-FERNÁNDEZ, E. V.; SEPÚLVEDA-ESCRIBANO, A. From biodiesel and bioethanol to liquid hydrocarbon fuels: new hydrotreating and advanced microbial technologies. **Energy & Environmental Science**, v. 5, p. 5638 – 5652, 2012. <https://doi.org/10.1039/C1EE02418C>
- SHARMA, Y. C.; SINGH, B.; UPADHYAY, S. N. Advancements in development and characterization of biodiesel: A review. **Fuel**, v. 87, n. 12, p. 2355 – 2373, 2008.  
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2008.01.014>
- SILVA, M. Motor gerador ciclo diesel sob cinco proporções de biodiesel com óleo diesel. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, v. 16, n. 3, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000300014>
- SILVA, T. O. M. D. **Síntese e caracterização de biocombustíveis obtidos a Partir do arroze e seus derivados**. 2008. Dissertação (Mestrado) — Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.
- SIRJEAN, B. et al. **Phys. Chem.**, 117, p. 1381–1390. 2013.
- TEI. **THE EDISON INSTITUTE. Net Energy Metering**: Subsidy issues and Regulatory solutions. Institute for Electric Innovation. The Edison Institute. September. 2014.
- TRANSPORTES, C. N. D. **Os impactos da má qualidade do óleo diesel brasileiro**. Brasília, 2012.

- VALENTE, O. S. et al. Exhaust Emissions from a Diesel Power Generator Fuelled by Wated Cooking Oil Biodiesel. **Science of the Total**, 2012.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.05.025>
- VOLPATO, C. Desempenho de motor diesel quatro tempos alimentado com biodiesel de óleo de soja (B 100). **Ciênc. agrotec**, v. 33, n. 4, 2009.  
<https://doi.org/10.1590/S1413-70542009000400025>
- WARDLE, D. A. Global sale of green air travel supported using biodiesel, Renewable and Sustainable. **Energy Reviews**, v. 7, n. 1, p. 1 – 64, 2003.  
[https://doi.org/10.1016/S1364-0321\(03\)00002-9](https://doi.org/10.1016/S1364-0321(03)00002-9)
- YAAKOB, Z. et al. A review on the oxidation stability of biodiesel. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 35, p. 136 – 153, 2014.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.03.055>
- ŠIMELYTĖ, A.; DUDZEVIČIŪTĖ, G. Consumption of Renewable Energy and Economic Growth. In: **Proceedings of 5th International Scientific Conference Contemporary Issues in Business, Management and Education**. [S.l.: s.n.], 2017.  
<https://doi.org/10.3846/cbme.2017.048>