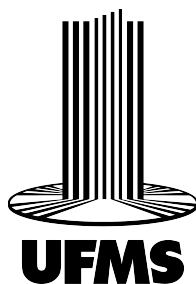


UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Análise de um Grupo Motor Gerador movido a Gás Liquefeito de Petróleo operando dentro da microgeração distribuída

Vinícius Clemente Santos

Campo Grande - MS
29 de Novembro de 2024



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Análise de um Grupo Motor Gerador movido a Gás Liquefeito de Petróleo operando dentro da microgeração distribuída

Vinícius Clemente Santos

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como exigência para obtenção do grau de Ba-
charelado em Engenharia Elétrica da Universi-
dade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS.

Orientador: Prof. Dr. Cristiano Quevedo Andrea

Campo Grande - MS
29 de Novembro de 2024

Análise de um Grupo Motor Gerador movido a Gás Liquefeito de Petróleo operando dentro da microgeração distribuída

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência para obtenção do grau de
Bacharelado em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul –
UFMS.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Cristiano Quevedo Andrea

Prof. Dr. Jair de Jesus Fiorentino

Prof. Dr. Paulo Irineu Koltermann

Campo Grande - MS
29 de Novembro de 2024

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a todos que estiveram presentes durante a minha formação e que me ajudaram a me tornar um melhor profissional. Agradeço aos meus pais, Josilene da Silva Clemente e Lauriney Leite dos Santos, por todo apoio durante toda a minha vida, por sempre estarem ao meu lado em todas as situações e pelo amor e carinho de todos esses anos.

Agradeço aos professores que tanto me ensinaram ao longo desses anos de curso, em especial àqueles que diretamente me auxiliaram no desenvolvimento deste trabalho: meu orientador Cristiano Quevedo Andrea, e meus professores Paulo Irineu Koltermann, Jair de Jesus Fiorentino, Andréa Teresa Riccio Barbosa e Jéferson Meneguín Ortega. Agradeço pela oportunidade e pelo voto de confiança ao me permitirem participar deste grande projeto.

Agradeço aos meus colegas que me ajudaram durante todos esses anos. Sem vocês, esse processo teria sido muito mais difícil, em especial aqueles que estiveram comigo no desenvolvimento desta pesquisa: Leonardo Ferreira Piñeiro e Mateus Pereira das Chagas. Aos meus amigos que sempre estiveram ao meu lado desde o primeiro ano, Fernando Henrique Castilho Silva Flores, Leonardo Muller Shinzato e Flávia de Souza Cardoso Pompeu, obrigado por todos esses anos; torço para que o futuro lhes reserve grandeza.

Por fim, gostaria de agradecer a todos os que contribuíram para o meu desenvolvimento profissional na Energisa Mato Grosso do Sul, em especial àquele que, neste último ano, foi responsável por me fornecer uma quantidade imensurável de conhecimento sobre a profissão que desejo seguir. Muito obrigado, Sr. Aridio Delfino da Silva Junior, por tudo o que o senhor me ensinou neste ano e pela paciência em me fazer compreender todas as lições. Com o senhor, não houve um dia sequer em que eu não aprendesse nada novo. Para mim, o senhor foi um verdadeiro mestre.

Resumo

O desenvolvimento tecnológico e industrial, impulsionado pela crescente demanda global, exige uma quantidade cada vez maior de energia. A matriz energética brasileira, embora rica em fontes renováveis como a hidrelétrica, enfrenta desafios para atender essa demanda de forma sustentável. A situação atual evidencia a necessidade de diversificar as fontes de energia e promover a expansão da geração distribuída, que permite aos consumidores gerarem sua própria energia, muitas vezes a partir de fontes limpas e renováveis, como a solar, eólica e térmica. Essa transição para um modelo energético mais sustentável é fundamental para garantir o abastecimento futuro, reduzir a emissão de gases de efeito estufa e mitigar os impactos das mudanças climáticas. Este trabalho apresenta uma análise sobre o uso do Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) como combustível para um Grupo Motor Gerador (GMG) no contexto da microgeração distribuída. A possibilidade de utilizar a tarifa horária verde durante o horário de ponta torna o uso do GLP economicamente atrativo, com uma redução de até 43,4% no custo do kWh, considerando a tarifa e os impostos aplicados pela Energisa Mato Grosso do Sul. Investimentos em pesquisa e desenvolvimento para otimizar a tecnologia de motores a GLP, aliados à criação de um marco regulatório específico para essa aplicação, podem tornar o GLP uma alternativa mais limpa e eficiente no futuro, promovendo uma matriz energética mais diversificada e sustentável.

Palavras-chaves: Gás Liquefeito de Petróleo (GLP), Grupo Motor Gerador (GMG), Microgeração Distribuída.

Abstract

Technological and industrial development, driven by growing global demand, requires an increasingly larger amount of energy. The Brazilian energy matrix, although rich in renewable sources such as hydroelectric power, faces challenges in meeting this demand sustainably. The current situation highlights the need to diversify energy sources and promote the expansion of distributed generation, allowing consumers to produce their own energy, often from clean and renewable sources such as solar, wind, and thermal. This transition to a more sustainable energy model is essential to ensure future supply, reduce greenhouse gas emissions, and mitigate the impacts of climate change.

This study presents an analysis of the use of Liquefied Petroleum Gas (LPG) as a fuel for a Generator Set (GMG) in the context of distributed microgeneration. The possibility of using the green hourly tariff during peak hours makes the use of LPG economically attractive, with a reduction of up to 43.4% in the cost per kWh, considering the tariffs and taxes applied by Energisa Mato Grosso do Sul. Despite the carbon oxide emissions associated with LPG, which contribute to air pollution and the greenhouse effect, its potential as an alternative fuel should not be overlooked. Investments in research and development to optimize LPG engine technology, combined with the creation of a specific regulatory framework for this application, could make LPG a cleaner and more efficient alternative in the future, promoting a more diversified and sustainable energy matrix.

Keywords: Liquefied Petroleum Gas (LPG), Generator Motor Group (GMG), Distributed Microgeneration

Lista de ilustrações

Figura 1 –	Composição da matriz energética brasileira - 2024.	11
Figura 2 –	Recipientes transportáveis de aço, da esquerda para direita: P-45, P-20, P-13, P-5 e P-2.	17
Figura 3 –	Distribuição percentual das fases no botijão de gás.	18
Figura 4 –	Consumo Específico.	22
Figura 5 –	GMG.	23
Figura 6 –	Motor MWM 6.12TCA	25
Figura 7 –	Alternador WEG GTA 202AI36B15T	26
Figura 8 –	Postos tarifários das distribuidoras	29
Figura 9 –	Diagrama unifilar da instalação	35
Figura 10 –	GMG LPG95	36
Figura 11 –	Reservatório de GLP LAMOSSE	36
Figura 12 –	Analisador ECIL Chemist 600	37
Figura 13 –	Controlador DEIF AGC 150	37
Figura 14 –	Configuração para operação <i>on-grid</i>	38
Figura 15 –	Potência ativa gerada	39
Figura 16 –	Potência aparente gerada	40
Figura 17 –	Consumo de GLP	40
Figura 18 –	Tensão Fase-Fase	41
Figura 19 –	Frequência na Fase A	41
Figura 20 –	Corrente na Fase A	42

Lista de tabelas

Tabela 1	–	Tipos de gases liquefeitos de petróleo	15
Tabela 2	–	Poder calorífico inferior e superior de combustíveis (0°C e 1 atm) .	16
Tabela 3	–	Poder calorífico de combustíveis	16
Tabela 4	–	Tipos de embalagens para armazenamento e distribuição de GLP .	17
Tabela 5	–	Dados para Realização do Ensaio de Caracterização do GLP. . . .	18
Tabela 6	–	Composição (%vol) - Análise por Cromatografia gasosa - ASTM D2163.	19
Tabela 7	–	Características do GLP.	19
Tabela 8	–	Composição completa do GLP em %vol.	19
Tabela 8	–	Composição completa do GLP em %vol.	20
Tabela 9	–	Catálogo do fabricante	24
Tabela 10	–	Informações Técnicas do Motor	25
Tabela 11	–	Informações Técnicas do Alternador	26
Tabela 12	–	Modalidade tarifária horária azul	28
Tabela 13	–	Modalidade tarifária horária verde	29
Tabela 14	–	Alíquotas de ICMS incidentes sobre o consumo de energia elétrica .	30
Tabela 15	–	PIS COFINS	31
Tabela 16	–	Consumo de Energia Tributado	31
Tabela 17	–	Efeitos do CO no ser humano.	33
Tabela 18	–	Prefixo dos hidrocarbonetos	34
Tabela 19	–	Análise dos gases de exaustão	42
Tabela 20	–	Pontos de conexão em Tensão Nominal igual ou inferior a 1 kV (220/127)	43

Sumário

1	Introdução	10
1.1	Objetivos	11
1.2	Estrutura do Trabalho	11
2	Revisão Bibliográfica	13
2.1	Definições	13
2.1.1	Microgeração Distribuída	13
2.1.2	Minigeração Distribuída	13
2.1.3	Fontes despacháveis na Geração Distribuída (GD)	13
2.1.4	Sistemas <i>on-grid</i>	14
2.1.5	Sistemas <i>off-grid</i>	14
2.2	Gás Liquefeito de Petróleo - GLP	14
2.2.1	Definição	14
2.2.2	Poder calorífico	15
2.2.2.1	Poder Calorífico Inferior (PCI)	15
2.2.2.2	Poder Calorífico Superior (PCS)	16
2.2.3	Comercialização e Transporte	16
2.2.4	Características do GLP Utilizado nesta Pesquisa	18
2.3	Grupo Motor Gerador - GMG	20
2.3.1	Conceitos Básicos de Combustão	20
2.3.2	Consumo Específico (CE) - Motor de Combustão Interna (MCI)	21
2.3.3	Características do GMG Utilizado nesta Pesquisa	22
2.3.3.1	Motor	24
2.3.3.2	Gerador Síncrono	26
2.4	Tipos de Tarifas	27
2.4.1	Tarifa Horária Azul	28
2.4.2	Tarifa Horária Verde	28
2.4.3	Horário de Ponta	29
2.4.4	Tributos, impostos e outros encargos	30
2.5	Gases de Exaustão do GMG Operando a GLP	31
2.5.1	Oxigênio (O ₂)	31
2.5.2	Óxidos de Nitrogênio (NO _x)	32
2.5.3	Óxidos de Carbono (CO e CO ₂)	33
2.5.4	Hidrocarbonetos (C _x H _y)	34
3	Metodologia	35

3.1	Materiais utilizados	35
3.1.1	GMG	35
3.1.2	Reservatório de GLP	36
3.1.3	Analizador de Gases	37
3.1.4	Supervisório	37
3.2	Configuração de Operação	38
3.3	Procedimentos de ensaio	38
4	Resultados	39
4.1	Resultado dos Ensaios <i>on-grid</i> operando a GLP	39
4.1.1	Ensaio Dia 31/10/2023 as 14:30	39
4.2	Interpretação dos Resultados	42
5	Conclusão	44
	Referências	45

1 Introdução

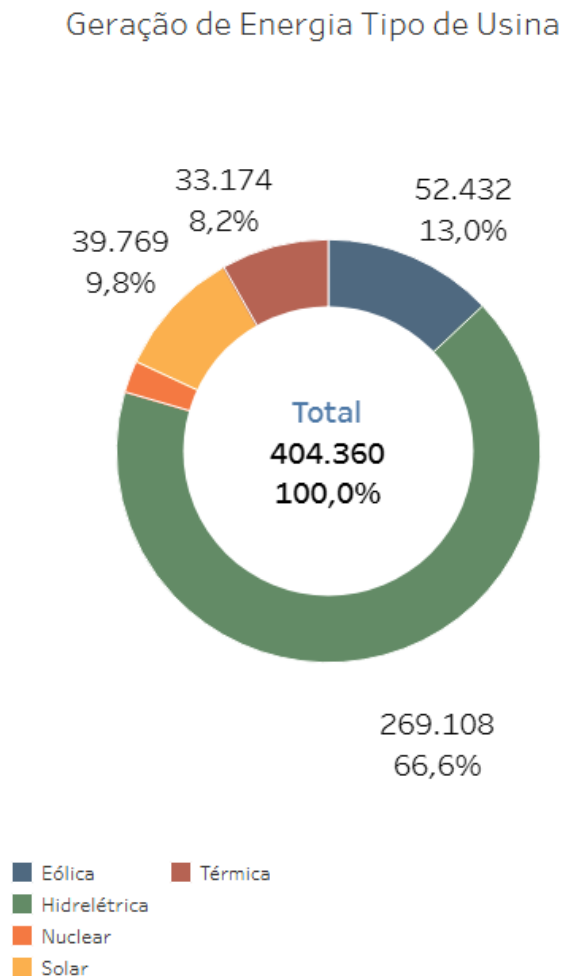
Com a revolução industrial, a busca por novas fontes de energia tornou-se o norte a ser seguido para o desenvolvimento de uma sociedade como um todo. O crescimento econômico e social passou a caminhar lado a lado com a disponibilidade energética de um país, onde cada nação buscou se adaptar com os recursos naturais disponíveis para formar sua matriz energética.

O Brasil, país rico em fluvialidade, concentra cerca de 66,6% de sua geração de energia no ano de 2024 em hidrelétricas ([ONS, 2024](#)), um recurso que, embora extremamente eficiente e limpo, possui uma complexa capacidade construtiva e imenso impacto ambiental na sua construção. Assim surge a necessidade de descobrir novas fontes de energia, que sejam tanto renováveis quanto limpas.

Como solução para a crescente demanda de energia que o desenvolvimento industrial e tecnológico vem proporcionando ao longo dos anos, a geração distribuída, definida como uma fonte de energia conectada diretamente a rede de distribuição ou ao consumidor ([ACKERMANN; ANDERSSON; SöDER, 2001](#)) vem ganhando cada vez mais espaço na matriz energética brasileira (conforme Figura 1), destacando principalmente a energia solar e térmica, que abrange desde ao consumidor residencial, comercial e industrial de pequeno porte na categoria microgeração distribuída até mesmo os consumidores de médio e grande porte, na categoria minigeração distribuída.

Assim, a busca por soluções mais eficientes e limpas proporcionou o estudo que será apresentado nesse estudo, onde será apresentado os resultados de um Grupo Motor Gerador (GMG) movido a Gás Liquefeito de petróleo (GLP) operando no modo *on-grid*, dentro da microgeração distribuída. Para essa pesquisa, foi necessária a autorização da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) para o uso do GLP na geração de energia, visto que é vetado o uso de GLP em motores de qualquer espécie, conforme a RESOLUÇÃO ANP Nº 957, DE 5 DE OUTUBRO DE 2023, Art. 25.

Figura 1 – Composição da matriz energética brasileira - 2024.



Fonte: (ONS, 2024)

1.1 Objetivos

Nesta pesquisa o foco principal será sobre os principais usos de um Grupo Motor Gerador, tal como para operação emergencial (ou *standby*) e, principalmente, na área de eficiência energética, onde é utilizado em horário de ponta para redução na fatura de energia elétrica. Como ênfase, será avaliado o custo de geração em kWh do gerador operando a GLP e o impacto ambiental, buscando avaliar se o GLP, além de economicamente viável, é uma solução limpa.

1.2 Estrutura do Trabalho

Esse trabalho foi dividido em 5 capítulos para uma melhor separação e compreensão dos assuntos discutidos.

No primeiro capítulo, foi apresentado uma breve introdução do atual cenário da matriz energética brasileira e onde o proposto trabalho se encaixa dentro da geração distribuída, assim como os principais objetivos a se alcançar.

O segundo capítulo inicia-se com uma breve definição de conceitos que serão fundamentais no discorrer de todo o trabalho e progride para uma revisão bibliográfica sobre os assuntos que compõem os pilares do trabalho apresentado, tais como: definição do que é Gás Liquefeito de Petróleo e um Grupo Motor Gerador, tarifação e emissão de poluentes.

O terceiro capítulo trata da metodologia de estudo, detalhando os procedimentos adotados, assim como os materiais e equipamentos utilizados nos ensaios com o Grupo Motor Gerador.

No quarto capítulo, são apresentados os resultados obtidos nos ensaios. Nessa análise, busca-se verificar se o uso do GLP é uma alternativa economicamente viável e ambientalmente limpa.

Finalmente, no quinto capítulo, são discutidas as conclusões do trabalho, avaliando como os resultados se alinham com os objetivos iniciais e as implicações para o futuro do uso de GLP em motores geradores.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Definições

2.1.1 Microgeração Distribuída

Central geradora de energia elétrica, com potência instalada, em corrente alternada, menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme a Resolução Normativa nº 1.031, de 26 de julho de 2022 ([ANEEL, 2023](#)), ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição de energia elétrica por meio de instalações de unidade consumidora.

2.1.2 Minigeração Distribuída

Central geradora de energia elétrica renovável ou de cogeração qualificada, conforme a Resolução Normativa nº 1.031, de 26 de julho de 2022 ([ANEEL, 2023](#)), conectada na rede de distribuição de energia elétrica por meio de instalações de unidade consumidora, que possua potência instalada em corrente alternada maior que 75 kW e menor ou igual a:

- a) 5 MW para as centrais geradoras de fontes despacháveis;
- b) 3 MW para as demais fontes não enquadradas como centrais geradoras de fontes despacháveis.

2.1.3 Fontes despacháveis na Geração Distribuída (GD)

Conforme a Resolução Normativa nº 1.031, de 26 de julho de 2022 ([ANEEL, 2023](#)), fontes despacháveis são fontes geradoras cuja energia pode ser despachada por meio de um controlador local ou remoto, com as seguintes características:

- a) hidrelétrica de até 5 MW de potência instalada, incluídas aquelas a fio d'água que possuam viabilidade de controle variável de sua geração de energia;
- b) termelétrica de até 5 MW de potência instalada, classificadas como cogeração qualificada, ou movida à biomassa ou biogás;
- c) fotovoltaica de até 3 MW de potência instalada, que apresentem capacidade de modulação de geração por meio de armazenamento de energia em baterias, em quantidade de, pelo menos, 20% da capacidade de geração mensal das unidades de geração fotovoltaicas, nos termos do Art. 655-B;

2.1.4 Sistemas *on-grid*

On-grid significa “com grade/rede” e ganha esse termo por ser um sistema conectado à rede de distribuição, onde o excedente de energia gerado no local flui para o sistema elétrico de potência (SEP) (WEG, 2024).

2.1.5 Sistemas *off-grid*

Considera-se como *off-grid* sistemas que não estão conectados com a rede de distribuição, comumente acompanhados de bancos de baterias para o armazenamento do excedente de energia gerada (WEG, 2024).

2.2 Gás Liquefeito de Petróleo - GLP

2.2.1 Definição

O GLP, também chamado de gás de petróleo liquefeito e conhecido coloquialmente como gás de cozinha no Brasil, é uma mistura de gases de hidrocarbonetos utilizado como combustível em aplicações de aquecimento (como em fogões), caldeiras industriais, cocção de alimentos, aquecimento de água, climatização de ambientes, esterilização de objetos, secagem de roupas, entre outras aplicações (Copa Energia, 2023).

Constituído principalmente de propano (C_3H_8); propeno (C_3H_6); isobutano (C_4H_{10}); n-butano (C_4H_{10}); e buteno (C_4H_8), que, embora gasosos nas Condições Normais de Temperatura e Pressão (CNTP), são fáceis de condensar (PETROBRAS, 2022).

Torna-se liquefeito apenas quando é armazenado em bilhas/botijões ou tanques de aço em pressões de 6 a 8 atmosferas (6 a 8 kgf/cm²). Pode ser considerado estável, por esta razão é de fácil transporte e armazenamento (PETROBRAS, 2022). É classificado das seguintes formas, conforme a Resolução ANP N° 825, de 28 de agosto 2020 (ANP, 2020) e suas aplicações conforme Tabela 1 (PETROBRAS, 2022).

- I - propano comercial: mistura de hidrocarbonetos contendo em maior proporção propano e/ou propeno;
- II - butano comercial: mistura de hidrocarbonetos contendo em maior proporção butano e/ou buteno;
- III - propano/butano: mistura de hidrocarbonetos contendo em maior proporção, em percentuais variáveis, propano e/ou propeno e butano e/ou buteno; e
- IV - propano especial: mistura de hidrocarbonetos contendo, no mínimo, 90% de propano em volume e, no máximo, 5% de propeno em volume.

Tabela 1 – Tipos de gases liquefeitos de petróleo

Nome Comercial	Composição	Aplicação
GLP	Proporção variável de propano/propeno e butanos/butenos (teor de hidrocarbonetos com 5 ou mais átomos de carbono 2,0%)	Cozimento de alimentos em uso residencial ou comercial, sistemas de combustão industrial que não necessitem de composição fixa do produto, combustível automotivo em máquinas empilhadeiras, combustível para tratamento térmico e galvanização
Propano Comercial	Mistura contendo predominantemente propano e/ou propeno (teor de hidrocarbonetos com 4 ou mais átomos de carbono 2,5%).	Indicado para sistemas que necessitam de alta volatilidade do produto, além de composição e pressão de vapor bem definidas.
Propano Especial	Mistura contendo no mínimo 90% de propano (volume) e no máximo 5% de propeno (volume) (teor de hidrocarbonetos com 4 ou mais átomos de carbono 2,5%).	Recomendado para aplicações onde o teor de olefinas é fator limitante.
Butano Comercial	Mistura contendo predominantemente butanos e/ou butenos (teor de hidrocarbonetos com 5 ou mais átomos de carbono 2,0%).	Indicado para sistemas de combustão com pré-vaporizadores e que necessitam de composição/pressão de vapor estáveis.
Butano Especial*	Mistura contendo no mínimo 96% de butanos (em volume) e no máximo 2% de butenos (volume) (teor de hidrocarbonetos com 4 ou mais átomos de carbono 0,5%)	Propelente

Fonte: (PETROBRAS, 2022)

* O Butano Especial não é regulado pela ANP.

Na composição do GLP há uma mistura de hidrocarbonetos contendo predominantemente, em percentuais variáveis, propano e butano (e podendo conter ainda propano e/ou butano). Se houver uma proporção de propano maior do que a de butano, tem-se um GLP mais “rico”, com maior pressão e menor peso. Se ocorrer o inverso, tem-se um GLP mais “pobre”, com maior peso e menor pressão (MORAIS, 2005). Deve-se notar, portanto, que o termo GLP não implica em um produto completamente homogêneo em termos químicos.

Considera-se como característica marcante do GLP o fato de ele não possuir cheiro próprio. Dessa forma, por motivo de segurança, é adicionada ainda nas destilarias, uma substância do grupo Mercaptan (etil mercaptano) ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{SH}$) ou etanotiol (composto a base de enxofre), uma substância química de forte odor que se mistura de modo livre e completo ao gás, para facilitar a sua detecção. Ainda, de acordo com (COPAGAZ, 2024a), o mercaptano não é tóxico, contudo, quando inalado em excesso, possui efeito anestésico.

2.2.2 Poder calorífico

O poder calorífico de um combustível é definido como a quantidade de calor que um combustível libera quando é queimado completamente em um processo em regime permanente e quando os produtos da combustão voltam ao estado de reagentes, ou seja, quando 1 kmol [ou 1 kg] de combustível é queimado completamente em temperatura e pressão específicas. Assim, definem-se os conceitos de Poder Calorífico Inferior e Superior, e exemplos de alguns combustíveis conforme a Tabela 2.

2.2.2.1 Poder Calorífico Inferior (PCI)

A ABNT NBR 15213 de 2008 define poder calorífico inferior como a quantidade de energia liberada na forma de calor, na combustão completa de uma quantidade definida

de gás com o ar, à pressão constante e com todos os produtos de combustão retornando à temperatura e pressão iniciais dos reagentes, onde toda a água formada pela reação encontra-se na forma gasosa

2.2.2.2 Poder Calorífico Superior (PCS)

A ABNT NBR 15213 de 2008 define poder calorífico superior como a quantidade de energia liberada na forma de calor, na combustão completa de uma quantidade definida de gás com o ar, à pressão constante e com todos os produtos de combustão retornando à temperatura e pressão iniciais dos reagentes, onde toda a água formada pela reação encontra-se na forma líquida.

Tabela 2 – Poder calorífico inferior e superior de combustíveis (0°C e 1 atm)

Combustível	PCI [MJ/kg]	PCS [MJ/kg]	Densidade [kg/m ³]
Gasolina	43,448	46,536	0,7447
Etanol	26,952	28,847	0,7892
Gás Natural	47,141	52,255	0,7769
Gás Liquefeito do Petróleo (GLP)	46,607	50,152	0,5080
Butano	45,277	49,210	0,5846
Propano	46,269	0,235	0,5072

Fonte: (SOUZA, 2006)

Na Tabela 3 é apresentado o poder calorífico para diferentes fontes energéticas por quantidade.

Tabela 3 – Poder calorífico de combustíveis

Quantidade	Combustível	Poder Calorífico
1 kg	GLP	11.500 kcal
1 kg	Óleo Diesel	10.200 kcal
1 kg	Carvão	5.000 kcal
1 kw	Energia Elétrica	860 kcal
1 m ³	Gás Natural	9.400 kcal

Fonte: (SANTOS et al., 2016)

2.2.3 Comercialização e Transporte

O GLP é transportado por modais tradicionais (caminhões e navios majoritariamente) ou, nos casos de proximidade, por dutos. As distribuidoras, então, realizam o envasamento do combustível que, em seguida, é distribuído a granel diretamente para o consumidor industrial (distribuição primária), ou revendido, tipicamente em botijões, para o mercado de distribuição secundária, composto por alguns milhares de revendedores locais que atendem a demanda comercial e residencial.

O GLP pode ser comercializado em recipientes (botijões) que variam de 2 a 90 kg, no estado líquido. Desta forma, seu uso se torna mais conveniente em residências e locais remotos (PETROBRAS, 2022). Na Tabela 4 é descrito os tipos embalagens para armazenamento do GLP. Na Figura 2 destaca-se alguns dos recipientes de GLP citados na Tabela 4.

Tabela 4 – Tipos de embalagens para armazenamento e distribuição de GLP

Embalagem	Capacidade, kg	Aplicação
P-2	2	Camping e ambulantes
P-5	5	Camping e ambulantes
P-7	7	Uso Residencial
P-8	8	Uso Residencial
P-13	13	Uso Residencial
P-20	20	Empilhadeiras
P-45	45	Condomínios
P-90	90	Restaurantes

Fonte: (PETROBRAS, 2022)

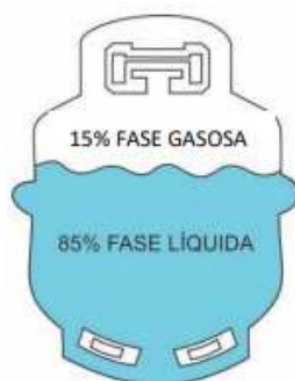
Figura 2 – Recipientes transportáveis de aço, da esquerda para direita: P-45, P-20, P-13, P-5 e P-2.



Fonte: (NUNES, 2017)

O GLP é engarrafado nas diversas embalagens, sendo a de 13 quilos a mais usual, seguindo para as revendedoras de GLP ou para o consumidor final (COPAGAZ, 2024b). Todos os recipientes que contém GLP são cheios até 85% de sua máxima capacidade, conforme visualizado na Figura 3. Os outros 15% de espaço livre é utilizado na vaporização do produto que ocorre com a troca de calor entre a parede do recipiente e o GLP armazenado na forma líquida - vaporização natural. Na Figura 3 é ilustrado a percentual do que é armazenado no botijão.

Figura 3 – Distribuição percentual das fases no botijão de gás.



Fonte: (GONÇALVES, 2021)

2.2.4 Características do GLP Utilizado nesta Pesquisa

Para a realização desta pesquisa que aborda geração de energia por grupo motor gerador alimentado por GLP, utiliza-se o gás fornecido pela Copa Energia. Para esta empresa, tem-se a Petrobras como principal fornecedora de GLP. Entretanto, a Copa Energia também importa o GLP da Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos, localizado na Bolívia. Este gás proveniente da Bolívia, é o GLP utilizado no suprimento de combustível para operação do GMG instalado no laboratório LAMOSSE/UFMS. Após a importação do GLP pela Copa Energia, são realizados alguns procedimentos específicos para garantir a segurança e a conformidade com a legislação brasileira. Posteriormente, o GLP, que também é certificado pelo governo Boliviano, é enviado para o estado de Mato Grosso do Sul, onde é analisado pelo Laboratório de Combustíveis (LABCOM/UFMS). Os resultados dos testes de laboratório são então enviados a Superinspect, a qual é responsável pela emissão da certificação, possibilitando sua comercialização dentro dos parâmetros exigidos no Brasil (COPA ENERGIA SÃO PAULO, 2022). Na Tabela 5 são descritos os dados preliminares para realização do ensaio de análise do GLP utilizado nesta pesquisa.

Tabela 5 – Dados para Realização do Ensaio de Caracterização do GLP.

Nº de Controle da Amostra	Projeto GLP - LAMOSSE/UFMS
Nº do cilindro da amostra	10103, 5003 e 043
Data/Hora de Coleta	22/08/2023, 16h30min
Data/hora de recebimento	22/08/2023, 17h00min
Item	GLP
Mistura	Propano/Butano
UF	MS
Cidade	Campo Grande
N do lote:	01 - 2023
Local da Coleta:	Centro de GLP LAMOSE

Fonte: (CARVALHEIRO, 2021)

Posteriormente realizou-se um estudo na composição do GLP, e os dados são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Composição (%vol) - Análise por Cromatografia gasosa - ASTM D2163.

CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₃ H ₆	Butanos	Buteno	C ₅ ⁺
0,0	0,9	56,1	10,6	17,3	15,0	0,1

Fonte: (CARVALHEIRO, 2021)

Então, o estudo do GLP foi concluído e apresentado na Tabela 7 as características principais do GLP utilizado nesta pesquisa.

Tabela 7 – Características do GLP.

Características	Resultado	Unidade	Especificação	Método ASTM
Pressão de vapor a 37,5°, máx	961	kPa	1430	D2598
Resíduo 100 mL evaporados, máx	<0,05	mL	0,05	0,05
Teste da mancha	Passa	-	Passa	D2158
Pentanos e mais pesados, máx	0,1	%Vol.	2,0	D2163
Enxofre Total, máx.	9	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Odorizante	0,030	g/m ³	Anotar	D5504
H ₂ S	Passa	-	Passa	D2420
Corrosividade ao cobre a 37,8°C, 1 hora, máx	1	-	1	D1838
Corrosividade ao cobre a 37,8°C, 1 hora, máx	529	kg/m ³	Anotar	D2598
Corrosividade ao cobre a 37,8°C, 1 hora, máx	Ausente	-	Ausente	Visual

Fonte: (CARVALHEIRO, 2021)

Os testes realizados para se obter as características do GLP seguiram as especificações estabelecidas na Resolução ANP n°825 de 28/08/2020. Ainda, por meio da análise da composição do GLP, é apresentado na Tabela 8 a composição completa do mesmo.

Tabela 8 – Composição completa do GLP em %vol.

Análise			
Componente	a	b	Média (% v/v)
Metano	0,00	0,00	0,00
Etano	0,95	0,94	0,9
Propano	56,07	56,04	56,1
Propeno	10,67	10,62	10,6
Isobutano	4,63	4,64	4,6
n-Butano	12,63	12,66	12,6
trans-2-Buteno	4,79	4,79	4,8
1-Buteno	2,70	2,75	2,7
Neo-pentano	0,02	0,02	0,0
Isobuteno	4,32	4,31	4,3

Tabela 8 – Composição completa do GLP em %vol.

Análise			
Componente	a	b	Média (% v/v)
cis-2-Buteno	3,04	3,04	3,0
Isopentano	0,07	0,07	0,1
n-Pentano	0,01	0,01	0,0
1,3-Butadieno	0,12	0,12	0,1
n-Hexano	0,00	0,00	0,00

Fonte: (CARVALHEIRO, 2021)

2.3 Grupo Motor Gerador - GMG

A busca por alternativas energéticas que utilizem fontes menos poluentes tem se tornado cada vez mais relevante. Essa necessidade decorre da urgência em reduzir as emissões de gases de efeito estufa e mitigar os impactos ambientais, ao mesmo tempo em que se busca fortalecer a matriz energética dos países por meio de soluções sustentáveis e economicamente viáveis. Nesse contexto, a Geração Distribuída (GD) se destaca como uma solução eficaz para aproximar a geração de energia dos consumidores, o que resulta na diminuição dos custos de implementação e distribuição da eletricidade.

Além disso, a Geração Distribuída oferece várias vantagens em relação à geração centralizada ou convencional. Entre essas vantagens, podemos citar a redução das perdas de energia durante a transmissão, o aumento da estabilidade no fornecimento elétrico, a diminuição dos problemas ambientais, a redução dos custos de fornecimento e a ampliação do acesso à energia para consumidores rurais.

Para garantir a operação eficiente da GD, é necessário um controle adequado do sistema, especialmente devido ao regime intermitente da geração e à diminuição da inércia nas micro e minigerações. Quando um sistema está conectado à rede, esta estabelece a frequência e a tensão necessárias, fornecendo as referências de tensão e frequência.

Diante da atual situação do sistema elétrico de potência (SEP), a Geração Distribuída se configura como uma alternativa viável para sanar deficiências do SEP, alcançando um maior número de consumidores e promovendo uma maior proximidade entre a geração de energia e os centros de consumo.

2.3.1 Conceitos Básicos de Combustão

Para facilitar a compreensão dos assuntos abordados, é importante apresentar alguns conceitos básicos relacionados aos termos utilizados no fenômeno da combustão:

- Ar: O ar é agente oxidante: substâncias que fornecem oxigênio para o combustível;
- Combustível: O combustível é a substância capaz de reagir com os oxidantes. No caso deste estudo o combustível será o GLP;
- Reagente: É uma mistura de combustível e oxigênio (ar) capaz de reagir entre si com liberação ou absorção de calor;
- Gases de exaustão (escape): São substâncias residuais da reação dos reagentes. Poderão ser considerados elementos tais como O_2 , H_2O , CO , NO , hidrocarbonetos, material particulado e outros, dependendo das condições da reação química;
- Inerte: São substâncias químicas adicionadas aos reagentes que não reagem com o combustível nem com o oxidante e compõem os produtos.
- Calor de reação: É o calor liberado durante a combustão (reação química exotérmica).

2.3.2 Consumo Específico (CE) - Motor de Combustão Interna (MCI)

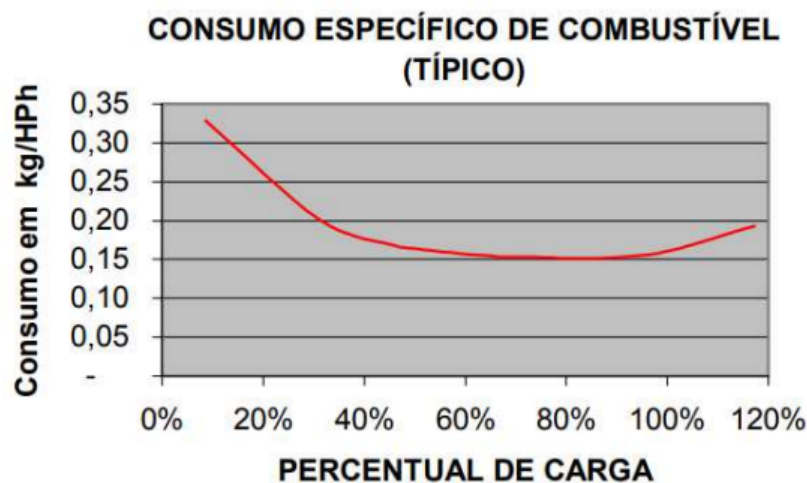
Um parâmetro importante que define a forma como o combustível é transformado em trabalho é o Consumo Específico, que é dado pela massa do combustível (vazão mássica) por trabalho efetuado pelo motor (potência efetiva).

O Consumo Específico de combustível é uma medida da eficiência de um motor pois este consumo e a eficiência de um motor são inversamente relacionados: quanto menor o Consumo Específico maior a eficiência do motor. É calculado dividindo-se o consumo de combustível pela potência efetiva de saída do motor e representa a quantidade de energia produzida durante uma hora de operação para cada quilo de combustível consumido. Pode ser definido conforme a equação 2.1, onde m_{comb} é a massa de combustível consumida e W_{gen} é a potência de saída gerada, no mesmo período.

$$CE_{GMG}[kg/kWh] = \frac{m_{comb}[kg]}{W_{gen}[kWh]} \quad (2.1)$$

Na Figura 4, é apresentada uma curva típica do Consumo Específico de combustível de um Motor de Combustão Interna (MCI) em função da carga.

Figura 4 – Consumo Específico.



Fonte: (PEREIRA, 2023)

2.3.3 Características do GMG Utilizado nesta Pesquisa

Um Grupo Motor Gerador é um sistema composto por uma máquina térmica que transforma energia mecânica em energia elétrica (WEG, 2017), utilizada de forma isolada ou enviada a rede elétrica. No caso de conexão da energia oriunda do GMG com a rede, a energia gerada deve ter níveis de tensão e frequência compatíveis com a energia da rede local.

Estes dispositivos têm diversas aplicações, tais como: prover energia em locais isolados, com geração de energia autônoma, a qual não é ligada a rede; geração de energia para redução de custos operacionais, com geração via grupo gerador em horários de picos; fornecer emergencialmente energia a hospitais, supermercados, shoppings, entre outros; servir de fonte de alternativa em sistemas híbridos de geração de energia (SALAS; SILVEIRA, 2017).

O sistema de geração de energia elétrica atual é composto, predominantemente, por máquinas síncronas, os chamados geradores. Os geradores síncronos possuem como característica a capacidade de sincronizar a frequência a partir do controle de velocidade, permitindo a conexão com a rede e com outros geradores. A forma culturalmente mais comum de produzir energia elétrica é através de máquinas rotativas acionadas mecanicamente por máquinas primárias produzindo tensão senoidal com frequência e amplitude definidos no projeto do gerador. Pode-se definir como geradores rotativos as máquinas girantes que transformam energia mecânica em energia elétrica, através do princípio de conversão eletromecânica de energia. O acionamento da máquina primária pode ser feito de diversas formas, tais como: turbinas hidráulicas, turbinas a vapor, turbinas a gás, máquinas de combustão interna, ou turbina eólica.

Na Figura 5 é ilustrado o Grupo Motor Gerador.

Figura 5 – GMG.



Fonte: Autoria própria

O gerador síncrono é basicamente um gerador formado pelo rotor e pelo estator que são a parte girante e fixa da máquina, respectivamente. De acordo com a localização do enrolamento de campo, pode-se classificar os geradores como de campo fixo ou móvel. Nos geradores de campo fixo, o rotor abriga o enrolamento de armadura, enquanto o enrolamento de campo fica no estator. Nas máquinas de campo móvel, o estator abriga o enrolamento de armadura e é no rotor que fica o enrolamento que produz o fluxo magnético.

Por conta de dificuldades construtivas e econômicas, a configuração de campo móvel é mais utilizada. O gerador síncrono pode ser dividido em dois grupos: os de polos lisos e os de polos salientes. O primeiro, também chamado de rotor cilíndrico, é utilizado em altas velocidades de rotação e possui poucos polos. Os geradores de polos salientes são, geralmente, empregados em aplicações de baixa velocidade e possuem muitos polos. Os geradores síncronos podem ser facilmente operados em paralelo com a rede e com outros GS. O paralelismo dos GS concede ao sistema maior confiabilidade, uma vez que a ausência do GS não implica na total perda de potência para a carga, possibilitando assim a retirada e/ou desligamento para manutenção. Para conectá-los, as tensões de linhas do SEP e do GS precisará ser a mesma e com mesma sequência de fase, sendo que a frequência do gerador que entrará em paralelo deve ser um pouco superior à do sistema, tendo em vista que ao acrescentar carga ao gerador ele irá perder velocidade e, conseqüentemente, diminuirá a sua frequência.

Um gerador de corrente alternada gera não apenas potência ativa, mas também uma certa quantidade de potência reativa (subexcitado ou sobre-excitado). Isso é normalmente descrito por um valor chamado Fator de Potência (FP). O FP é uma razão entre a potência ativa e a potência aparente. O valor mais alto do FP é 1,0 o qual corresponde

a uma carga puramente resistiva. Este também é o valor quando um gerador atinge sua maior eficiência. No caso, pelo catálogo do fabricante do GMG em estudo (Tabela 9) o FP é fornecido nos limites de 0,8 a 1,0.

Tabela 9 – Catálogo do fabricante

GRUPOS MOTOGERADORES GMG					
MODELO GMG	LPG45	LPG60	LPG78	LPG95	LPG230
COMBUSTÍVEL	Gás Natural GLP	Gás Natural GLP	Gás Natural GLP	Gás Natural GLP	Gás Natural GLP
POTÊNCIA NOMINAL (REGIME CONTÍNUO)	45 kW 56 kVA	60 kW 75 kVA	78 kW 97 kVA	95 kW 119 kVA	230 kW 288 kVA
CONSUMO DE COMBUSTÍVEL (GÁS NATURAL)	13 Nm ³ /h	18 Nm ³ /h	23 Nm ³ /h	27 Nm ³ /h	61 Nm ³ /h
CONSUMO DE COMBUSTÍVEL (GLP)	10 Kg/h	13.5 Kg/h	15.5 Kg/h	21.5 Kg/h	51 Kg/h
EFICIÊNCIA	34%	34%	35%	35%	38%
FREQUÊNCIA NOMINAL	60 Hz	60 Hz	60 Hz	60 Hz	60 Hz
ROTAÇÃO NOMINAL	1800 rpm	1800 rpm	1800 rpm	1800 rpm	1800 rpm
NÚMERO DE FASES	Trifásico	Trifásico	Trifásico	Trifásico	Trifásico

Fonte: Leão Energia

O GMG utilizado nesta pesquisa foi o modelo LPG95, o qual foi desenvolvido especificamente para o GLP do Brasil, sendo tal dispositivo fruto de uma parceria colaborativa entre a UFMS, Copa Energia e Aggreko. O gerador LPG95 tem capacidade de produzir 95 kW/119 kVA de energia em modo contínuo. No entanto, foi configurado para operar com fator de potência próximo a 1,0, limitando sua potência ativa a 70 kW, a fim de atender aos requisitos da microgeração distribuída e evitar a sobrecarga do transformador utilizado.

O modelo de GMG utiliza um motor fornecido pela MWM, a qual é uma empresa brasileira especializada no desenvolvimento e fabricação de motores a Diesel. Tal dispositivo é composto por blocos, sendo os cabeçotes originais fabricado para operar utilizando GLP. Isto é possível devido ao projeto do sistema de ignição, injeção e controle para esta aplicação em particular. Ainda, ressalta-se que o gerador LPG95 é projetado e fabricado atendendo as normas NBR 8528, NBR 5410 e NR10. Na Tabela 9 é descrito as informações técnicas do GMG, entretanto não será levado em consideração o consumo de combustível quando operando a GLP, visto que esse dado será determinado analiticamente no decorrer deste estudo.

2.3.3.1 Motor

O modelo do motor do GMG é o 6.12TCA, o qual atua com o combustível GLP. Neste sistema um módulo controla a centelha para a ignição, e tal motor apresenta comando de válvulas no cabeçote, no turbo e no coletor de escape arrefecido a ar, com kit regulador de gás composto por válvulas mecânicas e eletromecânicas, regulador de velocidade, com a finalidade de manter a estabilidade da velocidade em +/- 5% da velocidade

nominal. No projeto deste motor para operação com gás, condicionou-se as buchas e as bielas, e deste modo, são evitados os problemas oriundos de abrasão e corrosão.

Na Figura 6 é ilustrado o motor utilizado no GMG, enquanto suas informações técnicas são apresentadas na Tabela 10.

Figura 6 – Motor MWM 6.12TCA



Fonte: GERADOR LPG95 - MANUAL DE INSTALAÇÃO, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO: MOTORES MWM, CONTROLADOR DEIF AGC 150

Tabela 10 – Informações Técnicas do Motor

MOTOR MWM 6.12TCA	
Número de Cilindros	6 Cilindros em Linha
Volume do Motor	7,8 L
Aspiração	Turbo Intercooler
Tipo de Refrigeração	Água
Pressão de Óleo na Temperatura de Operação	4,5 bar
Volume de Óleo Lubrificante com Filtro	14,7 – 18,7 L
Temperatura do Fluido de Arrefecimento	80°C – 90°C
Volume do Sistema de Arrefecimento (sem radiador)	9 L
Tensão do Sistema	24 V
Motor de Partida	4 kW / 24 Vcc
Alternador do Motor	28 Vcc / 80 A
Baterias	2 Unidades (em gel) – 12 Vcc – 50 Ah
Fluxo de Gás de Escape à Plena Carga	830 kg/h
Temperatura do Gás de Escape	600°C
Ignição	Ignição Eletrônica com Bobinas Independentes
Controle de Combustível	Controle Eletrônico da Relação Ar/Combustível, <i>Lean-Burn</i>
Controle de Velocidade	Regulador Eletrônico com Válvula Borboleta e Atuador

Fonte: GERADOR LPG95 - MANUAL DE INSTALAÇÃO, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO: MOTORES MWM, CONTROLADOR DEIF AGC 150

2.3.3.2 Gerador Síncrono

Na estrutura do GMG, o alternador opera como um gerador de corrente alternada e é responsável pela transformação de energia mecânica em energia elétrica. Para o Grupo Motor Gerador LPG95 utilizado nesta pesquisa, o alternador usado é um gerador síncrono, trifásico, com placa de Regulação Automática de Tensão (AVR, do inglês *Automatic Voltage Regulation*). O dispositivo também apresenta fechamento em estrela com neutro acessível, sendo seu dimensionamento realizado para temperatura ambiente de $40^{\circ}\text{C}/\Delta T=125^{\circ}\text{C}$. Neste contexto, pode-se operar o GMG por um número ilimitado de horas por ano, mas sem sobrecarga neste regime de funcionamento, de acordo com as normas ISO 8528, IEC 60034 e NEMA MG1.

Na Figura 7 é ilustrado o alternador da WEG GTA 202AI36B15T utilizado no GMG LPG95, enquanto suas informações técnicas são apresentadas na Tabela 11.

Figura 7 – Alternador WEG GTA 202AI36B15T



Fonte: GERADOR LPG95 - MANUAL DE INSTALAÇÃO, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO: MOTORES MWM, CONTROLADOR DEIF AGC 150

Tabela 11 – Informações Técnicas do Alternador

ALTERNADOR WEG	
Rotação Nominal	1800 RPM / 60 Hz
Sistema de Excitação	Brushless com Bobina Auxiliar
Número de Polos	4
Mancal	Único
Acoplamento	Rígido
Classe de Isolação	180°C (H)
Fator de Potência	0,8
Grau de Proteção	IP21
Refrigeração	ICO01
Regulador de Tensão	Resposta Dinâmica de 8 a 400 ms / Precisão $\pm 0,5\%$
Distorção Harmônica sem Carga	$<3\%$
Número de Terminais	12

Fonte: GERADOR LPG95 - MANUAL DE INSTALAÇÃO, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO: MOTORES MWM, CONTROLADOR DEIF AGC 150

2.4 Tipos de Tarifas

Sendo a avaliação do custo de geração de energia como parte dos principais objetivos deste trabalho, torna-se necessário avaliar os tipos de tarifas de energia elétrica vigentes para uma futura comparação. Conforme Resolução Normativa ANEEL N° 1.000, de 7 de dezembro de 2021, definem-se as seguintes categorias de atendimento:

Grupo A: Grupamento composto de unidades consumidoras com conexão em tensão maior ou igual a 2,3 kV, ou atendidas a partir de sistema subterrâneo de distribuição em tensão menor que 2,3 kV, e subdividido nos seguintes subgrupos:

- Subgrupo A1: tensão de conexão maior ou igual a 230 kV
- Subgrupo A2: tensão de conexão maior ou igual a 88 kV e menor ou igual a 138 kV;
- Subgrupo A3: tensão de conexão igual a 69 kV;
- Subgrupo A3a: tensão de conexão maior ou igual a 30 kV e menor ou igual a 44 kV;
- Subgrupo A4: tensão de conexão maior ou igual a 2,3 kV e menor ou igual a 25 kV;
- Subgrupo AS: tensão de conexão menor que 2,3 kV, a partir de sistema subterrâneo de distribuição.

Grupo B: Grupamento composto de unidades consumidoras com conexão em tensão menor que 2,3 kV e subdividido nos seguintes subgrupos:

- Subgrupo B1: residencial;
- Subgrupo B2: rural;
- Subgrupo B3: demais classes;
- Subgrupo B4: Iluminação Pública.

Sendo a instalação elétrica utilizada para a realização deste projeto um transformador particular de 75 kVA com conexão em tensão primária de 13,8 kV, a categoria de atendimento a ser adotada se enquadra no subgrupo A4. Em sequência, tem-se a definição das modalidades tarifárias horárias e seus respectivos valores, considerando as tarifas da concessionária de energia do local em que está sendo realizado trabalho apresentado, no caso, trata-se da Energisa Mato Grosso do Sul (EMS).

2.4.1 Tarifa Horária Azul

Conforme a Resolução Normativa ANEEL N° 1.000, de 7 de dezembro de 2021, define-se como modalidade tarifária horária azul para as categorias de atendimento em tensão primária as seguintes características:

- I - uma tarifa para a demanda para o posto tarifário ponta;
- II - uma tarifa para a demanda para o posto tarifário fora de ponta;
- III - uma tarifa para o consumo de energia elétrica para o posto tarifário ponta;
- IV - uma tarifa para o consumo de energia elétrica para o posto tarifário fora de ponta.

Tem-se definido na Tabela 12 as tarifas de energia elétrica na modalidade tarifária azul para o subgrupo A4 sem contar tributos, impostos e outros encargos.

Tabela 12 – Modalidade tarifária horária azul

MODALIDADE TARIFÁRIA HORÁRIA AZUL							
Subgrupo	Classes	Demanda (R\$/kW)		Ultrapassagem (R\$/kW)		Consumo (R\$/kWh)	
		Ponta	Fora Ponta	Ponta	Fora Ponta	Ponta	Fora Ponta
A4 (13,8 kV)	DEMAIS CLASSES	66,70	34,28	133,40	68,56	0,59644	0,42210
	RURAL	66,70	34,28	133,40	68,56	0,59644	0,42210
	RURAL IRRIGAÇÃO	66,70	34,28	133,40	68,56	0,59644	0,08442
	SERVIÇO PÚBLICO	66,70	34,28	133,40	68,56	0,59644	0,42210

Fonte: (ENERGISA, 2024a)

2.4.2 Tarifa Horária Verde

Conforme a Resolução Normativa ANEEL N° 1.000, de 7 de dezembro de 2021, define-se como modalidade tarifária horária verde para as categorias de atendimento em tensão primária as seguintes características:

- I - uma tarifa para a demanda, sem segmentação horária;
- II - uma tarifa para o consumo de energia elétrica para o posto tarifário ponta;
- III - uma tarifa para o consumo de energia elétrica para o posto tarifário fora de ponta.

Tem-se definido na Tabela 13 as tarifas de energia elétrica na modalidade tarifária verde para o subgrupo A4 sem contar tributos, impostos e outros encargos.

Tabela 13 – Modalidade tarifária horária verde

MODALIDADE TARIFÁRIA HORÁRIA AZUL							
Subgrupo	Classes	Demanda (R\$/kW)		Ultrapassagem (R\$/kW)		Consumo (R\$/kWh)	
		Ponta	Fora Ponta	Ponta	Fora Ponta	Ponta	Fora Ponta
A4 (13,8 kV)	DEMAIS CLASSES	-	34,28	-	68,56	2,21553	0,42210
	RURAL	-	34,28	-	68,56	2,21553	0,42210
	RURAL IRRIGAÇÃO	-	34,28	-	68,56	2,21553	0,08442
	SERVIÇO PÚBLICO	-	34,28	-	68,56	2,21553	0,42210

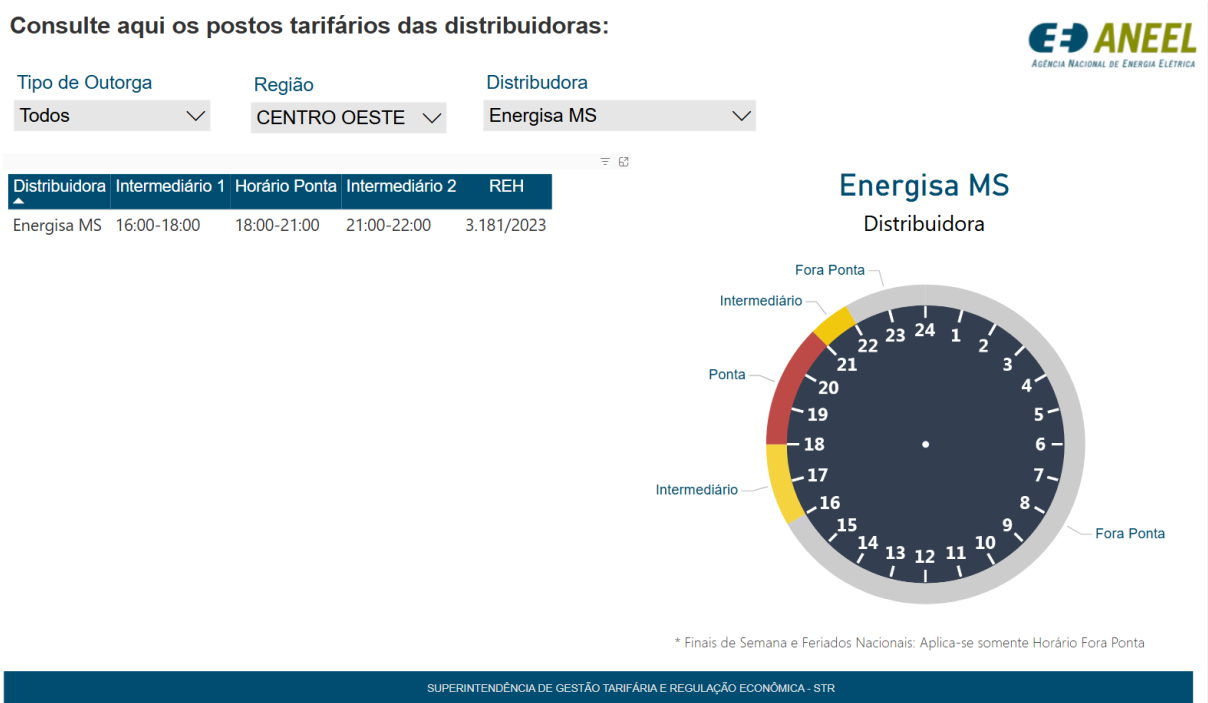
Fonte: (ENERGISA, 2024a)

2.4.3 Horário de Ponta

Define-se como posto tarifário ponta o período composto por 3 horas diárias consecutivas definidas pela distribuidora considerando a curva de carga de seu sistema elétrico, aprovado pela ANEEL para toda a área de concessão ou permissão, não se aplicando aos sábados, domingos, terça-feira de carnaval, sexta-feira da Paixão, Corpus Christi e aos feriados nacionais dos dias 1º de janeiro, 21 de abril, 1º de maio, 7 de setembro, 12 de outubro, 2 de novembro, 15 de novembro, 20 de novembro e 25 de dezembro.

Para o estado do Mato Grosso do Sul, ilustra-se na Figura 8 os horários definidos como horário de ponta.

Figura 8 – Postos tarifários das distribuidoras



Fonte: (ANEEL, 2024)

2.4.4 Tributos, impostos e outros encargos

Os valores apresentados anteriormente estão sem a inclusão de impostos. No entanto, como o preço do GLP considerado já inclui os impostos vigentes, é necessário recalcular os valores anteriores para uma comparação justa, aplicando as alíquotas correspondentes de impostos Federais e Estaduais.

Os impostos federais incluem o Programa de Integração Social (PIS) e a Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS), ambos arrecadados pela União e destinados a programas sociais do Governo Federal. No âmbito estadual, o Imposto sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) é previsto no artigo 155 da Constituição Federal de 1988 e regulamentado pelo código tributário de cada estado, sendo estabelecido por meio de leis estaduais. Para fins tributários, a energia elétrica é classificada como mercadoria, o que obriga a concessionária a cobrar o ICMS nas faturas e repassá-lo integralmente ao Governo Estadual.

Definem-se nas Tabelas 14 e 15 quais serão os percentuais tributários aplicados no consumo de energia elétrica.

Tabela 14 – Alíquotas de ICMS incidentes sobre o consumo de energia elétrica

Alíquotas de ICMS incidentes sobre o consumo de energia elétrica		
Classe	Faixa (kWh)	Alíquota
Demais classes	Todas	17%
Poder público estadual	Todas	Isento
Poder público municipal/federal; Adm pública estadual; Estabelecimento Ens. Estadual; Hospitais Estaduais	Todas	17%
Residencial	Até 50	Isento
	De 51 a 200	17%
	De 201 a 500	17%
	Acima de 500	17%
Rural	Produtor rural	17%
	Cooperativa de eletrificação rural	Isento
Rural demais subclasses	De 51 a 200	17%
	De 201 a 500	17%
	Acima de 500	17%
	Até 50	Isento

Fonte: (ENERGISA, 2024b)

Tabela 15 – PIS COFINS

PIS COFINS			
Ano	Mês	Alíquota de PIS	Alíquota COFINS
2024	Outubro	0,67	3,07
2024	Setembro	0,95	4,39
2024	Agosto	0,67	3,07
2024	Julho	1,08	5,00
2024	Junho	1,08	5,00
2024	Maiο	1,08	5,00
2024	Abril	1,08	5,00
2024	Março	1,08	5,00
2024	Fevereiro	1,08	5,00
2024	Janeiro	1,08	5,00

Fonte: (ENERGISA, 2024b)

O consumo de energia, incluindo a aplicação de impostos, pode ser calculado utilizando a equação (2.2), e o valor final é apresentado na Tabela 16. Os percentuais aplicados de ICMS, PIS e COFINS são, respectivamente, 17%, 0,67% e 3,07%. Para a apresentação dos resultados do custo de geração de energia do GMG operando a GLP, será utilizado como referência o valor do kWh na modalidade tarifária horária verde, subgrupo A4.

$$\text{Consumo}_{\text{tributado}}(R\$/kWh) = \frac{\text{Consumo}(R\$/kWh)}{1 - (\text{PIS} + \text{COFINS} + \text{ICMS})} \quad (2.2)$$

Tabela 16 – Consumo de Energia Tributado

Consumo de Energia Tributado					
Subgrupo	Classes	Consumo Modalidade AZUL (R\$/kWh)		Consumo Modalidade VERDE (R\$/kWh)	
		Ponta	Fora Ponta	Ponta	Fora Ponta
A4 (13,8 kV)	DEMAIS CLASSES	0,75251	0,53255	2,79527	0,53255
	RURAL	0,75251	0,53255	2,79527	0,53255
	RURAL IRRIGAÇÃO	0,75251	0,10651	2,79527	0,10651
	SERVIÇO PÚBLICO	0,75251	0,53255	2,79527	0,53255

2.5 Gases de Exaustão do GMG Operando a GLP

Na realização desta pesquisa que estuda o desempenho de um GMG operando a GLP são analisados os gases poluentes presentes no sistema de exaustão de tal sistema. Por meio de um analisador de gases, monitora-se: O₂%, NO (ppm), CO (ppm), CO₂%, NO_x (ppm) e C_xH_y (ppm).

2.5.1 Oxigênio (O₂)

Em uma queima ideal todo o O₂ deve ser usado na combustão. Em sistemas de instrumentação, costuma-se mensurar a concentração de O₂ no escape por diversos motivos, dentre os quais pode-se citar:

- Mensurar a eficiência no processo de combustão: a utilização de sensores para medir a concentração de oxigênio no escapamento de geradores visa obter informações relacionadas a eficiência da combustão do GLP. Neste contexto, caso existe excesso de O_2 , isto pode indicar que a mistura do ar com o GLP pode estar não adequada no processo de combustão, e caso contrário, a mistura está com concentração apropriada.
- Caracterizar os gases que estão sendo emitidos no escapamento do GMG: se a mistura do ar mais o GLP resultar em um gás com baixa concentração de GLP, isto pode resultar em um aumento na produção de NO_x . No caso oposto, no sistema de exaustão, pode-se observar altas emissões de CO. Deste modo, utiliza-se a concentração de oxigênio na saída para ajustar a mistura de ar e GLP na operação do motor do GMG.

2.5.2 Óxidos de Nitrogênio (NO_x)

Estes elementos estão presentes na combustão do GLP no acionamento do GMG. O NO_x para indicar a soma do NO mais o NO_2 , isto é:

$$NO_x = NO + NO_2 \quad (2.3)$$

Sendo NO o monóxido de nitrogênio e NO_2 o dióxido de nitrogênio. No processo de funcionamento do GMG, normalmente a produção de NO é maior do que a produção de NO_2 (JR, 2003).

Quando o NO é lançado na atmosfera, este gás reage com oxigênio, e se transforma em NO_2 .



A reação química descrito em (2.4) é acelerada na presença de luz solar. No caso da combustão, as altas temperaturas, em conjunto com o nitrogênio presente no ar de entrada do motor, são fatores que contribuem para a formação de NO.

A concentração de NO produzido durante o funcionamento de GMGs, depende da composição do combustível, da carga aplicada ao GMG e de como foi construído tal Grupo Motor Gerador. Neste contexto, formulou-se a produção deste poluente de duas maneiras:

- No NO_x atmosférico, o qual tem sua produção oriundo da oxidação do N_2 presente na atmosfera, tem-se sua produção por duas maneiras: NO_x térmico e de NO imediato;
- Para o NO do combustível, tem-se a produção pelo nitrogênio presente no combustível, o qual reage com o oxigênio.

Durante a operação de um GMG a GLP, os óxidos de nitrogênio são lançados na atmosfera. Posteriormente, estes poluentes entram em contato com o vapor d'água, e como resultado, forma-se o ácido nítrico. A presença de ácido nítrico em conjunto com H_2SO_4 (oriundos da emissão de SO_2) causam, por exemplo, a chuva ácida.

Ressalta-se que quando dióxido de nitrogênio entra em contato com os raios ultra violetas (UV), como resultado, existe a produção de ozônio.



Quando este ozônio produzido se localiza no nível do solo, apresenta risco a saúde humana, pois pode causar tosse, afetando a capacidade de funcionamento dos pulmões (JR, 2003).

2.5.3 Óxidos de Carbono (CO e CO_2)

O gás CO é denominado de monóxido de carbono e o gás CO_2 é chamado de dióxido de carbono. Em um processo com combustão incompleta, tem-se como resultado o monóxido de carbono, o qual é um indicador de perda de energia, sendo que tal gás atua como poluente na atmosfera. Em um cenário de temperaturas baixas, a concentração de CO é pequena. Mas para temperaturas elevadas, a equação química de produção de CO é acelerada.

Quando existe um processo de combustão no qual se produz o monóxido de carbono, o gás não tem cheiro e também é venenoso para o ser humano. Na Tabela 17 são descritos os efeitos do CO nas pessoas.

Tabela 17 – Efeitos do CO no ser humano.

ppm	Efeitos e sintomas nas pessoas	Tempo
35	Nível permissível de exposição	8 horas
200	Dor de cabeça leve, desconforto	3 horas
400	Dor de cabeça, desconforto	2 horas
600	Dor de cabeça, desconforto	1 hora
1.000-2.000	Confusão, dor de cabeça, náusea	2 horas
1.000-2.000	Tendência a cambalear	1 1/2 hora
1.000-2.000	Palpitação no coração	30 minutos
2.000-2.500	Perda de consciência	30 minutos
4.000	Fatal	Menos de 1 hora

Fonte: (JR, 2003)

A combustão dos hidrocarbonetos inicia-se com a quebra do combustível, do qual se forma o CO, e posteriormente da oxidação do CO para CO_2 .





2.5.4 Hidrocarbonetos (C_xH_y)

A nomenclatura C_xH_y representa genericamente os hidrocarbonetos, compostos exclusivamente por átomos de carbono e hidrogênio. Os hidrocarbonetos não queimados formam-se nas regiões da câmara onde a temperatura é insuficiente para completar a reação de combustão, sendo então expelidos pelo sistema de escapamento do GMG (FERREIRA, 2017). Em outras palavras, C_xH_y corresponde a uma porção do combustível que não é totalmente queimada ou queima de forma incompleta, sendo liberada pelo sistema de escape do motor do GMG a GLP.

Assim como os óxidos de nitrogênio, os hidrocarbonetos requerem controle rigoroso de sua concentração durante a operação de GMGs, pois contribuem para a formação do *smog* fotoquímico — uma névoa poluente formada pela reação de compostos orgânicos voláteis (COVs) e óxidos de nitrogênio na presença de luz solar. Essa substância é classificada como um composto orgânico volátil (COV), no qual é excluído a presença do metano (CETESB, 2023).

O composto C_xH_y está presente em diversas substâncias, como petróleo, gás natural e GLP. Existe uma metodologia para a nomenclatura dos hidrocarbonetos, a qual é baseada na quantidade de átomos de carbono presentes na cadeia do composto. Na Tabela 18 é apresentado os prefixos correspondentes aos hidrocarbonetos.

Tabela 18 – Prefixo dos hidrocarbonetos

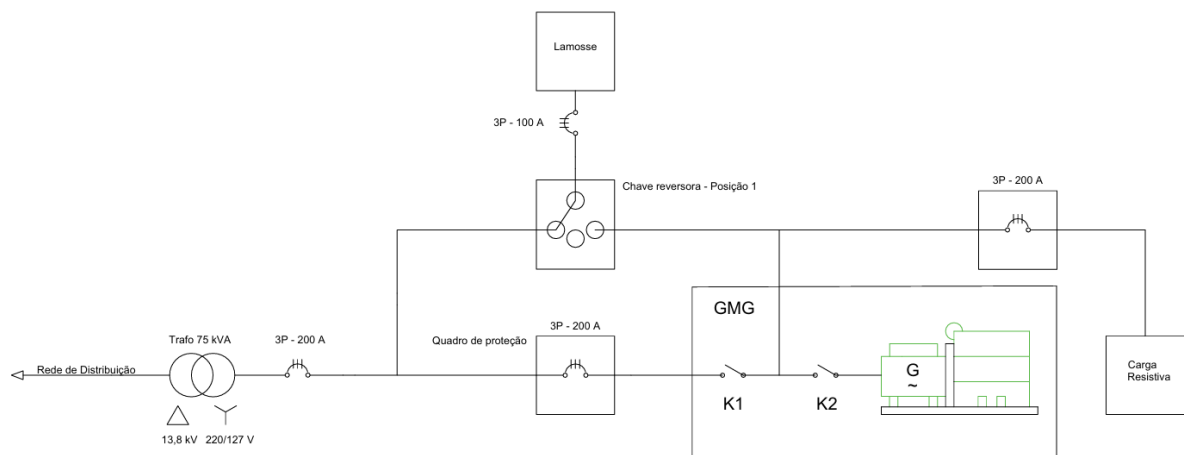
1 carbono	MET
2 carbono	ET
3 carbono	PRO
4 carbono	BUT
5 carbono	PENT
6 carbono	HEX
7 carbono	HEPT
8 carbono	OCT
9 carbono	NON

Fonte: (VOLLHARDT; SCHORE, 2013)

3 Metodologia

Os ensaios com o GMG foram realizados no LAMOSSE - Laboratório de Modelagem e Simulação de Sistemas Elétricos. Durante os testes *on-grid*, as chaves e contadoras foram configuradas para que o laboratório fosse alimentado pelo gerador, enquanto o excedente de energia fosse direcionado para a rede. Ao longo dos testes, foram registrados tanto o consumo de GLP para a geração de energia quanto os gases emitidos no escapeamento do motor, utilizando um analisador de gases. A qualidade da energia enviada à rede e outras grandezas elétricas foram monitoradas e registradas por meio de dois sistemas de supervisão: o *Utility*, do controlador DEIF, e o *Radiocontrol*, responsável pela medição da vazão de gás. Na Figura 9 é apresentado o diagrama unifilar da instalação.

Figura 9 – Diagrama unifilar da instalação



Fonte: Autoria Própria

3.1 Materiais utilizados

3.1.1 GMG

Como mencionado anteriormente na seção 2.3.3, o modelo GMG adotado foi o LPG95, operando com GLP, conforme ilustrado na Figura 10.

Figura 10 – GMG LPG95



Fonte: Autoria Própria

3.1.2 Reservatório de GLP

O reservatório fornecido pela Copa Energia é o modelo P-4000, de uso industrial, com capacidade para 4000 kg, conforme ilustrado na Figura 11.

Figura 11 – Reservatório de GLP LAMOSSE



Fonte: Autoria Própria

3.1.3 Analisador de Gases

Para a análise dos poluentes presentes nos gases provenientes do sistema de exaustão do Gerador de Motores a Gás (GMG) operando com Gás Liquefeito de Petróleo (GLP), utilizou-se o analisador ECIL Chemist 600, conforme ilustrado na Figura 12.

Figura 12 – Analisador ECIL Chemist 600



Fonte: Autoria Própria

3.1.4 Supervisório

O controlador DEIF AGC 150 será utilizado para a interface homem-máquina, como mostrado na Figura 13. Na operação, a contatora à direita será referida como K1 e a contatora à esquerda como K2.

Figura 13 – Controlador DEIF AGC 150

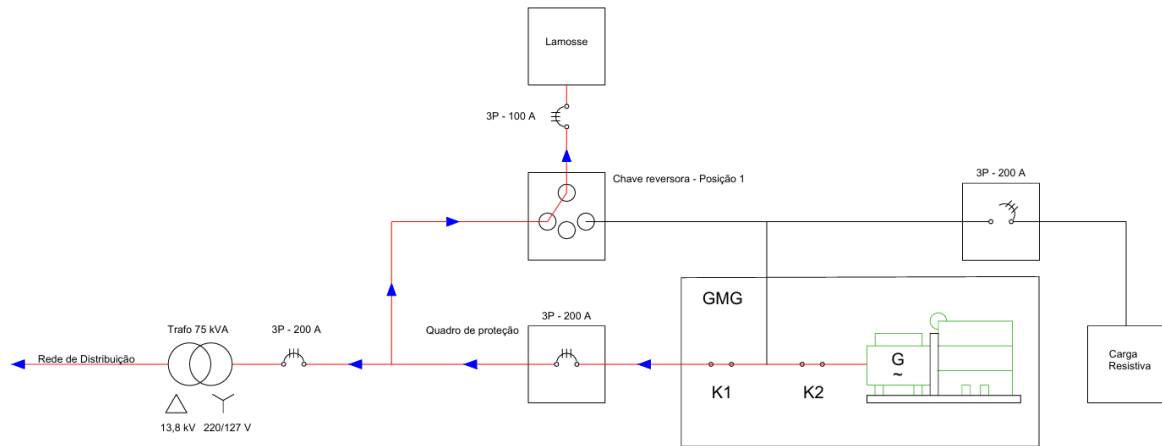


Fonte: Autoria Própria

3.2 Configuração de Operação

A combinação de chaves e contadoras necessária para o teste *on-grid* é apresentada na Figura 14. Para sua execução, é fundamental que ambas as contadoras estejam fechadas, que a chave reversora esteja conectada ao laboratório e que o disjuntor da carga resistiva permaneça desarmado.

Figura 14 – Configuração para operação *on-grid*



Fonte: Autoria Própria

3.3 Procedimentos de ensaio

1. Na configuração *on-grid*, inicializa-se o GMG com rotação constante de 1800 rpm (a vazio) por 5 minutos para estabilização, iniciando assim, a coleta das grandezas elétricas/mecânicas.
2. Operar o GMG conectado a rede elétrica e injetando por 1 hora, e após este período (finalização do ensaio), o motor permanece ligado por 5 min para limpar qualquer resíduo de gás restante no sistema de alimentação.
3. Durante este ensaio, realizar a cada 30 minutos uma medida dos poluentes: O_2 , CO_2 , CO , C_xH_y , NO e NO_x , transcorrido o início da da operação do GMG no modo *on-grid*.
4. Pelo supervisório *Utility* do controlador DEIF do gerador coletar: a potência gerada, a frequência da tensão de saída, corrente de fase, tensão de linha. Pelo supervisório Radiocontrol coletar o consumo do GMG durante a realização do ensaio.
5. Calcular o consumo do GLP (kg/h) do GMG e o Consumo Específico (kg/kWh) durante a realização do ensaio.

4 Resultados

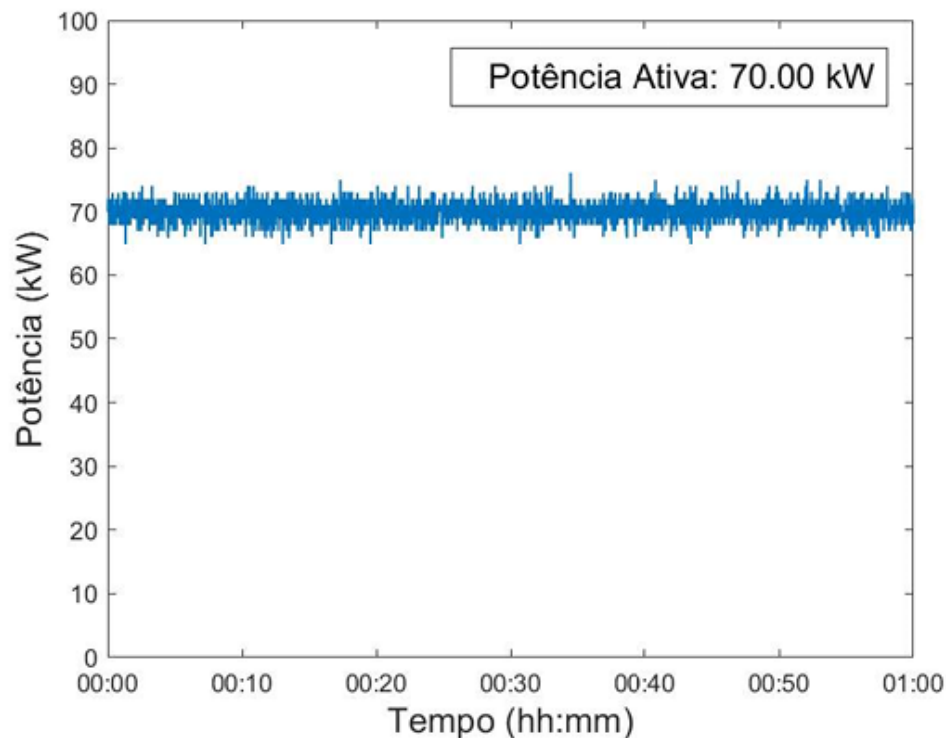
4.1 Resultado dos Ensaio *on-grid* operando a GLP

4.1.1 Ensaio Dia 31/10/2023 as 14:30

Para o ensaio de injeção de energia na rede elétrica, o GMG foi configurado para operar no modo *on-grid*. Durante o teste, o GMG forneceu energia ao laboratório LAMOSSE/UFMS, injetando o excedente na rede por uma hora. É apresentado na Figura 15 a dinâmica da potência ativa gerada ao longo do ensaio, enquanto a Figura 16 apresenta a potência aparente. É ilustrado na Figura 17 o consumo de GLP durante o ensaio.

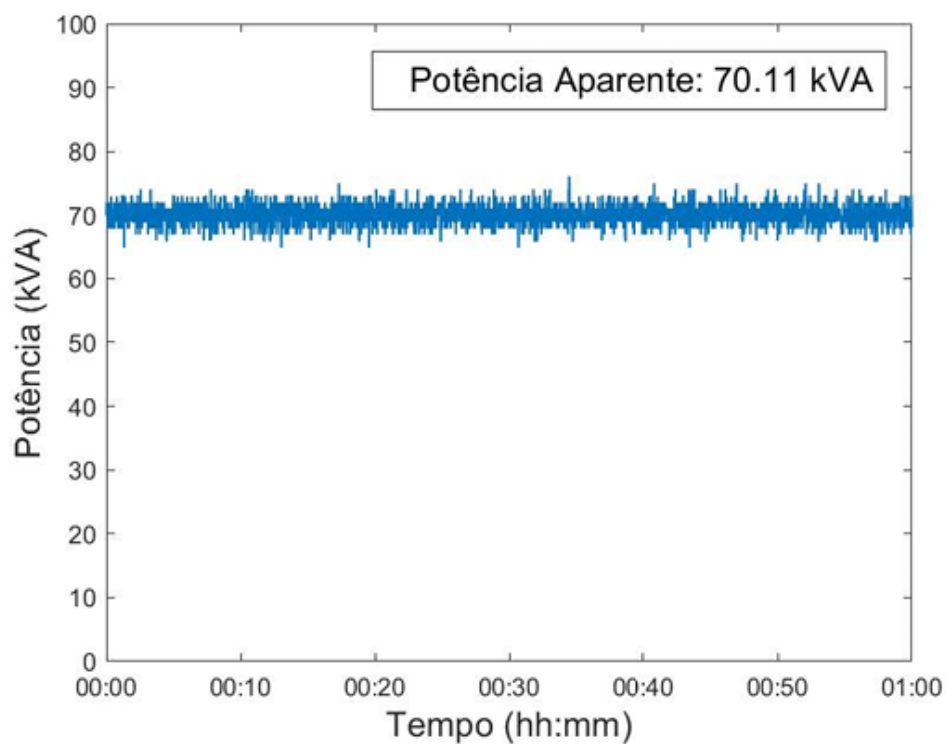
Conforme pontuado anteriormente na seção 2.3.3, o paralelismo depende da tensão do SEP ao qual o Gerador está conectado e da sua frequência de operação. Dessa forma, a tensão de linha é apresentada na Figura 18 e a frequência na Fase A na Figura 19. Por fim, a corrente gerada na Fase A é ilustrada na Figura 20.

Figura 15 – Potência ativa gerada



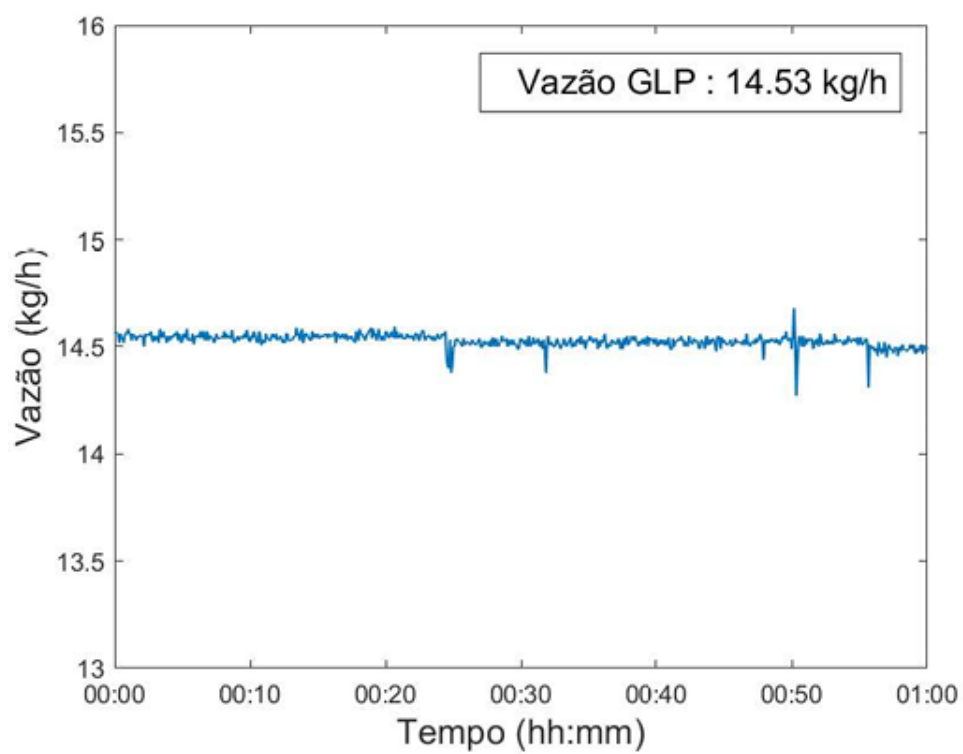
Fonte: Autoria Própria

Figura 16 – Potência aparente gerada



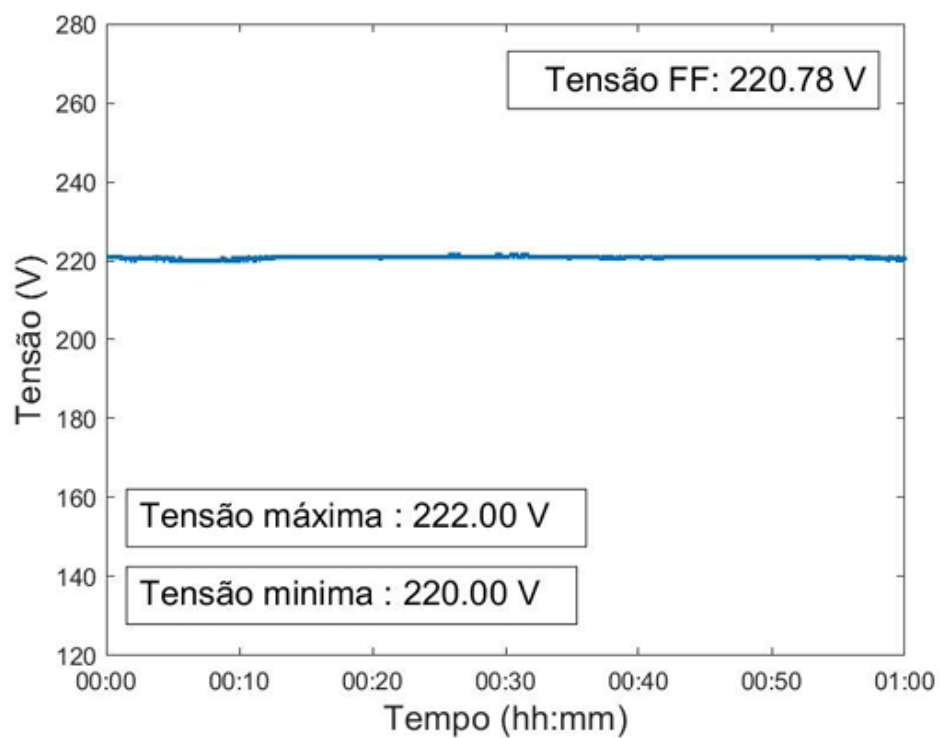
Fonte: Autoria Própria

Figura 17 – Consumo de GLP



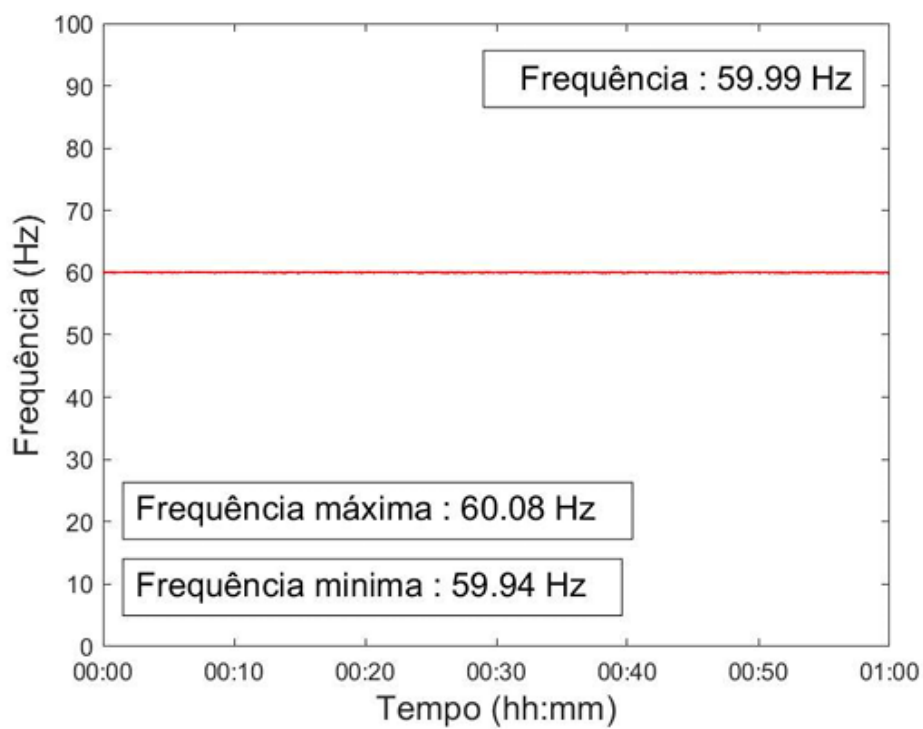
Fonte: Autoria Própria

Figura 18 – Tensão Fase-Fase



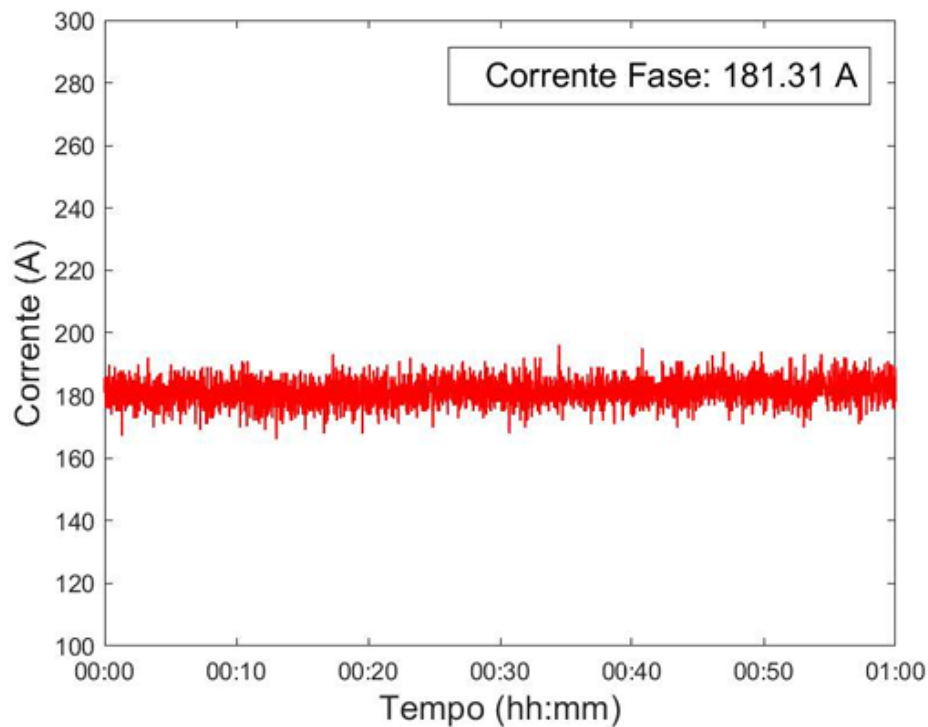
Fonte: Autoria Própria

Figura 19 – Frequência na Fase A



Fonte: Autoria Própria

Figura 20 – Corrente na Fase A



Fonte: Autoria Própria

Por fim, é ilustrado na tabela 19 o resultado da análise dos gases de escape.

Tabela 19 – Análise dos gases de exaustão

Gases	Medição 1	Medição 2
O ₂ (%)	8,6	8,7
CO ₂ (%)	8,2	8,1
CO (ppm)	776	762
NO (ppm)	400	392
C _x H _y (%)	0,17	0,20
NO _x (ppm)	420	412

Fonte: Autoria Própria

4.2 Interpretação dos Resultados

Para atender aos requisitos de microgeração distribuída, conforme pontuado anteriormente, o gerador operou por uma hora, gerando uma potência ativa de 70 kW com um fator de potência de 0,99. Durante esse período, o consumo de GLP foi de 14,53 kg, resultando em um consumo específico de 0,2075 kg/kW, conforme a Equação 2.1. O custo de geração foi calculado em 1,5807 R\$/kWh, considerando o preço do GLP no estado do Mato Grosso do Sul em novembro de 2024, que é de R\$ 99,00 para um recipiente de 13 kg.

Para a análise da tensão de saída, a Resolução Normativa N° 956 da ANEEL (ANEEL, 2021) estabelece diretrizes para os procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional, especificados no PRODIST. Nesse documento, o módulo 8 trata da qualidade do fornecimento de energia elétrica, definindo os valores aceitáveis para a tensão de fornecimento em redes secundárias. Ao comparar os resultados obtidos na Figura 18 com os da Tabela 20, observa-se que a tensão de saída (Fase-Fase/FF ou Tensão de Linha/TL) é considerada adequada conforme os parâmetros estabelecidos para distribuição.

Tabela 20 – Pontos de conexão em Tensão Nominal igual ou inferior a 1 kV (220/127)

Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de Variação da Tensão de Leitura (Volts)
Adequada	$(202 \leq TL \leq 231)/(117 \leq TL \leq 133)$
Precária	$(191 \leq TL < 202 \text{ ou } 231 < TL \leq 233)/$ $(110 \leq TL < 117 \text{ ou } 133 < TL \leq 135)$
Crítica	$(TL < 191 \text{ ou } TL > 233)/(TL < 110 \text{ ou } TL > 135)$

Fonte: (ANEEL, 2021)

Para a análise da frequência, o módulo 8 do PRODIST (ANEEL, 2021) define os seguintes valores de referência para a variação de frequência.

- O sistema de distribuição e as instalações de geração a ele conectadas devem, em condições normais de operação e em regime permanente, operar dentro dos limites de frequência situados entre 59,9 Hz e 60,1 Hz.
- Quando da ocorrência de distúrbios no sistema de distribuição, as instalações de geração devem garantir que a frequência retorne, no intervalo de tempo de 30 segundos após a transgressão, para a faixa de 59,5 Hz a 60,5 Hz, para permitir a recuperação do equilíbrio carga-geração.
- Havendo necessidade de corte de geração ou de carga para permitir a recuperação do equilíbrio carga-geração, durante os distúrbios no sistema de distribuição, a frequência:
 1. Não pode exceder 66 Hz ou ser inferior a 56,5 Hz em condições extremas;
 2. Pode permanecer acima de 62 Hz por no máximo 30 segundos e acima de 63,5 Hz por no máximo 10 segundos;
 3. Pode permanecer abaixo de 58,5 Hz por no máximo 10 segundos e abaixo de 57,5 Hz por no máximo 5 segundos.

Dessa forma, pode-se concluir que o comportamento da frequência observado na Figura 19 permaneceu estável, sem apresentar distúrbios, operando dentro dos limites de 59,9 Hz e 60,1 Hz.

5 Conclusão

A possibilidade de utilizar a tarifa horária verde durante o horário de ponta apresenta uma alternativa economicamente atrativa, com potencial de redução de até 43,4% no custo do kWh, reforçando sua viabilidade para consumidores.

Entretanto, para maximizar os benefícios dessa opção, é imprescindível o desenvolvimento de Grupos Moto-Geradores (GMGs) projetados especificamente para operar com Gás Liquefeito de Petróleo (GLP). Atualmente, a utilização de equipamentos adaptados de modelos a gás natural compromete tanto a eficiência quanto a precisão dos resultados, destacando a necessidade de soluções dedicadas.

Adicionalmente, a legislação brasileira apresenta uma lacuna quanto ao uso do GLP em motores, sendo essa prática explicitamente proibida pela Agência Nacional do Petróleo (ANP). Contudo, o elevado potencial do GLP como fonte de energia para geração elétrica, aliado às vastas reservas nacionais, evidencia a importância de revisar o marco regulatório vigente. Uma regulamentação que permita o uso do GLP em motores, sem comprometer o abastecimento tradicional para consumo final, é fundamental. Tal regulamentação deve incentivar o desenvolvimento tecnológico para reduzir emissões associadas ao GLP, por meio de filtros e outras soluções eficazes.

Investir em pesquisa, inovação e regulamentação apropriada pode transformar o GLP em uma alternativa sustentável e eficiente, contribuindo para a diversificação da matriz energética brasileira. Com avanços técnicos e políticas públicas adequadas, o GLP tem o potencial de se consolidar como uma fonte de energia estratégica, capaz de aliar viabilidade econômica e benefícios ambientais.

Referências

- ACKERMANN, T.; ANDERSSON, G.; SÖDER, L. Distributed generation: a definition. *Electric Power Systems Research*, v. 57, n. 3, p. 195–204, 2001. ISSN 0378-7796. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378779601001018>><https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378779601001018>.
- ANEEL. *RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 956, DE 7 DE DEZEMBRO DE 2021*. 2021. Acesso em: 03 de NOV. 2024. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2021956_2_7.pdf>https://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2021956_2_7.pdf.
- ANEEL. *RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 1.059, DE 7 DE FEVEREIRO DE 2023*. 2023. Acesso em: 06 de out. 2024. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-normativa-aneel-n-1.059-de-7-de-fevereiro-de-2023-463828999>><https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-normativa-aneel-n-1.059-de-7-de-fevereiro-de-2023-463828999>.
- ANEEL. *Tarifas e Informações Econômico-Financeiras*. 2024. Acesso em: 20 de out. 2024. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/centrais-de-conteudos/relatorios-e-indicadores/tarifas-e-informacoes-economico-financeiras>><https://www.gov.br/aneel/pt-br/centrais-de-conteudos/relatorios-e-indicadores/tarifas-e-informacoes-economico-financeiras>.
- ANP. *RESOLUÇÃO ANP Nº 825, DE 28 DE AGOSTO DE 2020*. 2020. Acesso em: 11 de out. 2024. Disponível em: <<https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-825-2020-dispoe-sobre-a-especificacao-e-o-controle-da-qualidade-dos-gases-liquefeitos-de-petroleo-glp-comercializados-pelos-agentes-economicos-no-territorio-nacional>><https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-825-2020-dispoe-sobre-a-especificacao-e-o-controle-da-qualidade-dos-gases-liquefeitos-de-petroleo-glp-comercializados-pelos-agentes-economicos-no-territorio-nacional>.
- CARVALHEIRO, L. F. *Relatório de Ensaio, Código DQ-046*. 2021. [S.l.]: Laboratório de Combustíveis - LABCOM/UFMS.
- CETESB. *Emissão Veicular*. 2023. Acesso em: 14 de nov. 2023. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/veicular/>><https://cetesb.sp.gov.br/veicular/>.
- Copa Energia. *Uso do GLP no Comércio*. 2023. Acesso em: 11 de out. 2024. Disponível em: <<https://www.copaenergia.com.br/glp-comercial/>><https://www.copaenergia.com.br/glp-comercial/>.
- COPA ENERGIA SÃO PAULO. *Relatório Anual de Sustentabilidade*. 2022. Acesso em: 20 de out. 2024. Disponível em: <https://www.copaenergia.com.br/wp-content/uploads/2023/08/copa_energia_rs_2022_06.pdf/>https://www.copaenergia.com.br/wp-content/uploads/2023/08/copa_energia_rs_2022_06.pdf/.
- COPAGAZ. *Cheiro de gás: saiba o que significa e o que fazer se o sentir!* 2024. Acesso em: 11 de out. 2024. Disponível em: <<https://www.copagaz.com.br/blog/gas-de-cozinha-tem-cheiro/>><https://www.copagaz.com.br/blog/gas-de-cozinha-tem-cheiro/>.

COPAGAZ. *Tipos de botijão de gás: saiba como escolher o certo*. 2024. Acesso em: 12 de out. 2024. Disponível em: <<https://www.copagaz.com.br/blog/tipos-de-botijao-de-gas/>><https://www.copagaz.com.br/blog/tipos-de-botijao-de-gas/>.

ENERGISA. *Tipos de Tarifas*. 2024. Acesso em: 20 de out. 2024. Disponível em: <<https://www.energisa.com.br/empresa/Paginas/pequenas-e-medias-empresas/taxas-prazos-e-normas/tipos-tarifas.aspx>><https://www.energisa.com.br/empresa/Paginas/pequenas-e-medias-empresas/taxas-prazos-e-normas/tipos-tarifas.aspx>.

ENERGISA. *Tributos, Impostos e outros encargos*. 2024. Acesso em: 21 de out. 2024. Disponível em: <<https://www.energisa.com.br/empresa/Paginas/pequenas-e-medias-empresas/taxas-prazos-e-normas/tributos-impostos-encargos.aspx>><https://www.energisa.com.br/empresa/Paginas/pequenas-e-medias-empresas/taxas-prazos-e-normas/tributos-impostos-encargos.aspx>.

FERREIRA, M. C. *Estudo da combustão com adição de hidrogênio em motor a diesel*. Dissertação (B.S. thesis) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.

GONÇALVES, D. d. S. Causas e condições de incêndio envolvendo o gás liquefeito do petróleo no ambiente doméstico. UEMA, 2021.

JR, J. A. de C. S. *Emissões em processos de combustão*. [S.l.]: Unesp, 2003.

MORAIS, A. B. de. *Perspectivas de inserção do GLP na matriz energética brasileira*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

NUNES, R. P. Gás liquefeito de petróleo (glp) como produto pré-medido: um estudo das tecnologias de envase e do controle de medição utilizados pela indústria nacional. 2017.

ONS. *Geração de energia*. 2024. Acesso em: 06 de out. 2024. Disponível em: <https://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/geracao_energia.asp>.

PEREIRA, J. C. *Princípios de FUncionamento, Instalação, Operação, e Manutenção de Grupos Diesel Geradores*. 2023. Acesso em: 10 de nov. 2023. Disponível em: <<https://www.joseclaudio.eng.br/geradores/PDF/diesel1-.pdf>><https://www.joseclaudio.eng.br/geradores/PDF/diesel1-.pdf>.

PETROBRAS. *GÁS LIQUEFEITO DE PETRÓLEO - Informações Técnicas*. [S.l.], 2022. Disponível em <<http://petrobras.com.br/quem-somos/assistencia-tecnica>>. Acesso em 11 out. 2024.

SALAS, C. S. S.; SILVEIRA, L. H. S. Eletrificação de regiões remotas: estudo de alternativas e aplicação no pantanal sul-mato-grossense. *ed. Bragança Paulista, SP: Margem da Palavra*, 2017.

SANTOS, B. R. C. d. et al. Um panorama sobre a evolução do mercado de gás liquefeito de petróleo e sua contribuição ao cenário energético brasileiro. 2016.

SOUZA, M. Eduardo Alves Olinda de. *Estudo de um processo de combustão de gás totalflex para calcinação da Gipsita em regiões remotas*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Pernambuco, 2006.

VOLLHARDT, P.; SCHORE, N. E. *Química Orgânica: Estrutura e Função*. [S.l.]: Bookman Editora, 2013.

WEG. *Características e especificações de geradores*. 2017.

WEG. *Sistema Fotovoltaico on-grid e off-grid: saiba as diferenças e as vantagens de cada tipo*. 2024. Acesso em: 11 de out. 2024. Disponível em: <<https://www.weg.net/solar/blog/sistema-fotovoltaico-on-grid-e-off-grid-saiba-as-diferencas-e-as-vantagens-de-cada-tipo/>><https://www.weg.net/solar/blog/sistema-fotovoltaico-on-grid-e-off-grid-saiba-as-diferencas-e-as-vantagens-de-cada-tipo/>.