

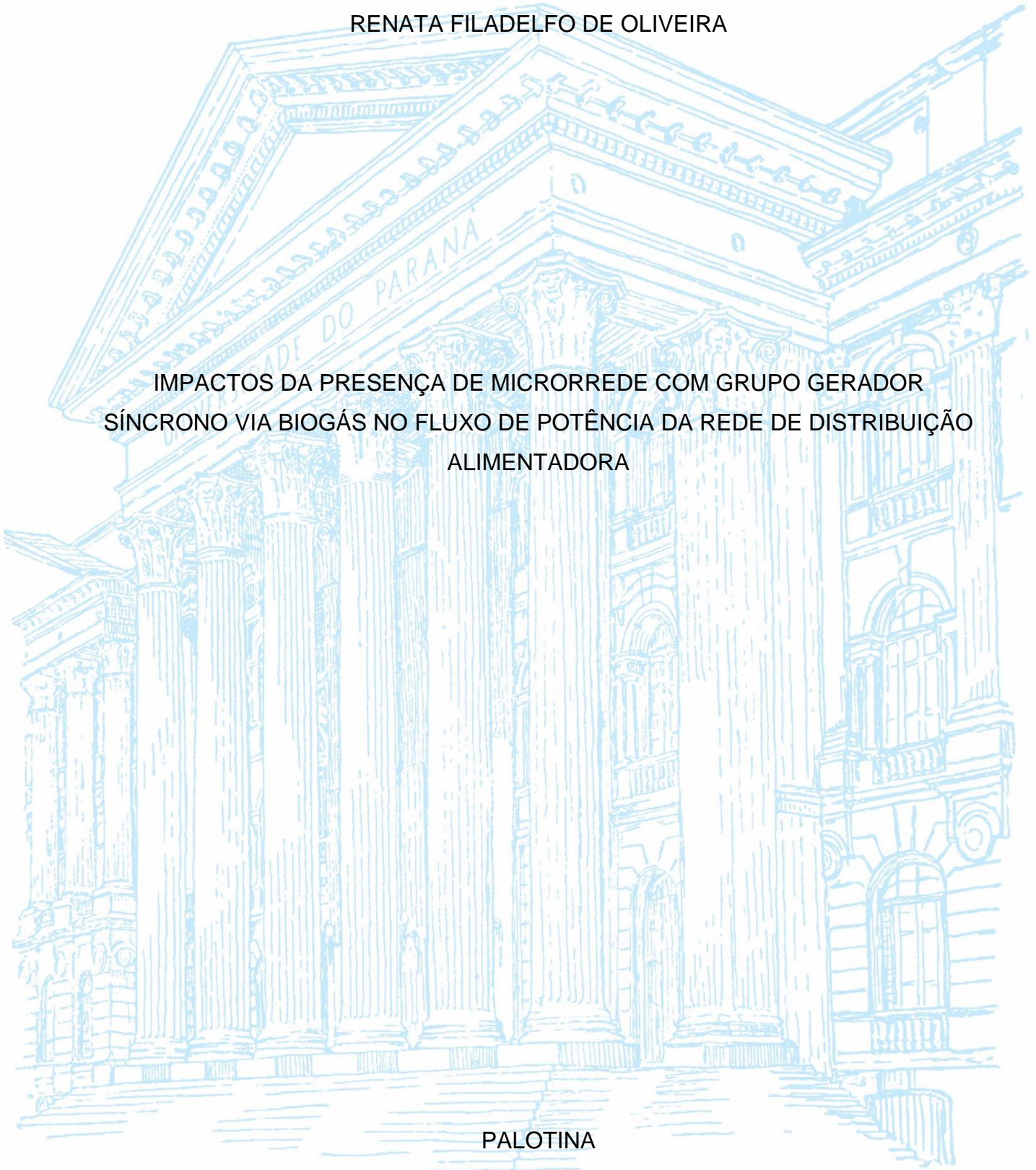
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RENATA FILADELFO DE OLIVEIRA

IMPACTOS DA PRESENÇA DE MICRORREDE COM GRUPO GERADOR
SÍNCRONO VIA BIOGÁS NO FLUXO DE POTÊNCIA DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO
ALIMENTADORA

PALOTINA

2022



RENATA FILADELFO DE OLIVEIRA

IMPACTOS DA PRESENÇA DE MICRORREDE COM GRUPO GERADOR
SÍNCRONO VIA BIOGÁS NO FLUXO DE POTÊNCIA DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO
ALIMENTADORA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Energia, Setor de Palotina, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Maurício Romani

PALOTINA

2022



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ATA DE REUNIÃO

Aos cinco dias do mês de maio do ano de 2022, no horário das 09:00 às 10:55 horas, na sala virtual (<https://teams.microsoft.com/l/meetup-join/19%3aatuYLSnUoHe2az9AV4j6dYukRSDSmizpgV-luJvJWvc1%40thread.tacv2/1651088603979?context=%7b%22Tid%22%3a%22c37b37a3-e9e2-42f9-bc67-4b9b738e1df0%22%2c%22Oid%22%3a%22fbbee196-cca5-4017-a04a-bfc667696c99%22%7d>), compareceram para defesa pública do Trabalho de Conclusão de Curso, requisito obrigatório para a obtenção do título de Engenheiro de Energia a aluna Renata Filadelfo de Oliveira, tendo como Título do Trabalho de Conclusão de Curso **IMPACTOS DA PRESENÇA DE MICRORREDE COM GRUPO GERADOR SÍNCRONO VIA BIOGÁS NO FLUXO DE POTÊNCIA DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO ALIMENTADORA**.

Constituíram a Banca Examinadora os professores: Prof. Dr. Maurício Romani (Orientador e Presidente da Banca), Prof. Dr. Carlos Henrique Coimbra Araújo e Prof. Dr. Marcelo Nanni.

Após avaliação a banca se reuniu na sala virtual [Meet: xbm-vmbr-pyp \(google.com\)](https://meet.google.com/xbm-vmbr-pyp) sob a senha de acesso tcc para deliberação da banca avaliadora, sendo assim ficou definido que o trabalho foi considerado **APROVADA** com conceito 84 (0 a 100) pontos.

Eu, presidente da banca, lavrei a presente ata que segue assinada por mim e demais membros:



Documento assinado eletronicamente por **MAURICIO ROMANI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 05/05/2022, às 11:24, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **CARLOS HENRIQUE COIMBRA ARAUJO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 05/05/2022, às 13:08, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Marcelo Nanni, Usuário Externo**, em 05/05/2022, às 18:37, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida [aqui](#) informando o código verificador **4462869** e o código CRC **E7B6A6A2**.

Dedico este trabalho à minha Tia Marina Filadelfo da Cunha (*in memoriam*), sempre me motivando, nunca deixou de acreditar em mim e me mostrou como é ser forte em todos os obstáculos da vida!

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ter me dado o dom da inteligência, sabedoria, paciência, permitindo a concluir mais uma etapa da minha vida e dado todo discernimento pra chegar até aqui.

Agradeço as mulheres, minha avó Maria Aparecida F. Filadelfo, minha mãe Maria do Carmo Filadelfo, minha tia Bernadete Filadelfo e minha sobrinha Heloisa F. Bielça, por estarem ao meu lado não somente no momento da graduação, mas em todos ao longo da minha vida.

Agradeço ao meu padrasto José Cordeiro, por me ajudar e estar me apoiando em todos os momentos difíceis desde da infância.

Agradeço a Universidade Federal do Paraná, por dar uma oportunidade e de enfrentar os estudos com muito conhecimento e amadurecimento durante todo o processo que estive presente.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Maurício Romani, pela sua dedicação, paciência e atenção pela elaboração deste trabalho e por todos os conhecimentos adquiridos durante toda a minha graduação.

Agradeço em geral minha família e amigos que sempre estiverem em meu lado, para me apoiarem e me ajudarem de qualquer outra forma que seja para meu amadurecimento.

Agradeço a minha cachorra Lua, por estar ao meu lado me suportando e me cativando em todos os momentos em que senti sozinha durante o processo de graduação.

“O futuro vai mostrar os resultados e julgar
cada um segundo suas realizações
“(Nikolas Tesla.)

RESUMO

O objetivo principal deste trabalho foi avaliar os impactos da presença de uma microrrede sustentada unicamente por um grupo gerador síncrono movido a biogás junto a parâmetros-chave do fluxo de potência da rede de distribuição a qual a microrrede é conectada. Para tal, foram propostos e realizados diferentes cenários para avaliação de fluxo de potência com o auxílio de uma ferramenta computacional (*PowerWorld*[®] - licença educacional). A metodologia consistiu em, primeiramente, implementar uma rede de distribuição teste padrão (rede IEEE 13 barras) junto ao ambiente computacional. Algumas alterações e simplificações foram necessárias nesta primeira etapa, contudo, o sistema teste original foi implementado com suficiente coerência junto ao software, sendo possível utilizá-lo para estudos de fluxo de potência. Tal sistema foi utilizado como cenário base para as análises referentes as próximas etapas do trabalho. Na sequência, foram propostos e implementados quatro cenários em que uma microrrede contendo um gerador síncrono é conectada em diferentes pontos da rede de distribuição teste. O dimensionamento do gerador síncrono da microrrede seguiu critérios utilizados para o dimensionamento de grupos geradores movidos a biogás em exemplos de casos já relatados na literatura. Foram investigados conjuntamente, cenários de carregamento leve, médio e pesado. As análises dos impactos junto a rede de distribuição se concentraram somente em cenários em que a microrrede opera em paralelismo com a rede. Dos resultados das simulações, as variáveis avaliadas foram: potência ativa e reativa injetada na barra principal da rede de distribuição, bem como módulo e ângulo de tensões em barras específicas da rede. O cenário onde a microrrede foi inserida junto a barra mais carregada da rede (cenário D) foi o que resultou no maior impacto em relação ao cenário base (sem a presença da microrrede) para todas as variáveis observadas. Em relação a avaliação frente a diferentes níveis de carregamento, novamente o mesmo cenário D foi o de maior impacto, tendo em vista os valores absolutos de potência ativa aliviada serem maiores. Em geral, os impactos da presença da microrrede foram positivos para a rede de distribuição, sendo reduzido o montante de potência ativa demandado a partir da barra principal da rede, e incrementados os níveis de tensão em barras mais afastadas.

Palavras-chave: Microrredes. Biogás. Fluxo de Potência. Gerador Síncrono. Rede de distribuição

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the impacts of a microgrid carried out by a synchronous generator set running on biogas together with power flow key parameters from the distribution network where the microgrid is connected. To this end, several scenarios were purposed and performed for power flow evaluation using the computational approach (PowerWorld® - educational licensing). The methodology consisted of, firstly, implementing a standard testing distribution network (network IEEE 13 bars) alongside the computing environment. Some amendments and simplifications were necessary for this first step, however, the original system test was implemented with satisfactory consistency with the software, therefore being possible to use for power flow studies. Such a system was used as the base case for this work's further steps analysis. In the aftermath, four scenarios were purposed and performed in which a microgrid holding one synchronous generator is connected to different points of the testing distribution network. The microgrid synchronous generator sizing followed the criteria used for generator sets run by biogas sizing as presented in cases reported in the literature. Light, medium, and heavy charging were jointly investigated. The analysis of the impacts alongside the distribution network was focused mainly on scenarios where the microgrid operates in parallel with the network. In the simulation results, the evaluated variables were: active and reactive power injected in the distribution network main bar, as well the tension magnitude and angle in specific network bars. The scenario where the microgrid was inserted alongside the network most charged bar (scenario D) was the one that resulted in greater impact compared to the base scenario (without the microgrid) on all the observed variables. Regarding the valuation on different charging levels, again scenario D was the one with greater impact, bearing in mind the active power absolute values are higher. In general, the impacts of a microgrid were positive for the distribution network, being reduced the active power amount demanded from the network main bar and increasing the tension levels on more distant bars.

Keywords: Microgrid. Biogas. Power flow. Synchronous Generator. Distribution network.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - SETOR ELÉTRICO ATUAL E FUTURO.....	15
FIGURA 2 - CENTRAL DE CONTROLE DE MICRORREDE.....	20
FIGURA 3 - ALTERNATIVAS DE MICRORREDE	21
FIGURA 4 – DIAGRAMA UNIFILAR DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO IEEE-13 BARRAS.	29
FIGURA 5 -- SISTEMA IEEE ADAPTADO E IMPLEMENTADO NO POWERWORLD	32
FIGURA 6 - REDE DE DISTRIBUIÇÃO JUNTO Á MICRORREDE COM BIOGÁS...33	
FIGURA 7 - POTÊNCIA ATIVA DA BARRA SLACK P1 (kW)	36
FIGURA 8 - POTÊNCIA REATIVA DA BARRA SLACK P1 (kVAr).....	37
FIGURA 9 - TENSÕES DAS BARRAS ADJACENTES A P1.	39
FIGURA 10 - ÂNGULOS DAS BARRAS ADJACENTES A BARRA P1 (CENÁRIOS “A” E “B”).....	40
FIGURA 11 - ÂNGULOS DAS BARRAS ADJACENTES A BARRA P1 (CENÁRIOS “C” E “D”).....	40

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - RENOMEAÇÃO DAS BARRAS E CARGAS MODIFICADAS	34
TABELA 2 - RENOMEAÇÃO DAS BARRAS E CARGAS MODIFICADAS	35
TABELA 3 - COMPARAÇÃO DE RESULTADOS DE TENSÃO NAS BARRAS	35
TABELA 4 - POTÊNCIA ATIVA INJETADA DA BARRA P1	46
TABELA 5 - POTÊNCIA REATIVA INJETADA DA BARRA P1	46
TABELA 6 – MÓDULO DE TENSÕES (PU).....	46
TABELA 7 - ÂNGULOS DAS TENSÕES NAS BARRAS (°).....	46
TABELA 8 - ALIMENTADOR DE 13 BARRAS IEEE	47
TABELA 9 – PARÂMETROS DOS ALIMENTADORES APÓS ADEQUAÇÕES	47
TABELA 10 - ALIMENTADOR DE 13 BARRAS IEEE	47
TABELA 11 - ALIMENTADOR DE 13 BARRAS IEEE	48
TABELA 12 - PERFIL DE TENSÕES TRIFÁSICOS	48

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

EPE - Empresa de Pesquisa Energética -

PRODIST - Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico

IEEE - Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos

RED - Recursos Energéticos Distribuídos

MG - *Migrogrid* (inglês para Microrrede)

COPEL - Companhia Paranaense de Energia

VE – Veículos Elétricos

GD – Geração Distribuídas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1.	OBJETIVOS	17
1.1.1	Objetivos Gerais	17
1.1.2	Objetivos Específicos	17
1.2	JUSTIFICATIVA	16
2	REVISÃO BIBLIOGRAFICA	19
2.1	TRANSIÇÃO ENERGÉTICA	19
2.2	MICRORREDE	19
2.2.1	Geração Distribuída.....	23
2.2.1.1	Biogás.....	23
2.2.2	Gerador Síncrono	24
2.3	FLUXO DE POTÊNCIA	25
3	MATERIAIS E MÉTODOS	27
3.1	Ambiente computacional	27
3.2	Rede de distribuição teste (IEEE 13 Barras)	28
3.3	Metodologia	30
3.3.1	Adaptação e implementação da rede-teste ao software.....	30
3.3.2	Definição e implementação de cenários com MG	32
4	RESULTADO E DISCUSSÕES	34
4.1	Cenário Base.....	34
4.2	Impactos no Fluxo de Potência Ativa da barra P1	36
4.3	Impactos no Fluxo de Potência Reativa da barra P1.....	37
4.4	Impactos no Módulo de tensão.....	38
4.5	Impactos no Ângulo da tensão	39
5	CONCLUSÃO	41
	REFERÊNCIAS	42

APÊNDICE 1 – POTÊNCIA ATIVA.....	46
APÊNDICE 2 – POTÊNCIA REATIVA.....	46
APÊNDICE 3 – MAGNITUDES DE TENSÕES.....	46
APÊNDICE 4 – ÂNGULOS DE TENSÕES.....	46
ANEXO 1	47

1 INTRODUÇÃO

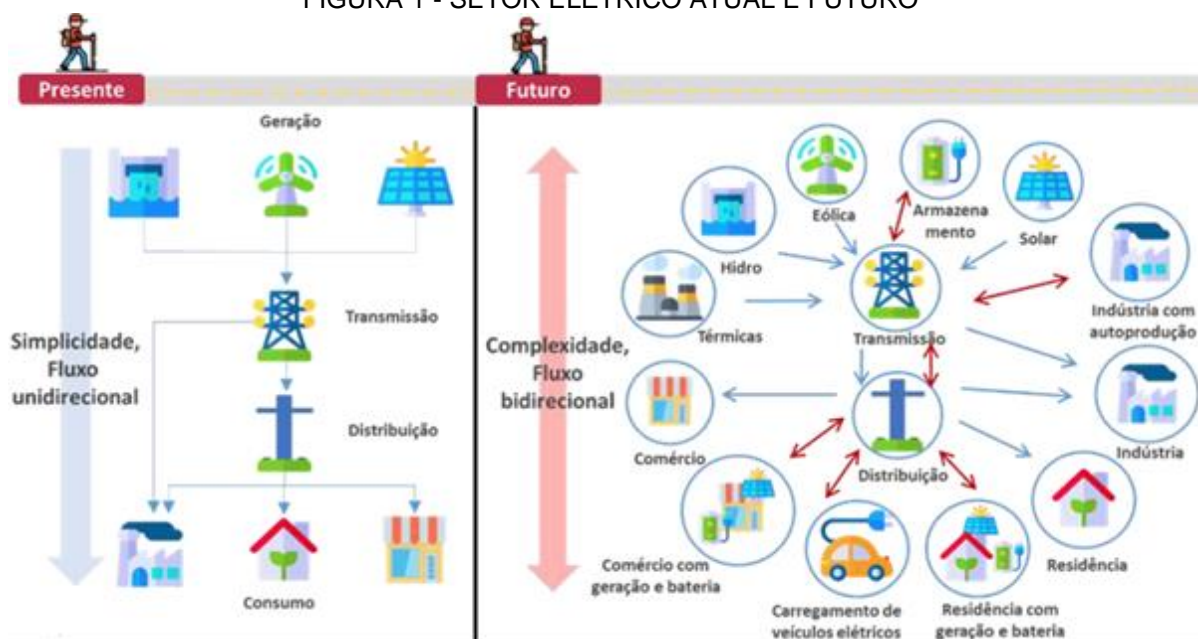
Os Sistemas Elétricos de Potência vêm passando por várias mudanças nas últimas décadas, sendo uma das principais relacionada a maior proximidade dos geradores aos pontos de consumo. Mais recentemente, algumas unidades consumidoras têm atingido a capacidade de uma autonomia energética parcial ou completa do sistema elétrico, possibilitando-as inclusive operar isoladamente da rede principal, ao menos de forma momentânea.

Alinhado a tais mudanças, o crescimento da exploração de Recursos Energéticos Distribuídos (RED) tem propiciado o adiamento de investimentos em geração centralizada e linhas de transmissão, diminuindo perdas no transporte de energia elétrica, dentre outros benefícios técnicos e econômicos (EPE, 2018). O crescimento dos RED tem também afetado o modo unidirecional como sistema elétrico de potência operava convencionalmente, onde se gerava energia elétrica de forma centralizada, transitando-a por centenas de quilômetros via de linhas de transmissão e distribuição até os consumidores.

Conforme indicado por Gouvêa (2019), a transformação do setor elétrico levará a uma configuração mais complexa da rede como todo, porém mais eficiente, atendendo a demanda de energia descentralizada de forma mais sustentável, além de se adequar melhor ao comportamento dos diferentes tipos de consumidores. Neste contexto, órgãos e empresas do setor elétrico devem se adaptar para enfrentar os desafios que se fazem presentes com as diferentes formas de conexão e operação dos RED vinculados a rede.

A figura 1, apresenta o setor elétrico convencional e uma perspectiva de seu futuro já em construção, podendo ser destacada a tendência de crescimento de elementos de armazenamento de energia e o aumento de caminhos bidirecionais de fluxo de energia.

FIGURA 1 - SETOR ELÉTRICO ATUAL E FUTURO



FONTE: EPE (2019).

Com a diversidade de RED e de elementos de conversão e armazenamento de energia, aliada a um aumento na aplicação de tecnologia de informação (TI) junto às redes elétrica, outro conceito vem ganhando força neste período de transição e inovação do setor eletro-energético: as Microrredes.

As conhecidas *Microgrids* (MG, sigla do termo em inglês) apresentam inúmeras vantagens e grande flexibilidade de operação, podendo ser definidas como um conjunto de fontes de eletricidade e cargas interligadas por uma pequena rede elétrica, a qual opera conectada e sincronizada ao Sistema Interligado Nacional (SIN), apresentando também a capacidade de ser desconectada do sistema, mantendo sua operação normal em regime ilhada (COPEL, 2021). As MGs apresentam benefícios ao mitigar situações de precariedade ou suspensão de energia elétrica entregue aos consumidores (CIPOLLA, 2021), como ainda é observado em várias zonas rurais brasileiras, onde em algumas regiões são encontradas redes de distribuição em fragilidade.

Redes de distribuição que atendem meio rurais tem sido alvo de investimentos recentes, ao exemplo do programa Paraná Trifásico (COPEL, 2020). Isto se dá pelo fato de que os empreendimentos voltados a agricultura e pecuária tem passado por uma atualização tecnologia, a qual exige uma demanda cada vez maior por eletricidade, bem como um atendimento com melhores índices de qualidade de entrega desta eletricidade.

O Oeste do Paraná é uma região de economia predominantemente atrelada a produção agropecuária. Tal característica trouxe também o reconhecimento como uma região de alto potencial de geração de biocombustíveis, com destaque para o biogás.

O biogás é uma fonte alternativa de energia de baixa intermitência e bastante versátil, podendo ser utilizado como fonte de energia térmica, elétrica e ainda podendo ser convertido em outros tipos de combustíveis renováveis como o biometano, o que favorece o crescimento e a diversidade da matriz energética brasileira. Conforme Vieira e Polli (2020), a produção do biogás vem se tornando mais eficiente nos últimos anos, com a melhora de processos de digestão anaeróbia. Os benefícios de projetos de biodigestores extrapolam o aproveitamento energético de resíduos urbanos e rurais, tratando também de resolver problemas de passivos ambientais. Portanto o investimento do biogás proporciona muitas vezes um retorno financeiro econômico e ambiental, podendo vir a competir com combustíveis fósseis.

Biodigestores podem ser aplicados na geração em energia elétrica de forma integrada a rede de distribuição, em um modelo de geração conhecido como geração distribuída. Mais recentemente, esta configuração tem avançado, onde geradores distribuídos à biogás também tem sido empregados como fonte de energia elétrica com armazenamento de energia primária dentro de MGs, podendo abater o consumo de energia de empreendimentos rurais bem como suprir sua demanda em momentos de falhas na rede da concessionária (SOUZA JUNIOR, 2020).

Neste contexto, é esperado um crescimento no número de empreendimentos que venham a se beneficiar da instalação deste tipo de configuração. Ao mesmo tempo, são necessários maiores estudos que venham a avaliar os impactos causados por este tipo de MG em diferentes cenários. Dentre as principais variáveis a serem observadas pelo lado das Redes de Distribuição (RD) estão a tensão nos nós de seus alimentadores e o fluxo de potência através deles.

1.1 JUSTIFICATIVA

Com o aumento do uso de RED, os sistemas elétricos vêm se aperfeiçoando tecnologicamente, trazendo para a população melhoria na qualidade de distribuição de energia. O uso de Geração Distribuída convencional ou em configuração dentro de

MG que contenha uma ou mais plantas a biogás pode ser uma alternativa sustentável para consumidores rurais.

Em geral, empreendimentos com Geração Distribuída via biogás são dimensionados para atender aproximadamente 120% da potência média consumida no próprio local (ANTONIO, 2016). De forma a simular situações que considerem tal critério de dimensionamento, os objetivos do presente trabalho foram propostos.

No contexto da transição energética, as MGs vem se destacando como conceito promissor, possibilitando inúmeros benefícios. Porém, desafios de cunho regulatório, econômico e técnico ainda demandam trabalho para que estas novas tecnologias não venham a impactar de forma negativa os sistemas elétricos em operação.

O presente trabalho se justifica dentro de um desafio específico de cunho técnico, visando avançar e trazer uma análise mais próxima da realidade no que se refere aos impactos de uma MG com gerador síncrono movido a biogás em conjunto aos parâmetros-chave de uma RD teste. Neste sentido, foram propostos e testados cenários, no que diz respeito ao dimensionamento da potência do grupo gerador frente a carga a ser atendida na MG.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1 Objetivos Gerais

O objetivo principal deste trabalho foi avaliar os impactos da presença de uma MG contendo um grupo gerador síncrono movido a biogás junto a parâmetros-chave relacionados ao fluxo de potência de uma RD alimentadora principal.

1.1.2 Objetivos Específicos

- I. Replicar, com mínima coerência, uma rede-teste padrão (RD - IEEE 13 barras) vinculado ao ambiente computacional *PowerWorld*[®];
- II. Identificar cenários que mais impactaram o fluxo de potência ativa e reativa total da RD, dentre casos pré-definidos com a presença de uma MG;

- III. Identificar os cenários que mais impactaram o módulo e o ângulo de tensão em barras específicas da RD, dentre casos pré-definidos com a presença de uma MG;
- IV. Apontar e discutir as principais causas relacionadas aos impactos positivos e negativos da presença da MG na RD teste.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

As transformações almeçadas para o setor elétrico têm como eixo principal a sustentabilidade, sendo definidos 3 critérios a serem atendidos: 1 - A descarbonização trata da diminuição das emissões de gases de efeito estufa, possibilitando uma matriz energética limpa e sustentável em futuros próximos, podendo ser citado como exemplo o uso de veículos elétricos; 2 – A digitalização trata da integração das informações de geração, armazenamento, e infraestruturas tecnológicas de automação e comunicação em todo sistema elétrico, estendendo a utilização de RED; 3 – A descentralização trata de um maior uso dos RED, onde os produtores e consumidores passam a gerenciar os seus próprios sistemas de energia (COSTA JUNIOR, 2021).

A definição de recursos energéticos distribuídos (RED) pode ser dada como sendo a geração e/ou armazenamento de energia elétrica, localizados dentro dos padrões de uma determinada concessionária de distribuição, juntamente com as unidades consumidoras. Exemplo de RED são: Geração Distribuída (GD), Elementos de armazenamento de energia, Veículos Elétricos (VE), Eficiência Energética e produção descentralizada de combustíveis. (EPE, 2018).

A otimização do uso de recursos naturais impacta de forma positiva também questões ambientais e sociais, além de garantir ganhos econômicos, inclusive aumentando a competitividade no mercado. Nos últimos anos, com a evolução do setor elétrico, leis e regulamentações foram definidas de forma a regulamentar melhor novos empreendimentos de geração de energia elétrica, como por exemplo programas de compensação de energia (SILVA; VIANNA; BARRETO, 2021).

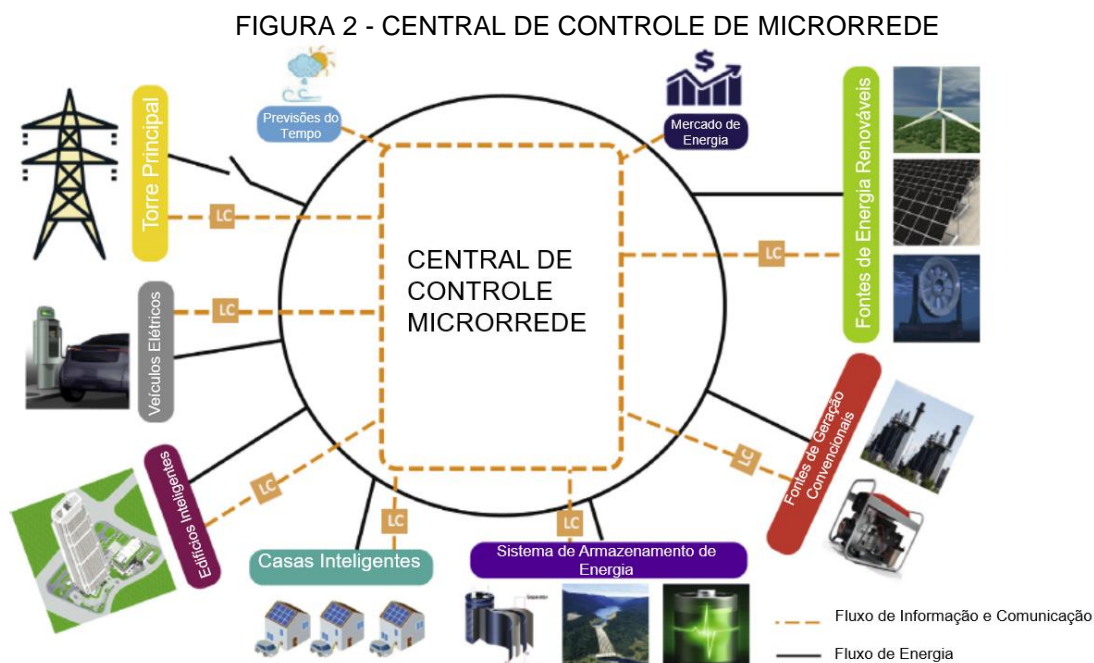
Com novas tecnologias sendo aplicadas ao setor elétrico, junto ao crescimento da inserção de RED na rede de distribuição, meios mais eficientes e flexíveis de controle e gerenciamento de energia tem surgido. As MG surgem como conceito que abrange este direcionamento, possibilitando um papel mais ativo e, em momentos, independente aos consumidores (AOKI *et al.*, 2020).

2.2 MICRORREDES (*MICROGRIDS* – MG)

Uma MG pode se beneficiar da junção de vários RED voltados e dimensionados para atender cargas em sistema elétrico de distribuição com finalidade de operar tanto conectada à rede principal como de forma ilhada, controlando os parâmetros elétricos no ponto de conexão e provendo condições para ações de recomposição e de autorrestabelecimento (BRASIL, 2022).

Independente do tipo de geradores aplicados, o conceito de MGs traz junto consigo maior confiabilidade e eficiência no atendimento das cargas nela presente, podendo ser aplicado inclusive em locais de difícil acesso, ilhas, e zonas rurais distantes (AOKI; OTTO, 2020).

Conforme Zia, Elbouchikhi, Benbouzid (2018), outro aspecto de uma MG é a sua capacidade de troca de fluxo de potência com a rede principal, permitindo que haja controle, medição e proteção específicos junto ao ponto de conexão. Na ocorrência de falhas ou distúrbios, a MG apresenta a flexibilidade de mudar de modo de operação garantindo a estabilidade do sistema de forma ilhada. A figura 2 apresenta o conceito de uma MG, abrangido este e outros aspectos que podem ser gerenciados em uma central de controle de uma MG.

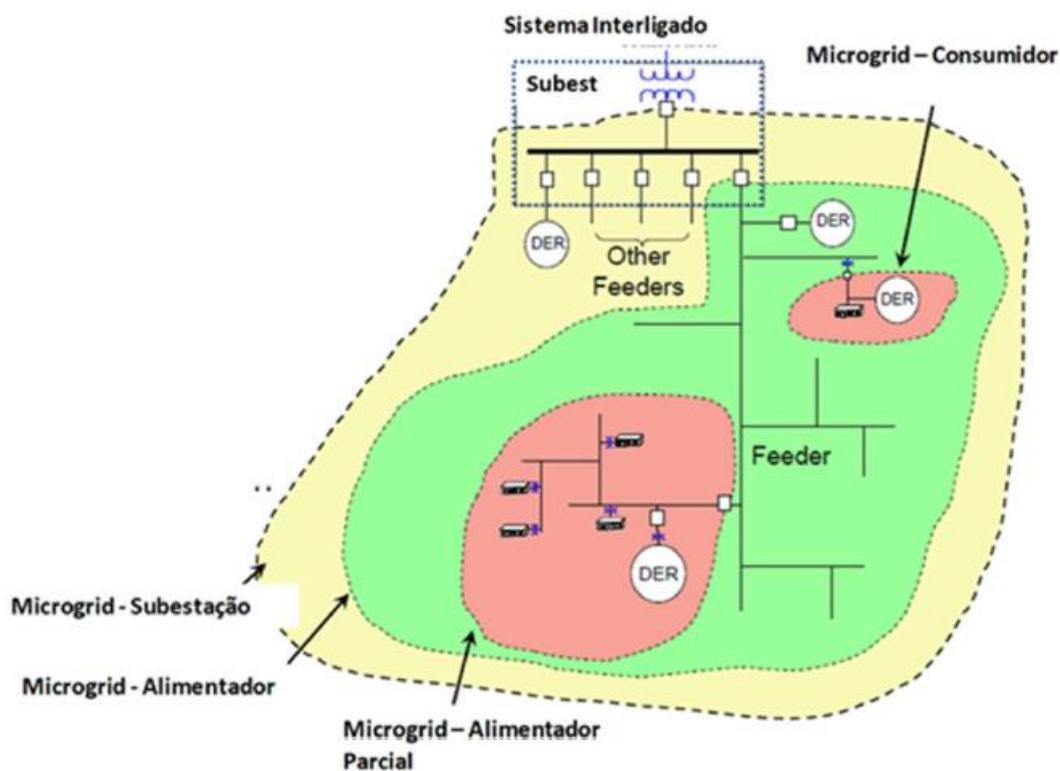


As MG podem ser aplicadas ainda em: instalações industriais, estabelecimento comerciais, edificações e condomínios residenciais. Quando conectada à rede elétrica, a MG pode injetar ou absorver energia da rede principal,

dependendo de sua capacidade momentânea de geração e armazenamento. Enquanto a operação é ilhada, quando há excedente de energia gerada, a mesma pode ser armazenada através de bancos de baterias ou outros elementos armazenadores. Já quando a demanda é maior do que a capacidade interna de geração e armazenamento, deve ser previsto um descarte seletivo de cargas ou acionamento de máquinas despacháveis para atender o balanço energético da MG. Tanto para modos de operação quanto para transição de modos, o sistema de controle central de microrredes é fundamental para o gerenciador de energia (COTIAN, 2019).

Segundo a Chamada Pública da Companhia Paranaense de Energia – (COPEL, 2020), as MG podem ser conectadas diretamente a subestações (atendendo de forma integral uma comunidade ou região de referência), bem como ser conectadas junto a alimentadores da rede (atendendo uma demanda de cargas mais concentradas), ou ainda somente ao próprio consumidor, como mostrado na figura 3.

FIGURA 3 - ALTERNATIVAS DE MICRORREDE



FONTE: COPEL (2022)

Outra característica que pode ser aplicada a uma MG é o *plug-and-play* (ligar e usar), permitindo sua conexão e desconexão em qualquer momento, sem que os equipamentos de proteção sejam afetados. Para isso, o controle de operação deve

ser totalmente automatizado e otimizado, sendo observados parâmetros de tensão e frequência da rede e da MG (SOUZA JUNIOR, 2020).

Para as concessionárias locais, as MG podem melhorar a demanda de distribuição para regiões específicas e diminuir a demanda da concessionária, sem ocasionar congestionamento nas linhas de transmissão, além de reduzir perdas no transporte de energia (BELLIDO, 2018).

Tanto para os modos conectados à rede ou ilhadas, as MG devem ter a capacidade de alimentar um conjunto de cargas resistivas, indutivas e capacitivas variáveis ou fixas, motores e dispositivos eletrônicos de forma satisfatória, com qualidade e estabilidade de energia. No modo conectado à rede de distribuição elétrica, a amplitude de tensão e frequência do ponto de conexão da MG, em geral, são as mesmas da rede a qual ela está ligada. Na falta de energia elétrica fornecida pela RED, a potência é entregue pela rede principal (SOUZA JUNIOR, 2020).

Alguns exemplos de aplicações de MG no Brasil já podem ser encontrados. Uma MG foi implementada no município de Eusébio no estado da Bahia, beneficiando aproximadamente 300 casas de um condomínio. Neste projeto, 96 painéis solares foram instalados para abater um consumo médio de 37,98 MWh por ano. Juntamente com a energia fotovoltaica, esta MG contou com um sistema de armazenamento de energia através de baterias, onde o excedente gera crédito nas contas de luz aos moradores. Diante disso, houve uma economia de 30% na energia elétrica já no primeiro mês de funcionamento. Este sistema é capaz suprir a energia por uma hora aos consumidores, quando houver uma falha na rede de distribuição (ENEL, 2017).

Outra MG, instalada em uma área isolada, foi instalada na comunidade Xique-Xique, no município de Remanso - Bahia, sendo abastecida com energia solar fotovoltaica e contando com armazenamento por baterias. Há capacidade para atender 103 unidades consumidoras, beneficiando 400 pessoas. Quando há falta de energia solar, o banco de baterias poderá fornecer energia durante 48 horas. O sistema de geração de energia via MG irá produzir média 80 kWh por mês por energia fotovoltaica e armazenar 928 kWh via baterias de lítio (NEOENERGIA, 2020).

Em se tratando de um exemplo de MG no meio rural, pode-se citar a parceria da Itaipu Binacional com a Companhia Paranaense de Energia (COPEL) que executou um projeto de MG em uma propriedade contendo uma usina de biogás localizada na cidade de São Miguel do Iguaçu no Oeste do Paraná. Na propriedade são acumulados resíduos de 350 bovinos e 5 mil suínos, o qual são capazes de sustentar a GD com

potência instalada de 75 kW via geradores síncronos. Com a implementação do esquema de MG, foi possível para esta unidade trabalhar de forma autônoma da rede durante períodos de até 6 horas de interrupção no sistema de distribuição. Além disso, em caso de excedente, a energia é injetada na rede da concessionária (ITAIPU BINACIONAL, 2021).

2.2.1 Geração Distribuída

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2014), são definidas como tecnologias de geração distribuída (GD) via fontes renováveis: energia fotovoltaica, eólica e cogeração proveniente da biomassa. Já as energias não-renováveis são definidas como todas as demais modalidades que não se enquadram como renováveis, como: microturbinas e moto-geradores a gás natural, cogeração a gás e motores a diesel.

As definições de tipos de GD foram estabelecidas no Brasil pela Lei nº 14.300 (BRASIL, 2022). Segundo esta regulamentação, uma central de microgeração distribuída é uma central geradora de energia elétrica com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada ou fontes renováveis, conectada na RD por meio das unidades consumidoras. Já uma central de minigeração distribuída é uma central geradora de energia elétrica renovável ou de cogeração, que possua potência instalada maior que 75 kW e menor ou igual a 5 MW, para as fontes despacháveis, e menor ou igual a 3 MW, para as fontes não despacháveis.

2.2.1.1 Biogás

O biogás é produzido através do processo de digestão anaeróbica (sem a presença de oxigênio) de matéria orgânica por microorganismos bacterianos. É basicamente composto por gás carbônico (CO₂), metano (CH₄), contendo também, em quantidades menores, amônia (NH₃), ácido sulfídrico (H₂S) e outros gases. Os fatores que interferem na composição e característica do biogás dependem da temperatura, pH, umidade e quantidade de substrato (BIASI *et al.*, 2018).

Lima (2020) relata que um dos benefícios da produção do biogás é redução do passivo ambiental, com a diminuição dos odores e a quantidade de insetos, viabilizando a destinação adequada para diferentes tipos de efluentes e possibilitando

o uso de subprodutos inclusive na adubação. Desta forma, a correta instalação e operação de biodigestores por trazer redução dos investimentos com tratamento de efluentes integrada a redução de emissão de gases metano e ácido sulfídrico na atmosfera, gases estes atrelados ao efeito estufa.

Conforme Biasi *et al.* (2018), o biogás, após devidos tratamentos de purificação pode substituir outros combustíveis para a obtenção de energia térmica, podendo ser aplicado para aquecimento de ambientes, geração de vapor, higienização de alimentos, cozimento de alimentos. A partir do biogás também é possível se chegar a um grau de pureza maior de metano (biometano), sendo possível o abastecimento de veículos automotivos. Tal potencial também pode ser convertido em energia mecânica e energia elétrica via grupos geradores. Esses grupos geradores contam como máquinas de térmicas acopladas diretamente ao eixo de máquinas elétricas síncronas ou assíncronas (GARCILASSO *et al.*, 2018).

Conforme Brignol (2017), é possível melhor aproveitar a geração de energia do biogás quando devidamente armazenado em gasômetros, possibilitando a conversão de energia em períodos adequados sem depender de condições climáticas.

2.2.2 Gerador Síncrono

Para que um MG possa operar de forma isolada, elementos que possam injetar potência e que tenham capacidade de sustentar a tensão e a frequência precisam ser utilizados. No contexto do uso do biogás como fonte primária de energia em uma MG, exige-se que sejam utilizados grupos geradores que contenham máquinas síncronas capazes de operar tanto de forma paralela quanto como backup da rede. Os geradores síncronos são dotados de uma excitatriz regulando a tensão e a potência reativa injetada ou consumida e um controlador automático de geração ajustam o ângulo de tensões e a potência ativa gerada (FU, 2015).

Enquanto isso, máquinas assíncronas (motores de indução) precisam de outros elementos para suprir ou absorve potência reativa da rede. Logo, este tipo de máquina para de fornecer energia quando desconectada da rede. Apesar de apresentar maior facilidade de operação e menor custo de investimento, este tipo de máquina elétrica não pode operar de forma isolada da rede sem a presença de outros elementos que sustentem a tensão na rede ilhada. (BATISTA *et al.*, 2016).

Desta forma, o uso de gerador síncrono é eficaz para a geração de energia em casos de emergências, horário de ponta, principalmente em áreas rurais. De forma geral, o sistema de geração via biogás é instalado com capacidade de geração superior a demanda média de energia da unidade consumidora, permitindo a operação de forma isolada da RD. (BATISTA *et al.*, 2016).

Conforme a Norma Técnica da COPEL NTC905200 (COPEL, 2017), o gerador injetará potência na rede se as tensões estiverem restabelecidas em todas as fases, permitindo a sincronização após alguma falha na RD em tempo de 2 minutos ou mais.

2.3 FLUXO DE POTÊNCIA

O fluxo de potência em um sistema elétrico de potência é uma análise em regime permanente que calcula as potências ativa e reativa transitando em todas as linhas do sistema, bem como as tensões em cada barra, sendo denominada “barra” todo ponto de interconexão entre diferentes linhas, ou pontos de interesse no sistema, onde se desejam saber informações sobre potências e tensões. As barras de um sistema elétrico recebem uma classificação dentro de 3 tipos principais, dentro da formulação de problemas de fluxo de potência:

- Barras PQ, onde as potências ativas e reativas são fixadas, geralmente barras de cargas;
- Barras PV, onde a potência ativa e o módulo de tensão são fixados, geralmente barras de geração ou com controladores de tensão;
- Barra de referência ($V\delta$ – slack bus), onde a magnitude da tensão e o ângulo de fase são fixados como referência do sistema, sendo uma barra de geração do sistema ou forte interconexão com outro sistema de grande porte (barra infinita).

Tal problema pode ser formulado na forma de equações de redes a serem resolvidas numericamente, sendo comumente implementado em simulação computacionais. A topologia de uma rede deve fornecer dados elétricos aos elementos de interligações e trechos identificando por barras através de número ou código, tendo característica de comprimento, impedâncias, os componentes de fases e as correntes admissíveis (KAGAN *et al.* .2010).

Um dos métodos numéricos mais utilizados na solução deste problema o método de Newton-Raphson (N-R). No método de N-R é realizada a montagem de uma matriz jacobiana em cada interação do algoritmo, sendo esta uma matriz que representa a sensibilidade existente na rede entre modificações no ângulo e módulo das tensões frente a variações nas potências ativas e reativas, respectivamente (ROBBA *et al.*, 2020).

A matriz jacobiana apresenta esparsidade semelhante a matriz de admitâncias, muitas vezes sendo necessárias técnicas matemáticas para diminuir seu tempo de processamento. Versões desacopladas do N-R apresentam uma série de aproximações baseadas em razões de X/R (BICALHO; UTURBEY, 2004).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Um gerador distribuído convencional opera somente enquanto a rede a qual está conectado estiver em pleno funcionamento. Quando inserido em uma MG, um gerador distribuído pode permanecer funcionando, atendendo a demanda interna desta MG, mesmo quando a rede principal sofre alguma falha ou queda.

Desta forma, a avaliação do fluxo de potência em redes de distribuição que contenham geradores distribuídos pode ser replicada com a presença de MGs operando em paralelo.

A metodologia proposta no presente trabalho leva em consideração avaliar diferentes cenários onde MGs operam em paralelo na RD e são instaladas nas cargas consideradas “no fim de redes de distribuição”. O auxílio de uma ferramenta computacional, foram propostos cenários para avaliar os impactos de uma MG fornecida por um gerador síncrono vinculada uma rede de distribuição teste, sendo avaliadas alterações na potência ativa e reativa injetadas na barra de referência e nos módulos e ângulos de tensões em barras específicas.

3.1 Ambiente computacional

A ferramenta computacional utilizada foi *Power World Simulator*[®] pacote de Extensão Simulador versão 22, foi desenvolvida pela empresa PowerWorld Corporation (licença educacional gratuita e de livre uso). É utilizado em simulações de sistema de fluxo de potência, com finalidade de despachar a geração determinado local, reforçando as linhas de transmissão.

O *PowerWorld* é um pacote de ferramentas computacionais voltado a simulações de sistemas elétricos de potência, através de recursos de ferramentas automatizadas de criação e modificação de diagramas interativos, com inserção de geração de energia, cargas de potência, linha de transmissão, transformador, entre outros equipamentos de sistema elétrico de potência. Com utilização de planejamento de transmissões, mercados de energia, energia renovável, operações em tempo real.

Dentre as diversas funções implementadas em seu código, o método de Newton-Raphson é uma das opções possíveis utilizadas na solução de problemas de fluxo de potência. Ao executar o método os dados de aplicação são de potência ativa, potência reativas magnitude de tensões e diferença de tensões nominais nas barras

do sistema e o fluxo de potência ativa e reativa em todas as barras inseridas no sistema.

Os equipamentos elétricos inseridos na RD via *PowerWorld* foram:

- Barras ou pontos de interesse: são inseridas a tensão nominal do sistema, as informações de magnitude de tensões e ângulos e fluxo de potência;
- Barras de referência, indicando um tipo de geração no sistema;
- Barras de cargas, aquelas que suprem uma carga de potência ativa e reativa e
- Barras de passagem, aquelas que interconecta pela linha de transmissão entre si;
- Linhas de transmissão podem ser definidas como corrente contínua (CC) e corrente alternada (CA), quando conecta nas barras é necessário inserir os valores de impedâncias e capacitores shunt;
- Gerador slack: é conectado a barra central afim de distribuir potência para todo sistema, os dados iniciais são magnitude de tensões (1 pu) e ângulo (0 radiano), resolvendo valores de potência ativa e reativa;
- Transformador: Converte os níveis de tensões nominais, mantendo o valor das potencias.

3.2 Rede de distribuição teste (IEEE 13 Barras)

O sistema de teste 13 Barras disponibilizado pelo *Institute of Electrical and Electronics Engineer* – IEEE foi projetado para avaliar sistemas radiais trifásicos. Seu diagrama unifilar é mostrado na figura 4.

- Dois bancos de capacitores shunt, um conectado em paralelo a barra 675 e outro em paralelo a barra 611;
- Uma chave seccionadora entre as barras 671 e 692, com impedância nula.

Os dados originais do referido sistema podem ser encontrados com maiores detalhes em IEEE (1992), sendo que os principais parâmetros utilizados no presente trabalho se encontram expostos ao ANEXO 1.

3.3 Metodologia

3.3.1 Adaptação e implementação da rede-teste ao software

Primeiramente o sistema teste foi adaptado para sua implementação junto ao software *PowerWorld*, sendo levada em consideração a limitação da licença educacional do software (máximo de 13 barras) e assumidas algumas condições por simplificação. As modificações foram:

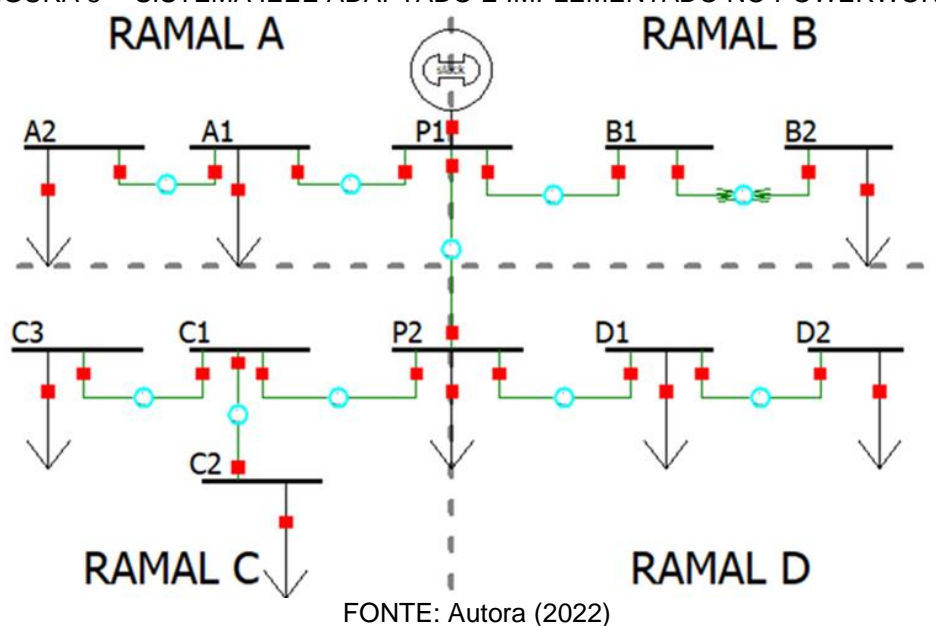
- a) Todas as cargas localizadas foram devidamente convertidas em cargas equivalentes em conexão estrela (Y), trifásicas e balanceadas. Esta condição foi adotada para simplificar a análise dos resultados, tendo em vista a dificuldade em complexidades intrínsecas em análises de sistemas mistos (mono, bi e trifásicos) desbalanceados;
- b) Todas as cargas localizadas foram implementadas com base no modelo de potência constante. Esta alteração foi adotada para visando manter a coerência de análise referente as questões de como o fluxo de potência se comporta na rede frente a um tipo de carga predominante;
- c) A carga distribuída entre as barras 632 e 671 não foi implementada, por motivos de simplificação de análise;
- d) A barra 650 foi removida junto com o regulador de tensão que a interliga a barra 632. Tal alteração foi executada, tendo em vista que o intuito do presente trabalho de conectar mais barras para simulação de uma microrrede conectada a rede de distribuição extrapolaria o número máximo de barras que a licença educacional do software suporta. Assim, a barra 632 passou a ser considerada a nova barra de referência da rede.
- e) A barra 680 e sua conexão com a barra 671 foram removida. Tal remoção foi realizada pelo mesmo motivo pelo qual a barra 650 foi removida, somado ao

fato de que não há carga ligada a barra 680 no sistema teste original, sendo que sua remoção pode ser considerada de pouco impacto aos resultados da simulação, mantendo ainda certa coerência com o sistema teste original.

- f) As linhas monofásicas convertidas em linhas trifásicas equivalentes, sendo considerada a impedância de cada uma das demais fases iguais a da fase original;
- g) As linhas bifásicas também foram convertidas em linhas trifásicas equivalentes, sendo consideradas a impedância de todas as fases como sendo igual a média entre as impedâncias das originais;
- h) A impedância equivalente das linhas trifásicas foi considerada como sendo a médias das impedâncias das fases originais;
- i) Todos os dados de impedância, após padronizados, foram convertidos para a base de potência e tensão do sistema, considerando ainda a extensão e as diferentes configurações de cada trecho;
- j) Os capacitores shunt foram removidos afim de se avaliar a resposta natural da queda de tensão nos alimentadores.
- k) A chave seccionadora entre as barras 671 e 692 foi implementada simplesmente como uma conexão comum (linha) de impedância nula.

Dadas as referidas alterações, ao fim, todas as barras foram todas renomeadas para organização e simplificação visual do sistema teste implementado. A figura 5 mostra a configuração final da rede teste após realizadas as adaptações citadas, sendo esta configuração utilizada como cenário base do presente trabalho.

FIGURA 5 -- SISTEMA IEEE ADAPTADO E IMPLEMENTADO NO POWERWORLD



De forma simplificada, a rede pode ser vista como um conjunto de 4 ramais ou cenário (ramais A, B, C e D) ligados a um ramal principal via barras P1 e P2. O gerador slack ligado a barra P1 representa a interligação da rede com o sistema elétrico de grande porte (barra infinita), sendo P1 a nova barra de referência. Deste modo o sistema adaptado passou a conter 11 barras e 8 cargas localizadas (representadas por setas).

3.3.2 Definição e implementação de cenários com MG

Em configurações de MG, em geral, os elementos de armazenamento de energia e controle de cargas também devem ser considerados. No presente trabalho, entretanto, a armazenagem de energia foi considerada como sendo feita na forma de energia primária, pelo armazenamento de biogás purificado, pronto para uso em grupos geradores.

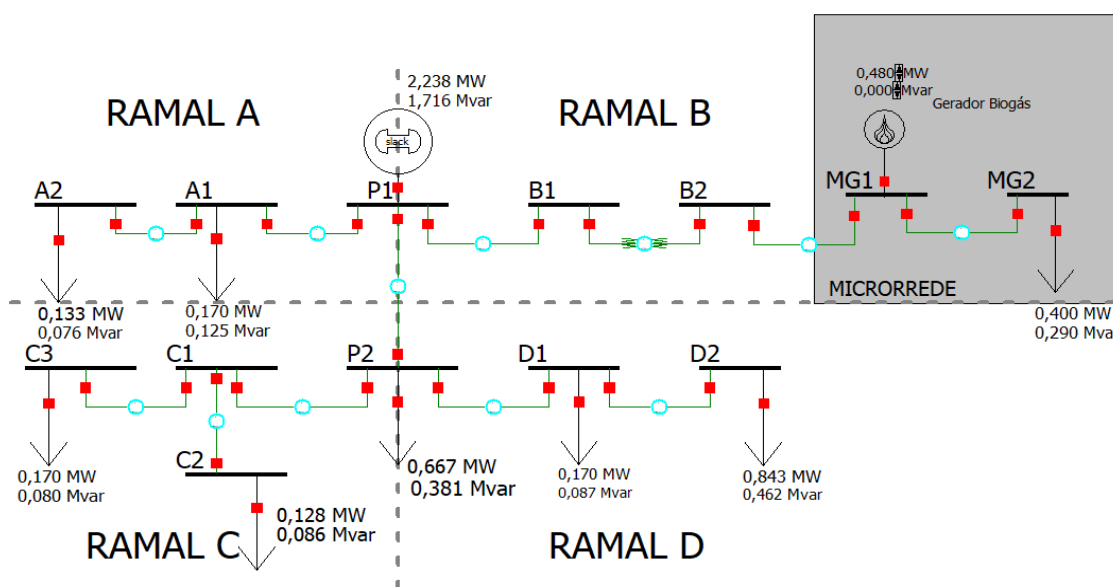
Para o dimensionamento do gerador síncrono conectado dentro da MG simulada foi considerada sua operação com fator de potência unitário e sua potência ativa injetada como sendo 120% da potência ativa demandada dentro da MG, seguindo os critérios indicados pela literatura, conforme Antonio (2016).

A figura 6 apresentada um exemplo de como foi realizada a inserção de cada MG junto a RD. A carga da barra onde a MG foi inserida foi deslocada para o final do ramal, sendo inseridas 2 novas barras em cada cenário: a barra MG1, onde foi inserido

o gerador síncrono representando o grupo gerador à biogás; e a barra MG2, onde foi realocada a carga do sistema original. Ambas barras inseridas foram do tipo PQ.

O gerador síncrono inserido apresentou sempre uma geração equivalente a 120% da demanda de potência ativa da carga a ser suprimida pela MG nos cenários de carga média. O valor absoluto de geração, uma vez calculado, foi mantido para demais cenários de carregamento leve e pesado, como mostrado na figura 6, onde o gerador a biogás obteve 120% da potência ativa da carga em nível médio considerada “fim de linha” do cenário B. Esse procedimento foi executado em todos os cenários.

FIGURA 6 - REDE DE DISTRIBUIÇÃO JUNTO À MICRORREDE COM BIOGÁS



FONTE: Autora (2022)

4 RESULTADO E DISCUSSÕES

4.1 Cenário Base

O cenário base foi arbitrado como sendo a rede de distribuição adaptada do sistema teste IEEE 13 barras. A tabela 1, apresenta os dados das cargas no patamar de cargas médias, conforme implementados na simulação do cenário base. Cenários distintos de carregamento foram avaliados, conforme expostos nas próximas sessões, sendo considerada carga leve 50% do carregamento do cenário base e carga pesada 200% do cenário base, mantendo-se a razão entre potência ativa e reativa de cada barra para todos os patamares de carga.

TABELA 1 - RENOMEAÇÃO DAS BARRAS E CARGAS MODIFICADAS

Barras IEEE	Barras PowerWorld	P (kW)	Q (kVAr)
650	Barra Removida		
632	P1	Nova Barra de Referência	
633	B1	---	---
634	B2	400	290
645	A1	170	125
646	A2	132,79	76,21
671	P2	666,84	381,05
684	C1	---	---
652	C2	128	86
611	C3	170	80
692	D1	170	87,18
675	D2	843	462
680	Barra Removida		

FONTE: Autora (2022)

A tabela 2 apresenta os dados das linhas e transformador utilizados nas simulações após adequações relatadas junto a metodologia e execução das devidas conversões dos valores retirados do sistema teste IEEE (ANEXO 1) em valores por unidade (p.u.) na base de impedância do sistema.

TABELA 2 - RENOMEAÇÃO DAS BARRAS E CARGAS MODIFICADAS

De/Para		R (pu)	X (pu)	Equipamento
P1	A1	0,725921	0,73982	alimentador
P1	B1	0,409254	0,654949	alimentador
B1	B2	0,011	0,02	transformador
A1	A2	0,435551	0,443891	alimentador
C1	C2	1,175393	0,451246	alimentador
P1	P2	0,747991	2,262143	alimentador
P2	C1	0,436405	0,442413	alimentador
P2	D1	0	0	chave
C1	C3	0,436266	0,442273	alimentador
D1	D2	0,435119	0,236465	alimentador

FONTE: Autora (2022)

O módulo e ângulo de tensão do sistema original IEEE para a barra 632 foram fixados como nova barra de referência. O algoritmo de fluxo de potência foi então executado e os resultados para as tensões nas barras podem ser vistos na tabela 3.

TABELA 3 - COMPARAÇÃO DE RESULTADOS DE TENSÃO NAS BARRAS

Resultados do relatório do sistema original IEEE (valores médios)			Resultados do cenário base do sistema adaptado junto ao PowerWorld		
Barras IEEE	Módulo de tensão (pu)	Ângulo (°)	Barras PowerWorld	Módulo de tensão (pu)	Ângulo (°)
650	1,000	0,00	---		
632	1,027	-2,127	P1	1,0268	-2,127
633	1,025	-2,17	B1	1,02334	-2,205
634	1,004	-2,70	B2	1,02324	-2,208
645	1,024	-2,02	A1	1,02319	-2,17
646	1,022	-2,04	A2	1,0223	-2,184
671	1,007	-3,87	P2	0,98631	-4,189
692	1,007	-3,88	D1	0,98631	-4,189
675	1,005	-4,02	D2	0,98146	-4,188
680	1,007	-3,87	---		
684	0,982	-4,77	C1	0,98437	-4,224
611	0,974	-4,22	C3	0,98332	-4,249
652	0,983	-5,25	C2	0,98244	-4,198

FONTE: adaptado de IEEE (1992)

Embora tenham sido eliminadas duas barras do sistema, dentre outras modificações e adequações, é possível notar que os módulos de tensão resultantes após implementação do sistema teste junto ao software foram bastante próximos, diferenças maiores podem ser notadas nas barras 671, 692, 675 e 611 (P2, D1, D2 e C3). Tais diferenças poderiam ser atribuídas principalmente por não serem

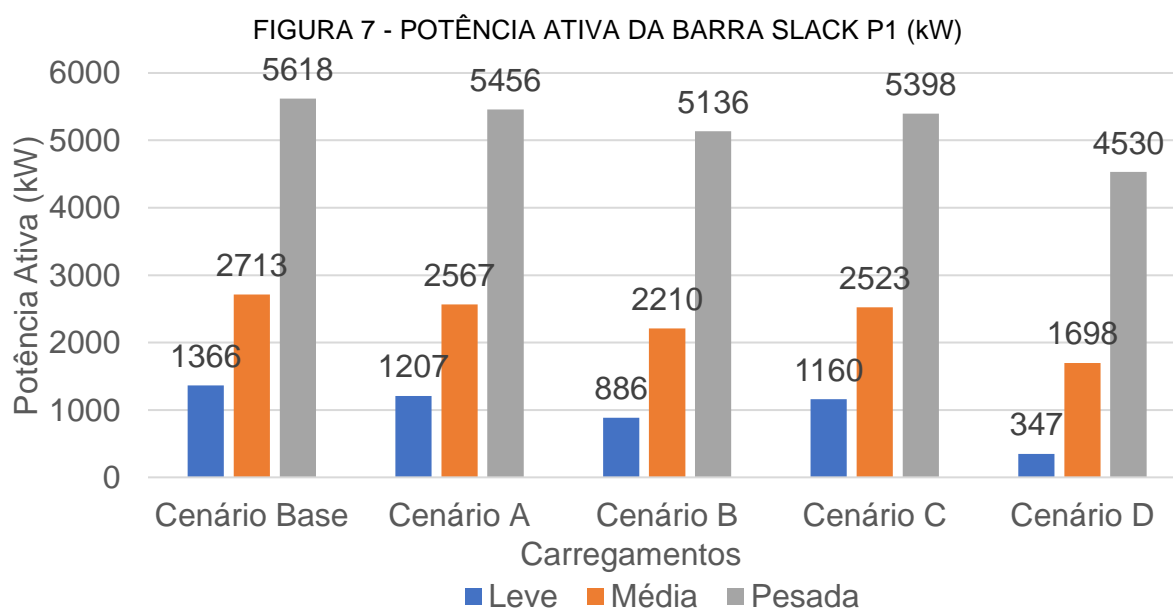
implementadas tanto a carga distribuída entre a barra 632 e 671 (P1 e P2) quanto os capacitores shunt localizado nas barras 675 e 611 (D2 e C3). Em relação aos ângulos das tensões, as diferenças podem ser associadas principalmente as adequações realizadas tanto para as linhas quanto as cargas, implicando também em leves alterações nos fluxos de potência ativa de cada ramal.

Apesar das diferenças observadas, pode-se julgar que o sistema teste original foi implementado com suficiente coerência vinculado ao software, sendo possível utilizá-lo para estudos de fluxo de potência, considerando as referidas modificações realizadas.

4.2 Impactos no Fluxo de Potência Ativa da barra P1

Foram definidos 4 cenários (A, B, C, D) e 3 condições de carregamento (leve, média e pesado) em relação ao cenário base, o qual foi também submetidos a este mesmo carregamento, avaliou-se os valores de potência ativa injetada na RD a partir da barra P1.

A figura 7 condensa os resultados de todos os cenários simulados. No cenário D, com o uso da MG junto a carga instalada na barra D2, a potência ativa injetada na RD pela barra P1 apresentou o menor valor para os 3 níveis de carregamentos.

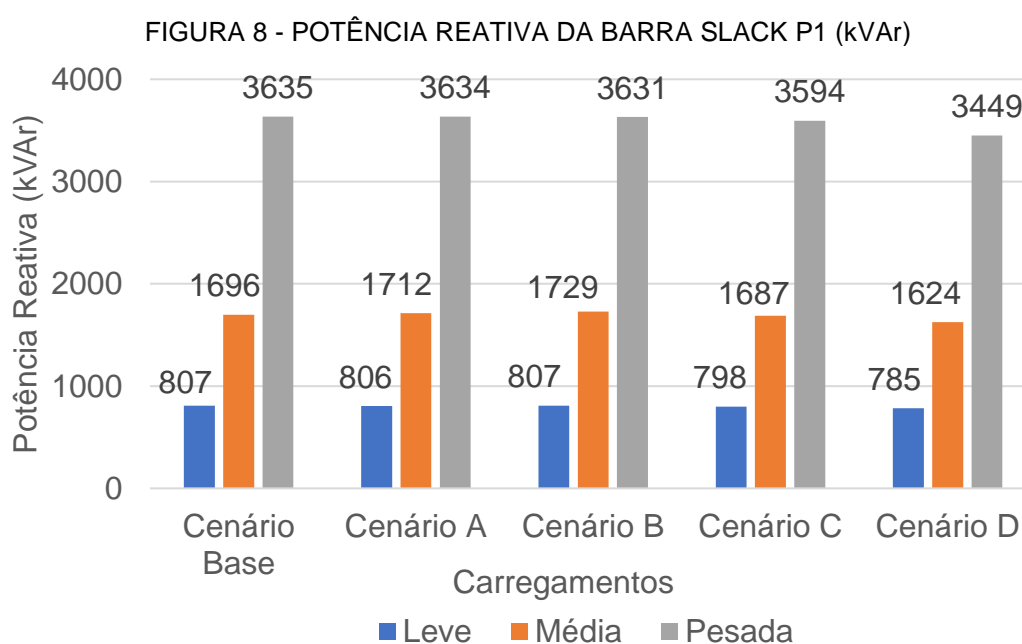


FONTE: Autora (2022)
NOTA Apêndice I – potência ativa

Além disso, o cenário D apresentou também a maior variação do fluxo de potência ativa entrando na RD pela barra P1 em relação ao cenário base, para todas as condições de carregamento. Isso ocorre, pois a carga instalada na barra D2 é de maior potência. Como a geração da MG foi dimensionada de forma coerente com o porte da carga, há um maior alívio de carga para a RD quando a MG é inserida na barra D2. Mesmo em carregamento pesado, onde o grupo gerador não supra 100% da carga da MG, o impacto ainda é bastante proeminente devido aos valores absolutos de potência ativa aliviada serem maiores. Em comparação, o cenário A apresentou as menores variações em relação ao cenário base, sendo que neste cenário a MG foi conectada à uma barra de carga mais leve do sistema, além de estar localizada em um ramal eletricamente mais próximo da barra de referência P1.

4.3 Impactos no Fluxo de Potência Reativa da barra P1

Para análise do fluxo de potência reativa, foram definidos 4 cenários (A, B, C, D) e 3 condições de carregamento (leve, média e pesada) em relação ao cenário base, o qual foi também submetido a este mesmo carregamento, avaliou-se os valores de potência reativa injetada na RD a partir da barra P1. A figura 8, mostra os valores de potência reativa fluindo para a RD. Os impactos ocasionados menores do que os impactos observados para a potência ativa.



FONTE: Autora (2022)

NOTA: Apêndice 2 – potência reativa

Como o gerador distribuído implementado para atender a MG injeta puramente potência ativa em sua barra, o alívio de potência reativa sentido pela RD foi sutil, sendo este resultado relacionado principalmente a menor potência aparente total demandada pelas cargas da RD. O cenário D, para todos os níveis de carregamento, apresentou novamente as maiores diferenças em relação aos resultados do cenário base.

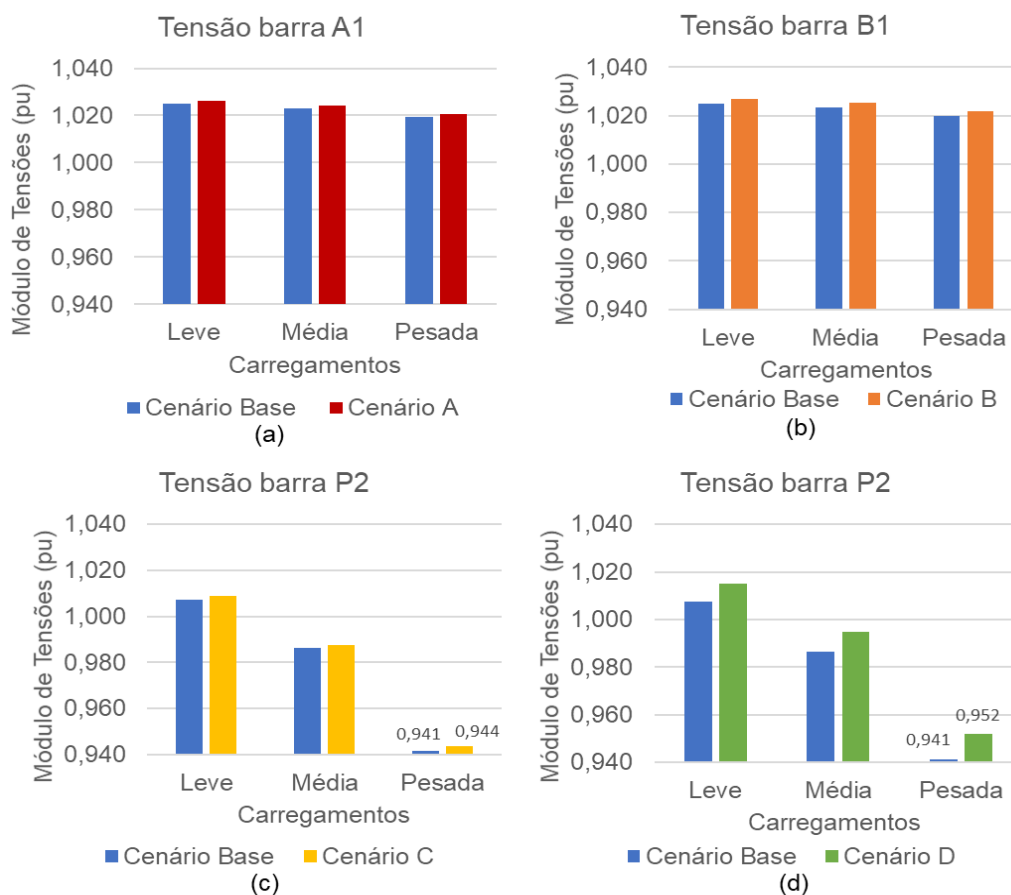
Diferente do que ocorreu com a potência ativa, os cenários A e B em níveis de carga média resultaram em uma elevação sutil na injeção de potência reativa para a RD em relação ao cenário base. Apesar de a presença da MG impactar diretamente o fluxo de potência ativa na RD, o fluxo de potência aparente como um todo é impactado, interferindo de forma não-linear no o fluxo de potência reativa.

4.4 Impactos no Módulo de tensão

Para análise das tensões das barras adjacentes da P1, sendo elas A1, B1 e P2, foram definidos 4 cenários (A, B, C, D) e 3 condições de carregamento (leve, média e pesado) em relação ao cenário base, o qual foi também submetidos a este mesmo carregamento.

Os resultados obtidos para os módulos de tensão em barras específicas da RD são mostrados na figura 9. Como já disposto na metodologia, para verificação dos impactos de tensão em cada cenários, foram observadas somente as barras adjacentes à barra P1 (slack), sendo estas as barras A1 e B1 para os cenários A e B, figura 9a e 9b respectivamente, e a barra P2 para ambos cenários C e D, figura 9c e 9d.

FIGURA 9 - TENSÕES DAS BARRAS ADJACENTES A P1.



FONTE: Autora (2022)

NOTA: Apêndice 3 – magnitude de tensões

Em todos os cenários houve um aumento no módulo de tensão em relação aos valores do cenário base, com destaque novamente para o cenário D, em que tal aumento foi mais pronunciado. Neste cenário, em carga pesada, a presença da MG propiciou inclusive trazer a tensão da barra P2 para acima de 0,95 pu, ou seja, acima do padrão mínimo definido ao PRODIST/ANEEL.

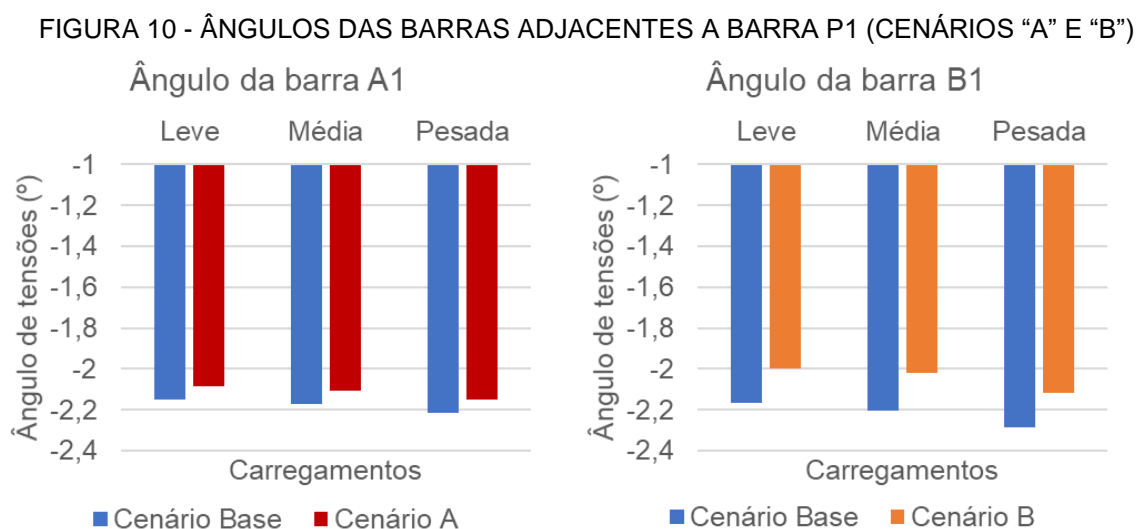
Para o cenário C, em carga pesada, onde a presença de MG trouxe o módulo de tensão de P2 para 0,944pu. Neste caso, apesar do impacto ainda ser positivo, não foi suficiente para adequar o nível de tensão aos padrões regulamentados.

4.5 Impactos no Ângulo da tensão

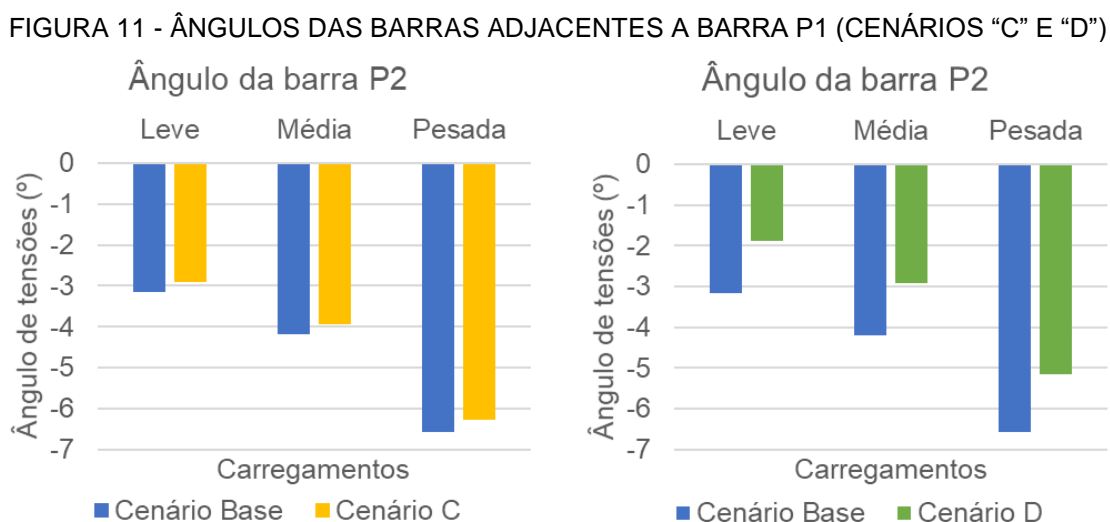
Para análise dos ângulos das barras adjacentes da P1, sendo elas A1, B1 e P2, foram definidos 4 cenários (A, B, C, D) e 3 condições de carregamento (leve, média e pesado) em relação ao cenário base, o qual foi também submetidos a este mesmo carregamento.

Nota-se que, em cada cenários executou 3 condições de carregamento, cargas leves, média, pesadas, mostrados na figura 10 para os cenários A e B e figura 11 cenários C e D em comparação ao cenário base, avaliando-se os ângulos de tensão o qual fluem da RD foram.

Os ângulos das barras dos cenários C e D foram mais impactados, devido serem distantes da barra de referência, além de apresentar cargas maiores implementadas nas barras.



FONTE: Autora (2022)
NOTA: Apêndice 4 – ângulos das tensões



FONTE: Autora (2022)
NOTA: Apêndice 4 – ângulos das tensões

5 CONCLUSÃO

No presente trabalho foi proposta inicialmente a implementação de uma rede de distribuição teste padrão (IEEE 13 barras) junto a uma ferramenta computacional (*PowerWorld*) de forma que fosse possível realizar estudos de fluxo de potência a partir deste modelo. Os resultados obtidos com a simulação mostraram-se bastante próximos aos apresentados no relatório técnico do IEEE para o referido sistema teste. Desta forma, é possível concluir que o sistema foi implementado com uma coerência mínima ao computacional escolhido.

Em relação aos estudos realizados com a inserção de uma microrrede sustentada por um grupo gerador à biogás junto a rede de distribuição implementada, os resultados de todas as variáveis avaliadas convergiram para um cenário de maior impacto (cenário D), sendo este impacto positivo para a rede de distribuição. Tal cenário é o que apresenta maior carga ativa e reativa do sistema, sendo que, nele, a microrrede foi inserida em uma barra bastante afastada da barra de referência. Como a geração da microrrede foi dimensionada de forma coerente com o porte da carga (120% da potência ativa da carga do cenário base), houve um maior alívio de carga para a rede de distribuída vinculado ao referido cenário.

É possível avaliar então que, o critério de dimensionamento de grupos geradores síncronos movidos a biogás pode impactar diretamente nos resultados do fluxo de potência em uma rede de distribuição onde estes geradores foram inseridos, sejam como geração distribuída convencional, ou dentro de uma microrrede em modo de operação paralelo.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Utilizar o sistema teste implementado computacionalmente como base para outros tipos de estudos;
- Avaliar as características deste tipo de microrrede quando em operação isolada da rede;
- Verificar se as conclusões do presente trabalho podem ser validadas em sistemas implementados na realidade.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Resolução normativa nº 482**, de 17 de abril de 2012. 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, e dá outras providências. 2012. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL (Brasil). **Resolução Normativa ANEEL Nº 956, de 7 de dezembro de 2021**: Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST:: Módulo 8 - qualidade do fornecimento de energia elétrica. 2021. Disponível em: https://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2021956_2_7.pdf. Acesso em: 10 fev. 2022.

ANTONIO, Adriano da Silva. **Viabilidade econômica da geração de energia elétrica a partir do biogás de produção de suínos de minas gerais**. 2016. 83 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/10394/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 11 maio 2022.

AOKI, Alexandre *et al.* Evolução das Redes Ativas de Distribuição e Recursos Energéticos Distribuídos no Brasil. **Eletroevolução**: Sistema de Potência, Rio de Janeiro, v. 101, p. 21-35, dez. 2020. Trimestral. Disponível em: http://leonardoleite.eng.br/wp-content/uploads/2020/12/eletro_101_full-p%C3%A1ginas-21-35.pdf. Acesso em: 14 mar. 2022.

AOKI, Alexandre R.; OTTO, Rodrigo B. O Mercado de Microrredes. *In*: Associação Brasileira de Microrredes - ABMR. **Microrredes**. Foz do Iguaçu, 1 set. 2020. Disponível em: <https://microrredes.org.br/static/media/article01.f36405e8.pdf>. Acesso em: 5 mar. 2022.

BELLIDO, Marlon Max Huamaní. **Microrredes elétricas: uma proposta de implementação no brasil**. 2018. 196 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências em Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

BIASI, Carlos Antônio Ferraro *et al.* **Energias renováveis na área rural da região sul do Brasil**. Foz do Iguaçu: Itaipu Binacional, 2018. 202 p.

BICALHO, H. F; UTURBEY, W. **Estudo e implementação de algoritmos de fluxo de potência para redes de distribuição**. Universidade Federal de Minas Gerais – Departamento de Engenharia Elétrica. Belo Horizonte, 2004. Disponível em: https://www.academia.edu/24769064/Estudo_e_implementa%C3%A7%C3%A3o_de_algoritmos_de_fluxo_de_pot%C3%Aancia_para_redes_de_distribui%C3%A7%C3%A3o. Acesso em 15 de abr de 2022.

BRASIL. Lei nº 14.300, 6 DE JANEIRO DE 2022. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia

Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS); altera as Leis nºs 10.848, de 15 de março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dá outras providências.. **DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO**. seção 1, Brasília, p. 1-4, 7 jan. 2022. Disponível em: <https://in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.300-de-6-de-janeiro-de-2022-372467821>. Acesso em: 23 fev. 2022.

BRIGNOL, Wagner da Silva et al. **Otimização do armazenamento e geração de energia a biogás visando ao gerenciamento das redes de distribuição**. 2017. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria.

CIBIOGÁS, Centro Internacional de Energias Renováveis -. **Panorama do Biogás no Brasil 2021**. Foz do Iguaçu: Cibiogás, 2022. 20 p. Disponível em: <https://cibiogas.org/wp-content/uploads/2022/04/NT-PANORAMA-DO-BIOGAS-NO-BRASIL-2021.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2022.

CIPOLLA, Pedro Luís Maturano. **Avaliação técnica, econômica e social para a implantação de microrredes em sistemas de distribuição de energia elétrica**. 2021. 101 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual Paulista (Unesp), São João da Boa Vista, 2021. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/210953/cipolla_plm_me_sjbv.pdf?sequence=5&isAllowed=y. Acesso em: 28 mar. 2022.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA - COPEL (Curitiba). **CHAMADA PÚBLICA COPEL DIS GD 001/2020 COMPRA DE ENERGIA ELÉTRICA DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA**. 2020. Disponível em: <https://www.copel.com/hpcweb/wp-content/uploads/2020/11/Edital-Chamada-Publica-DIS-GD001-2020site.pdf>. Acesso em: 01 abr. 2022.

COPEL - Companhia Paranaense de Energia. **NORMAS TÉCNICAS COPEL NTC 905100**: Acesso de geração distribuída ao sistema da COPEL (com comercialização de energia). Curitiba: COPEL. 2017. 105 p. Disponível em: [https://www.copel.com/hpcopel/root/ntcarquivos.nsf/0342A62F50C68EC4032577F500644B9A/\\$FILE/905100.pdf](https://www.copel.com/hpcopel/root/ntcarquivos.nsf/0342A62F50C68EC4032577F500644B9A/$FILE/905100.pdf). Acesso em: 20 abr. 2022.

COPEL - Companhia Paranaense de Energia. **NORMAS TÉCNICAS COPEL NTC 905200**: Acesso de geração distribuída ao sistema da COPEL (com comercialização de energia). Curitiba: COPEL. 2021. 101 p.

COSTA JUNIOR, A. . A digitalização do setor elétrico brasileiro: The digitalization of the Brazilian electric sector. **Revista Brasileira de Pesquisas Jurídicas (Brazilian Journal of Law Research)**, Avaré: Eduvale, v. 1, n. 3, p. 119-135, 2021. DOI: 10.51284/rbpj.01.cj. Disponível em: <https://ojs.eduvaleavare.com.br/index.php/rbpj/article/view/20>. Acesso em: 11 abr. 2022.

COTIAN, Luís Fernando Paulista. **Engenharias, ciência e tecnologia 3**. Ponta Grossa - Pr: Atena Editora, 2019. 3 v. Disponível em: <https://www.atenaeditora.com.br/post-ebook/2102>. Acesso em: 20 mar. 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE (Rio de Janeiro). **NOTA TÉCNICA DEA 26/14 Avaliação da Eficiência Energética e Geração Distribuída para os próximos 10 anos (2014-2023)**. 2014. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-251/topico-311/DEA%2026%20Efici%C3%Aancia%20Energ%C3%A9tica%20e%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20Distribu%C3%ADa%20para%20os%20pr%C3%B3ximos%2010%20anos%5B1%5D.pdf>. Acesso em: 01 abr. 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE (Rio de Janeiro). **NOTA TÉCNICA PR 08/18 Recursos Energéticos Distribuídos 2050**. 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/spe/publicacoes/estudos-do-pne-2050/02-relatorios-epe/11-recursos-energeticos-distribuidos-2050-nt-pr-008-2018.pdf>. Acesso em: 03 fev. 2022.

ENEL. **Projeto Microrredes Inteligentes**. 2017. Disponível em: <https://www.enel.com.br/pt-ceara/Sustentabilidade/iniciativas/archive/projeto-microrredes-inteligentes-traz-inovao-para-o-mercado-de-energia-brasileiro.html>. Acesso em: 02 abr. 2022

FU, Qiang et al. Microgrids: architectures, controls, protection, and demonstration. **Electric Power Components and Systems**, v. 43, n. 12, p. 1453-1465, 2015. Acesso em: 02 abr. 2022

GARCILASSO, Vanessa Pecora *et al.* **Tecnologias de produção e uso de biogás e biometano**: part. i biogás; part. ii biometano.. São Paulo: Synergia, 2018. 218 p. Disponível em: <http://gbio.webhostusp.sti.usp.br/sites/default/files/anexosnoticias/livro-tecnologias-producao-uso-biogas-biometano.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2022.

GOUVÊA, Adriana Ribeiro. **Uma visão estratégica do setor de distribuição de energia elétrica frente aos desafios da expansão de recursos energéticos distribuídos no Brasil**. 2019. 103 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Planejamento Energético., Pós-Graduação em Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: http://www.ppe.ufrj.br/images/documentos/Adriana_Ribeiro_Gouv%C3%AAa._MESTRADO-2019.pdf. Acesso em: 30 mar. 2022.

KAGAN, Nelson *et al.* **Introdução aos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2017. 344 p. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521216896/>. Acesso em: 20 abr. 2022.

IEEE, Institute Of Electrical And Electronics Engineers -. **1992 Test Feeder Cases: 13-bus feeder**. 13-bus Feeder. 1992. Disponível em: <https://cmte.ieee.org/pes-testfeeders/resources/>. Acesso em: 01 mar. 2022.

ITAIPIU BINACIONAL (Brasil). **Copel e Itaipu colocam microrrede em operação no oeste do Paraná**. 2021. Disponível em: <https://www.itaipu.gov.br/sala-de>

imprensa/noticia/copel-e-itaipu-colocam-microrrede-em-operacao-no-oeste-do-parana. Acesso em: 20 abr. 2022.

LIMA, Isabela Cristina Mancio de Araujo. **Perspectivas e propostas para a expansão do biogás no Brasil: uma análise de políticas públicas**. 2020. 141 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: http://www.ppe.ufrj.br/images/IsabelaLima-_Mestrado.pdf. Acesso em: 15 abr. 2022.

MOHAN, Ned. **Sistemas elétricos de potência: curso introdutório**. Rio de Janeiro: Ltc, 2016. 211 p. Tradução de: Walter Denis Cruz Sanchez.. Disponível em: [https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521632801/epubcfi/6/10\[%3Bvnd.vst.idref%3Dcopyright!\]/4/36/1:0\[%2CInc\]](https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521632801/epubcfi/6/10[%3Bvnd.vst.idref%3Dcopyright!]/4/36/1:0[%2CInc]). Acesso em: 15 mar. 2022.

NEOENERGIA (Brasil). **Aposta da NEOENERGIA em microrrede de geração solar leva energia para o interior baiano**. 2020. Disponível em: <https://www.neoenergia.com/pt-br/sala-de-imprensa/noticias/Paginas/aposta-neoenergia-microrrede-geracao-solar-leva-energia-para-interior-baiano.aspx>. Acesso em: 03 mar. 2022.

PHILIPPI JUNIOR, Arlindo; REIS., Lineu Belico dos. **Energia e sustentabilidade**. Barueri, Sp: Manole, 2016. 19 v. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9786555761313/pageid/4>. Acesso em: 01 mar. 2022.

ROBBA, Ernesto João *et al.* **Análise de sistemas de transmissão de energia elétrica**. São Paulo: Blucher, 2020. 522 p. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9786555060096/pageid/4>. Acesso em: 20 abr. 2022.

SILVA, Fabio Coelho Netto Santos; VIANNA, João Nildo de Souza; BARRETO, Cristiane Gomes. Sustentabilidade na Eletrobras: uso de indicadores socioambientais como vantagem competitiva no setor elétrico brasileiro. sonho ou realidade? **Sustentare**, Três Corações, v. 5, n. 1, p. 1-15, jul. 2021. Semestral. Universidade Vale do Rio Verde (UninCor). <http://dx.doi.org/10.5892/st.v5i1.6346>.

SOUZA JUNIOR, Marcus Evandro Teixeira. **Estudo e desenvolvimento de métodos de controle para microrredes CA ilhadas e conectadas à rede elétrica**. 2020. 144 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020.

VIEIRA, H. G.; POLLI, H. Q. O BIOGÁS COMO FONTE ALTERNATIVA DE ENERGIA. **Revista Interface Tecnológica**, [S. l.], v. 17, n. 1, p. 388–400, 2020. DOI: 10.31510/infa.v17i1.766. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/index.php/interfacetecnologica/article/view/766>. Acesso em: 22 abr. 2022.

ZIA, Muhammad Fahad; ELBOUCHIKHI, Elhoussin; BENBOUZID, Mohamed. Microgrids energy management systems: A critical review on methods, solutions, and prospects. **Applied energy**, v. 222, p. 1033-1055, 2018.

APÊNDICE 1 – POTÊNCIA ATIVA

TABELA 4 - POTÊNCIA ATIVA INJETADA DA BARRA P1

Cenários	Cargas (kW)		
	Leve	Média	Pesada
	50%	100%	200%
Base	1366	2713	5618
A	1207	2567	5456
B	886	2210	5136
C	1160	2523	5398
D	347	1698	4530

FONTE: Autora (2022)

APÊNDICE 2 – POTÊNCIA REATIVA

TABELA 5 - POTÊNCIA REATIVA INJETADA DA BARRA P1

Cenários	Cargas (kVAr)		
	Leve	Média	Pesada
	50%	100%	200%
Base	807	1696	3635
A	806	1712	3634
B	807	1729	3631
C	798	1687	3594
D	785	1624	3449

FONTE: Autora (2022)

APÊNDICE 3 – MAGNITUDES DE TENSÕES

TABELA 6 – MÓDULO DE TENSÕES (PU)

BARRAS >>	Carga Leve (50%)			Carga Média (100%)			Carga Pesada (200%)		
	A1	B1	P2	A1	B1	P2	A1	B1	P2
Base	1,02497	1,02504	1,00737	1,02319	1,02334	0,98631	1,01943	1,01973	0,94138
A	1,0261			1,02433			1,02058		
B		1,02696			1,0253			1,02168	
C			1,009			0,9877			0,94353
D			1,0151			0,99477			0,95188

FONTE: Autora (2022)

APÊNDICE 4 – ÂNGULOS DE TENSÕES

TABELA 7 - ÂNGULOS DAS TENSÕES NAS BARRAS (°)

BARRAS >>	Carga Leve (50%)			Carga Média (100%)			Carga Pesada (200%)		
	A1	B1	P2	A1	B1	P2	A1	B1	P2
Base	-2,149	-2,167	-3,159	-2,17	-2,205	-4,189	-2,214	-2,287	-6,57
A	-2,084			-2,105			-2,149		
B		-1,996			-2,017			-2,116	
C			-2,903			-3,947			-6,282
D			-1,893			-2,913			-5,15

FONTE: Autora (2022)

ANEXO 1

TABELA 8 - ALIMENTADOR DE 13 BARRAS IEEE

Barras A	Barra B	Comprimento(ft.)	Config.
632	645	500	603
632	633	500	602
633	634	0	XFM-1
645	646	300	603
650	632	2000	601
684	652	800	607
632	671	2000	601
671	684	300	604
671	680	1000	601
671	692	0	Switch
684	611	300	605
692	675	500	606

FONTE: IEEE (1992)

TABELA 9 – PARÂMETROS DOS ALIMENTADORES APÓS ADEQUAÇÕES

Configuração	R (Ω /milas)	X (ohm/mile)	B (ohm/mile)
601	0,34173	1,0335	5,9637
602	0,7479	1,197	5,434367
603	1,3266	1,352	4,68775
604	1,3266	1,3266	4,68775
605	1,3292	1,3475	4,5193
606	0,79517	0,4321	96,8897
607	1,3425	0,5154	88,9912

FONTE: IEEE (1992)

TABELA 10 - ALIMENTADOR DE 13 BARRAS IEEE

Barras	Carga	Fase 1		Fase 2		Fase 3	
		kW	kVAr	kW	kVAr	kW	kVAr
633	Y-PQ	160	110	120	90	120	90
645	Y-PQ	0	0	170	125	0	0
646	D-Z	0	0	230	132	0	0
652	Y-Z	128	86	0	0	0	0
671	D-PQ	385	220	385	220	385	220
675	Y-PQ	485	190	68	60	290	212
692	D-I	0	0	0	0	170	151
611	Y-I	0	0	0	0	170	80
	TOTAL	1158	606	973	627	1135	753

FONTE: IEEE (1992)

TABELA 11 - ALIMENTADOR DE 13 BARRAS IEEE

	kVA	kV-high	kV-low	R - %	X - %
Substation:	5,000	115 – D	4.16 Gr. Y	1	8
XFM -1	500	4.16 – Gr.W	0.48 – Gr.W	1.1	2

FONTE: IEEE (1992)

TABELA 12 - PERFIL DE TENSÕES TRIFÁSICOS

PERFIL DE TENSÃO						
SUBESTAÇÃO: IEEE 13 BARRAS						
CARGAS	MAG (pu)	ângulo	MAG (pu)	ângulo	MAG (pu)	ângulo
	FASE A		FASE B		FASE C	
650	1	0	1	-120	1	120
RG60	1,0625	0	1,05	-120	1,0687	120
632	1,0268	-2,49	1,042	-121,72	1,0174	117,83
633	1,025167	-2,56	1,0401	-121,77	1,0148	117,82
XFXFM1	0,9941	-3,23	1,0218	-122,22	0,996	117,35
634	0,994	-3,23	1,0218	-122,22	0,996	117,34
645	-	-	1,0329	-121,9	1,0155	117,86
646	-	-	1,0311	-121,98	1,0134	117,9
671	0,99	-5,3	1,0529	-122,34	0,9778	116,02
680	0,99	-5,3	1,0529	-122,34	0,9778	116,02
684	0,9881	-5,32	-	-	0,9758	115,92
611	-	-	-	-	0,9738	115,78
652	0,9835	-5,56	-	-	-	-
692	0,99	-5,31	1,0529	-122,34	0,9777	116,02
675	0,9835	-5,56	1,0553	-122,52	0,9758	116,03

FONTE: IEEE (1992)