

IMPACTOS GERADOS PELA CONEXÃO DE UNIDADES DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NAS REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

IMPACTS GENERATED BY THE CONNECTION OF DISTRIBUTED GENERATION UNITS IN ELECTRIC POWER DISTRIBUTION GRIDS

BRUNO TAKASUME NITA DA SILVA¹, IVAN ROSSATO CHRUN^{2*}

1. Acadêmico do curso de pós-graduação do curso de Especialização em Gerenciamento de Projetos da Faculdade de Engenharia e Inovação Técnico Profissional; 2. Professor Mestre em Automação e Controle da Faculdade de Engenharia e Inovação Técnico Profissional

* Avenida Paranaíba, 1164, Parque Industrial Bandeirantes, Maringá, Paraná, Brasil. CEP: 87070-130 - prof.ivanchrun@feitep.edu.br

Recebido em 23/10/2024. Aceito para publicação em 30/10/2024

RESUMO

Por meio de uma revisão bibliográfica, objetivou-se analisar os impactos gerados pela conexão de unidades de geração distribuída (GD) nas redes de distribuição de energia elétrica. Fatores como a crescente demanda de energia elétrica no Brasil, acompanhando a tendência mundial e os incentivos ao uso de fontes renováveis de energia resultou no aumento da quantidade de unidades de GD. Entretanto, as redes que foram projetadas para o fluxo unidirecional de energia passaram a apresentar problemas com o fluxo bidirecional de energia, tais como sobrecarga de transformadores, flutuações de tensão, aumento de distorções. Por meio de simulações e análises, o trabalho demonstra que a presença de GD pode causar reversão de fluxo de potência, alterações nos níveis de tensão e problemas com sistemas de proteção e confiabilidade da rede. Essas mudanças exigiram adaptações, como o uso de medidores inteligentes e dispositivos anti-ilhamento. Os resultados indicam que, embora a GD traga benefícios, como redução de perdas de energia, seu crescimento acentuado sem as devidas modernizações na infraestrutura pode comprometer a qualidade da energia distribuída.

PALAVRAS-CHAVE: Geração distribuída; tensão; corrente.

ABSTRACT

Through a literature review, this study aimed to analyze the impacts generated by the connection of distributed generation (DG) units in electricity distribution networks. Factors such as the growing demand for electricity in Brazil, following the global trend, and incentives for the use of renewable energy sources have resulted in an increase in the number of DG units. However, networks that were designed for unidirectional energy flow have started to experience problems with bidirectional energy flow, such as transformer overloading, voltage fluctuations, and increased distortions. Through simulations and analyses, this work demonstrates that the presence of DG can cause power flow reversal, changes in voltage levels, and problems with protection systems and network reliability. These changes have required adaptations, such as the use of smart meters and anti-islanding devices. The results indicate that, although DG brings benefits such as reduced energy losses, its rapid

growth without the necessary infrastructure modernizations can compromise the quality of distributed energy.

KEYWORDS: Distributed generation; voltage; current.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com o relatório publicado pela International Energy Agency (IEA) (2023)¹, a demanda global de energia elétrica deve aumentar 2% em 2023 e 3,3% em 2024. Entretanto, apesar da expectativa de crescimento, alguns países desenvolvidos como os EUA, Japão e alguns membros da União Europeia apresentam a tendência de uma leve queda no consumo de energia, sendo que, no caso da União Europeia, motivada principalmente pela desaceleração da produção e pela invasão russa na Ucrânia, que elevaram o preço da energia e geraram a necessidade de um uso mais consciente.

Para que tal demanda possa ser suprida, as tecnologias utilizadas para a geração podem envolver meios renováveis, que tem sido cada vez mais incentivados, visando a preservação ambiental, e meios não renováveis, como aqueles provenientes da queima de combustíveis fósseis e que emitem uma grande quantidade de gases poluentes na atmosfera.

Segundo o Balanço Energético Nacional (BEN), elaborado em 2023 pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 92,1% da matriz energética brasileira é composta por fontes renováveis de energia, o que representou um aumento de 3,2% em comparação ao mesmo período do ano de 2021. Esse crescimento se deu em virtude da maior representatividade da energia eólica, hidrelétrica e solar, cujo crescimento foi de 12,9%, 17,7% e 79,8% respectivamente².

Além das questões ambientais, outro fator responsável pelo aumento da representatividade das fontes renováveis de energia e tornado a matriz energética brasileira e mundial mais limpa é o aumento da quantidade de unidades de geração distribuída (GD)

conectadas as redes de distribuição de energia elétrica, sendo que, desses sistemas, a maioria se encontra instalada nas próprias unidades consumidoras, como residências, empresas e indústrias.

As unidades de Geração Distribuída são sistemas de geração de energia elétrica, cuja origem é proveniente principalmente de fontes solares, eólicas e de biomassa, geralmente conectadas às redes de distribuição de baixa e média tensão³. Muitos países da Europa, Ásia e da América do Norte, assim como o Brasil, cuja matriz energética é composta majoritariamente por fontes renováveis de energia, tem investido cada vez mais em unidades de GD, uma vez que, devido à proximidade com os centros de consumo, as perdas de energia, a complexidade da infraestrutura e os custos para transmissão e distribuição são reduzidos^{3,4}.

Segundo um relatório publicado pela BloombergNEF (2023)⁵, no qual foi analisado a atratividade dos investimentos em energias renováveis das 110 principais economias em desenvolvimento, destacaram-se a Índia, China, Chile, Filipinas e Brasil, os quais preveem investimentos recordes para uma transição energética, sendo que, a energia eólica ainda demanda medidas coordenadas que atinja os objetivos e metas, diferentemente da energia fotovoltaica que está mais próxima de atingir os objetivos traçados. Ainda segundo o relatório, uma das metas consiste em triplicar as energias renováveis até o ano de 2030 e ter uma capacidade instalada de 11 terawatts (TWs), o que representaria o alcance de emissão zero de carbono (“net-zero”) até 2050, do ponto de vista global.

A grande quantidade de unidades de GD conectadas às redes de distribuição tem sido objeto de estudos a fim de compreender os impactos de tais conexões, uma vez que, as linhas que anteriormente foram projetadas para serem utilizadas com o único intuito de distribuir a energia às unidades consumidoras, ou seja, contavam com o fluxo de potência em apenas um sentido, passaram a contar com o fluxo duplo de sentido da potência em virtude das diversas unidades geradoras de energia elétrica^{3,4,6}. O sentido reverso da potência pode ser o responsável por problemas de controle de tensão, níveis de curto-circuito, perdas de energia, operação ilhada, redução da qualidade da energia, a ineficiência dos demais sistemas de proteção e segurança da rede, entre outros problemas⁷.

Segundo Guerreiro (2022)⁸, diretor geral do Centro de Pesquisa de Energia Elétrica (Cepel), as linhas de transmissão e distribuição do Sistema Interligado Nacional (SIN) não foram capazes de acompanhar as inovações apresentadas pelo setor de energia nos últimos 50 anos, além disso, as atualizações realizadas nos geradores e transformadores foram pequenas, mantendo-os parecidos com os equipamentos mais antigos. Ainda segundo este autor, é preciso atualizar o setor elétrico brasileiro, modernizar as instalações de transmissão e distribuição, e investir em infraestruturas mais tecnológicas. Ideia semelhante é defendida por Miller (2017)⁹, o qual diz que os investimentos tradicionais destinados ao reforço de rede, como a troca

do cabeamento por outro de seção maior e a substituição do transformador por um de maior potência, não serão capazes de solucionar os problemas crescentes identificados pelas concessionárias de energia.

Portanto, em virtude do crescimento acelerado da quantidade de unidades de GD conectadas às redes de distribuição, os problemas ocasionados pela condução da potência em duplo sentido demandam que sejam realizadas modernizações nas linhas de transmissão e nos sistemas de proteção da rede, assim, espera-se que os investimentos previstos para os próximos anos sejam capazes de atender as demandas crescentes. Nesse contexto, este trabalho irá apresentar um estudo dos impactos e soluções causados pelas unidades de GD nas linhas de transmissão e distribuição, encontrados na literatura.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O presente artigo foi desenvolvido a partir de análises realizadas com o intuito de identificar os impactos causados pela ligação de unidades de geração distribuída às redes de distribuição de energia elétrica. Para isso, observou-se bases bibliográficas como teses, dissertações, monografias, revistas científicas, artigos científicos e resoluções normativas elaborados por profissionais da área, nos quais, além dos problemas identificados e dos riscos envolvidos, será apresentado algumas das demandas necessárias para que tais problemas sejam amenizados. Por fim, além das vantagens de diversificação da matriz energética, também será compreendido alguns dos benefícios que a GD pode proporcionar para os sistemas de distribuição.

Apesar de se tratar de um tema relativamente novo, uma vez que, tais pesquisas começaram a ser realizadas em virtude do crescimento da empregabilidade de fontes de energia renovável *on-grid*, para que os dados apresentados neste artigo fossem os mais atuais, deu-se preferência às referências bibliográficas publicadas mais recentemente.

Em vigor desde abril de 2012, a Resolução Normativa ANEEL n° 482/2012 prevê que todos os brasileiros podem gerar a energia elétrica, através de fontes renováveis, que será autoconsumida no local da instalação, podendo injetar o excedente na rede de distribuição da concessionária que atende a região para posterior compensação, desde que seja a mesma unidade consumidora ou em outras de mesma titularidade. Ainda segundo essa lei, a geração distribuída pode ser classificada em microgeração, quando a potência instalada se limita a 75 quilowatts (kW) e minigeração, quando a potência varia entre 75kW e 3MW, com a possibilidade de chegar a 5MW em casos específicos, conforme determinado pelo art. 1° da lei n° 14.300/2022¹⁰.

Estes sistemas de geração distribuída podem ser aprovados e conectados em padrões de energia existentes, desde que, a potência a ser instalada não exceda a carga disponível na unidade consumidora. Nos casos em que é necessário o aumento de carga,

toda a documentação a ser apresentada, assim como os possíveis encargos financeiros gerados, são de responsabilidade do acessante. Por outro lado, quando não há um padrão de energia existente, o acessante deve solicitar um parecer de acesso para a concessionária e, além dos custos de adequações da rede, a montagem do padrão de energia, seguindo as normas técnicas, também é de responsabilidade do solicitante.

Nos casos em que a potência instalada exceda 75kW e o sistema passa a ser caracterizado como minigeração, enquadrando-se como grupo tarifário “A”, no qual é necessário a contratação de uma demanda igual ou superior a carga instalada e, para a conexão com a rede de distribuição, o padrão de entrada deve conter dispositivos como ao menos um

transformador elevador, disjuntores, relés, transformadores de corrente (TCs) e transformadores de potência (TPs).

Além das determinações relacionadas às limitações de potência instalada, a Copel (Companhia Paranaense de Energia) expõe normas acerca das condições para o acesso a microgeração e minigeração distribuída, entre elas a NTC 905200, as quais estão em conformidade com as normas descritas pela resolução normativa ANEEL n° 956 (2021)¹¹ do Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST). Entre os requisitos apresentados neste documento, estão os parâmetros para a conexão de um sistema de GD (Tabela 1), variando de acordo com a potência em questão.

Tabela 1. Requisitos mínimos para a conexão de um sistema de geração distribuída

POTÊNCIA INSTALADA DA MICROGERAÇÃO OU MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA		
DISPOSITIVO	MENOR OU IGUAL A 75KW	MAIOR QUE 75KW
Acoplamento	Nenhum	Transformador de interface com isolamento galvânica
Seccionamento	Disjuntor termomagnético	Chave seccionadora acessível
Interrupção	Dispositivo de interrupção automática	Dispositivo de interrupção automática
Proteção	Conjunto de funções de proteção que produza uma saída capaz de operar na lógica de atuação do elemento de interrupção	Conjunto de funções de proteção que produza uma saída capaz de operar na lógica de atuação do elemento de interrupção
Medição	Medidor de energia ativa bidirecional	Medidor de energia em 4 quadrantes

Fonte: Adaptado de PRODIST (2023)¹¹

Ainda sobre a Tabela 1, caso a unidade consumidora possua um transformador capaz de atender a microgeração ou minigeração distribuída, não se faz necessária a instalação de um transformador com isolamento galvânica para uso exclusivo do sistema de GD. Além disso, ambos os elementos de seccionamento são necessários para que seja possível a desconexão física de todos os condutores da usina, assim como os elementos de interrupção (contatores e relés), que devem ser instalados junto do sistema gerador a fim de garantir a desconexão entre a rede de distribuição e as instalações elétricas para a proteção da mesma. Por fim, os medidores bidirecionais devem seguir os requisitos estabelecidos pela resolução normativa da ANEEL n° 1.059 (2023)¹² e ter a capacidade mínima de diferenciar a energia ativa consumida e injetada pela unidade consumidora.

Apesar dos benefícios citados anteriormente e as projeções de crescimento dos investimentos em GD, a inclusão dessas instalações é um dos responsáveis pelo desenvolvimento de consequências financeiras e técnicas para os sistemas de distribuição das concessionárias de energia.

As funções de proteção necessárias para a GD variam de acordo com a potência instalada e geralmente são incorporadas nos inversores, os quais são submetidos a ensaios e seguem padrões nacionais, que também são replicados no PRODIST e seguidos pelas concessionárias de energia.

Além disso, as funções de proteção contra curto-circuito e contra o anti-ilhamento podem ser garantidos através da instalação de um disjuntor termomagnético. Na Tabela 2, apresentada a seguir, está discriminado as funções de proteção necessárias, variando de acordo com a potência do sistema de micro e minigeração distribuída.

Tabela 2. Funções de proteção necessárias para o sistema de geração distribuída

POTÊNCIA INSTALADA DA MICROGERAÇÃO OU MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA			
FUNÇÃO DE PROTEÇÃO	CÓDIGO ANSI	MENOR OU IGUAL A 75KW	MAIOR QUE 75KW
Subtensão	27	Sim	Sim
Sobretensão	59	Sim	Sim
Subfrequência	81U	Sim	Sim
Sobrefrequência	81°	Sim	Sim
Contra o desequilíbrio de corrente entre fases	46	Sim	Sim

POTÊNCIA INSTALADA DA MICROGERAÇÃO OU MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA			
Contra a reversão e desequilíbrio de tensão	47	Sim	Sim
Contra curto-circuito	50/50N	Sim	Sim
Seletiva contra curto-circuito	51/51N	Sim	Sim
Proteção anti-ilhamento	-	Relé de detecção de ilhamento	Relé de detecção de ilhamento
Função de verificação de sincronismo	25	Sim	Sim
Função de espera de tempo de reconexão	62	Sim	Sim

Fonte: Adaptado de PRODIST (2023)¹¹

A operação e manutenção da rede pode ser comprometida quando não há dispositivos com a função anti-ilhamento, ou seja, a capacidade de desligar o sistema de geração em caso de apagões, quedas de energia e interrupções para manutenção da rede. Essa função de proteção visa aumentar a segurança para os dispositivos eletrônicos conectados na rede elétrica e para operadores que são responsáveis pela realização de manutenções, uma vez que, nessas circunstâncias, os sistemas de GD param de injetar energia na rede¹³.

Além destas, as concessionárias de energia também não podem permitir que o potencial de geração dos sistemas de GD seja maior que a potência do transformador correspondente ao local de instalação, o que poderia acarretar no fluxo reverso de energia, ou seja, o retorno da energia gerada e não escoada para nenhuma unidade consumidora ao transformador. Para isso, além das proteções internas do inversor, as empresas de energia devem adotar dispositivos de proteção para monitorar a tensão e corrente na rede, controlar a quantidade de energia injetada, impedir a operação ilhada dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede, interromper o fornecimento de energia do inversor para a rede, garantir a maximização da utilização da energia fotovoltaica na unidade consumidora e aumentar a confiabilidade da rede de distribuição de energia¹³.

Por fim, diante das circunstâncias apresentadas, a redução dos impactos relacionados a conexão de geradores de energia nas redes de distribuição está diretamente ligada ao controle e monitoramento do sistema, dos dispositivos de proteção e da qualidade de energia fornecida pela concessionária de energia elétrica, sendo que, os dados coletados devem ser carregados em um sistema integrado que permita a análise e constatação dos pontos que demandam manutenção e reforço de rede¹³.

3. DESENVOLVIMENTO

O Brasil, diferentemente dos países do hemisfério norte, onde existe a predominância de geração térmica, desenvolveu um parque gerador de energia com grandes usinas centralizadas, predominantemente as hidrelétricas, com isso, houve a necessidade da construção de complexos sistemas de transmissão para que a energia pudesse ser escoada e distribuída para todas as regiões do país. A construção de grandes sistemas de transmissão em corrente alternada e

contínua trouxe a necessidade da adoção de meios para diminuir as perdas de energia que ocorrem nas mais extensas linhas que compõem o Sistema Interligado Nacional (SIN)¹⁷.

A Figura 1 representa a composição do sistema de geração, transmissão e distribuição do Brasil, sendo que, neste caso, houve a inserção de um sistema de GD conectado à rede¹⁷.

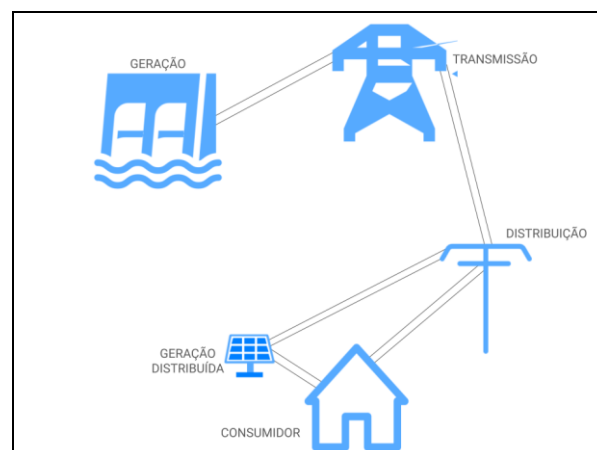


Figura 1. Rede de geração, transmissão e distribuição do Brasil. Fonte: Alfonso (2021)¹⁶

Com a implantação e conexão dos sistemas de geração distribuída nas redes das concessionárias, seja para autoconsumo ou geração compartilhada, as agências reguladoras passaram a determinar parâmetros e regras para garantir a segurança das redes, dos sistemas conectados e dos operadores do sistema¹⁷.

Em concordância com o exposto no decorrer deste trabalho, dentre os problemas gerados pelo aumento da quantidade de unidades geradoras conectadas nas redes de distribuição, está a ocorrência de sobretensões, que tendem a prejudicar a qualidade da energia elétrica. Além disso, comportamentos intermitentes, oriundos principalmente de geradores solares e eólicos, que dependem de fatores ambientais como a irradiação solar e a ocorrência de ventos, tendem a causar problemas operacionais como a violação dos níveis de tensão, chaveamento de *taps* dos reguladores de tensão e dos bancos de capacitores³.

A partir do contexto da inserção de unidades de GD, em uma simulação realizada no software *Open Distribution System Simulator* (OpenDSS) considerou-se o aumento gradativo de geradores fotovoltaicos em 51 unidades consumidoras. Ao se analisar os resultados, foi possível constatar que, à medida que há

um aumento de unidades de GD conectadas, a tensão no enrolamento secundário do transformador também aumenta, ocasionado pelo fluxo reverso de potência ativa injetada pelos inversores fotovoltaicos³. Além disso, nos horários do dia em que se constata a máxima geração de energia, o fator de simultaneidade é baixo, uma vez que, o consumo de energia é baixo se comparado aos índices de geração, com isso, a tensão no ponto de conexão aumenta, acompanhando o alto fluxo de potência ativa injetada³.

Em contrapartida, apesar de não haver a violação do limite superior de potência, determinado pelo Prodist, foi possível observar que com a inserção simulada das 51 unidades consumidoras, foi possível observar que o fluxo reverso de potência é superior à potência nominal do transformador, gerando uma sobrecarga no mesmo³.

Conforme apresentado anteriormente, o fator de simultaneidade está atrelado à fração da energia gerada e autoconsumida pela unidade consumidora (UC), neste caso, o medidor bidirecional instalado na entrada de energia não contabiliza toda a energia consumida na UC durante o dia, havendo o registro apenas da energia que não foi consumida instantaneamente. Entretanto, conforme apresentado pela Figura 2, o consumo residencial tende a apresentar um fator de simultaneidade baixo, isso se dá pelo fato de que, o período compreendido entre as 11h e 13h é o que apresenta maior potencial de geração de energia, entretanto, as demandas de energia apresentam os maiores níveis entre as 18h e às 20h, período do dia no qual não há geração de energia¹⁸.

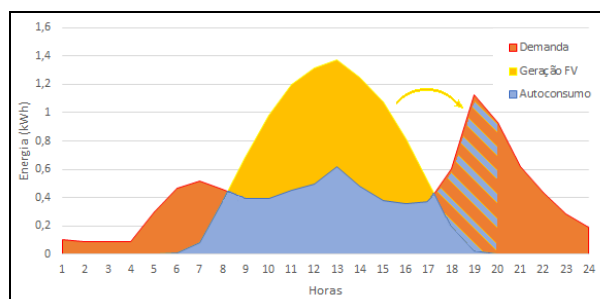


Figura 2. Demanda X capacidade de geração de energia. **Fonte:** Nascimento (2019)¹⁹

Diferentemente das unidades residenciais, cuja relação entre demanda de energia, índice de geração e consumo instantâneo fora apresentado na Figura acima, as empresas apresentam um fator de simultaneidade maior, ou seja, a grande quantidade de equipamentos ligados faz com que o consumo de energia durante o dia seja maior, assim como os potenciais níveis de geração de energia elétrica¹⁸.

As milhares de unidades de GD injetando energia simultaneamente é um desafio para o atual sistema de distribuição de energia elétrica. De acordo com Quezada, Abbad e Román (2006)²⁰, a geração distribuída, quando implantada em pequenas quantidades, é capaz diminuir as perdas de energia a partir do controle do fluxo de energia, entretanto, a concentração destes sistemas tende a fazer com que as

perdas apresentem uma característica em forma de “U”, ou seja, as perdas tendem a diminuir até determinado ponto, voltando a crescer com o aumento da conexão de sistemas de GD.

Ainda de acordo com os autores, os impactos positivos e as perdas de energia apresentam diferentes comportamentos, variando de acordo com a tecnologia analisada. Exemplo disso são os aerogeradores, que apresentam o comportamento mais intermitente dentre as tecnologias estudadas, dada as características de maior variabilidade e pela dependência mais específicas de determinadas condições climática, diferentemente dos geradores fotovoltaicos que apresentam a curva mais característica em relação aos horários e índices de irradiação do dia²⁰.

Além dos impactos na qualidade da energia elétrica e das alterações dos parâmetros de tensão, a conversão de corrente contínua em corrente alternada pelo inversor gera um grande número de harmônicas, os quais deverão ser absorvidos pela rede a qual o sistema estiver conectado¹³.

Além dos problemas citados anteriormente, as concessionárias de energia devem ainda adotar medidas a fim de evitar o fluxo reverso de energia nas redes de distribuição, ou seja, impedir que a energia injetada pelas unidades de geração distribuída supere as cargas demandadas pelas unidades consumidoras circunvizinhas do ponto de conexão resultando em um fluxo de potência para diversos pontos da rede, incluindo a subestação.

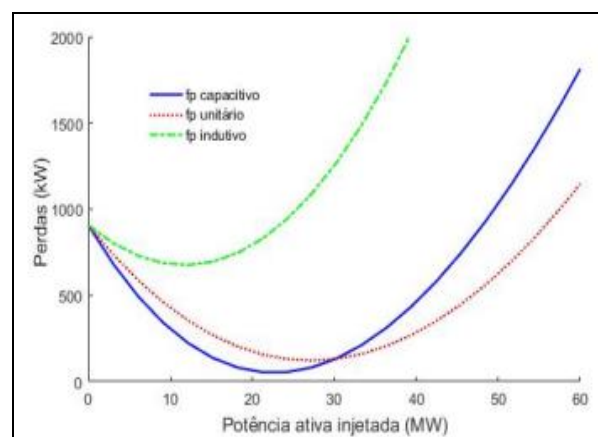


Figura 3. Simulação de perdas de energia causada pela inserção de sistemas de GD. **Fonte:** Tonhá e Alves (2018)²¹

Em um estudo realizado por Tonhá e Alves (2018)²¹, por meio do software OpenDSS, realizou-se a simulação de uma rede de distribuição de 18km de extensão, sendo que, a Barra 1 é onde foi instalada a subestação e a Barra 2 com uma carga de 27MW e onde foi inserida a GD. Após a simulação, constatou-se que as perdas são exponenciais quando a mesma supre a carga demandada no ponto de conexão do gerador, com o gráfico apresentando uma curva em forma de “U”, conforme a Figura 3.

O gráfico da Figura acima mostra ainda que, o potencial mínimo de perda para a GD operando com fator e potência unitário ocorre nas proximidades do valor da carga trifásica de 27MW situada na barra 2²⁰.

As flutuações de tensão, causadas pela instabilidade da potência de saída, são responsáveis pela diminuição da qualidade da energia elétrica fornecida pelas concessionárias de energia, geram a falta de confiabilidade nos sistemas de distribuição e colocam em risco a operação estável da rede elétrica. Ideia corroborada por Silva (2022)⁸, o qual destaca que o setor elétrico foi regulado visando a subtensão, entretanto, a grande concentração de ponto de GD em uma área central faz com que haja o surgimento de problemas com sobretensão em níveis que as redes e os procedimentos desenvolvidos pelas concessionárias não são aptos a enfrentar.

Na maior parte dos casos de instalação de GD, as unidades se comportam ora como consumidores, ora como geradores, com isso, a variação do fluxo de potência causado pela variação do fluxo da energia pode sobrecarregar os transformadores, elevar as perdas de energia e causar problemas na regulação da tensão¹⁴.

O monitoramento das redes de distribuição de energia visa gerar maior confiabilidade na rede e antecipar eventuais problemas, entretanto, para os operadores do sistema, é difícil o acompanhamento do funcionamento simultâneo da rede através de medidores convencionais de energia. Por outro lado, a supervisão, em tempo real, das flutuações de tensão, harmônicas na rede, frequência, potência reativa e qualidade de energia, podem ser feitos pelos próprios inversores, cujas funções são certificadas pelo INMETRO. Outro meio para a constatação das alterações de parâmetros citados anteriormente, está na implementação de medidores inteligentes de energia, também chamados de *smart meters*, que são capazes de registrá-los para posterior conferência, além de possuir outras funções, como o registro bidirecional de energia, o histórico de consumo e geração da unidade consumidora e o controle, de forma remota, para o corte e realimentação das instalações elétricas^{6,13,15}.

De acordo com um estudo realizado por Alfonso (2021)¹⁶, no qual foram analisados os impactos causados pela GD sob diferentes dimensões, as quais incluem dimensões ambientais, econômicas, sociais e técnicas, sendo a última, a que apresenta o maior agrupamento de fatores, como a confiabilidade da rede, perdas de energia, alterações dos parâmetros de tensão, falhas da rede, armazenamento, infraestrutura, congestionamento, oferta, demanda e intermitência.

Ainda de acordo com o autor, apesar de todo o ônus gerado pela inserção de unidades de GD nas redes de distribuição, estes sistemas possuem o potencial de diminuir as perdas de energia inerentes aos sistemas de transmissão e distribuição, isso se dá pelo fato de que, como os sistemas de geração encontram-se instalados nos centros de consumo, as perdas geradas nos processos de transmissão são menores¹⁶.

Segundo um estudo realizado por Santos (2017)²², a redução da qualidade da energia fornecida pelas concessionárias de energia são consequências das distorções harmônicas provocadas pela grande

penetração de geração distribuída fotovoltaica. Com isso, os inversores utilizados para a conexão dos sistemas geradores à rede devem incorporar circuitos de proteção que garantam a qualidade da energia. Segundo o autor, os principais parâmetros analisados são as variações de tensão, distorções harmônicas da linha e fator de potência.

De acordo com uma modelagem realizada por Santos (2017), através do software MATLAB/SIMULINK, cujo intuito foi constatar o comportamento de uma rede de média tensão com presença de micro e minigeração distribuída, foi possível identificar distorções harmônicas e assim analisar o nível de interferência total. Ainda segundo o autor, em todos os casos analisados ocorreu um aumento da influência da GD na geração total de energia requerida pelo sistema, além disso, tal circunstância foi observada sob diferentes aspectos, como no aumento de unidades geradoras fotovoltaicas conectadas à rede, com o aumento da geração de energia por essas unidades e a com diminuição da carga conectada as linhas. O autor conclui que, apesar de todos os aspectos benéficos, a inserção de sistemas de GD demanda análises sistemáticas para garantir que a conexão destes, não prejudique a energia fornecida e que a mesma atenda os parâmetros de qualidade exigidos pelos órgãos reguladores²².

Seguindo a mesma linha de pesquisa, através do software OpenDSS, os autores Schimidt, Sperandio e Ney (2022)²³ realizaram duas simulações de inserção de um sistema fotovoltaico de 75kW conectado ao barramento de uma carga trifásica de 225kW de FP igual a 0,92 indutivo. A primeira simulação realizada considerou parâmetros internacionais dispostos na IEEE 519-2024, enquanto a segunda simulação, utilizou os dados de um inversor da fabricante ABB, que possui as autorizações para a comercialização no Brasil. A análise dos resultados foi feita considerando os dados de consumo e geração próximos às 12h, horário de máxima geração, sendo assim o pior caso a se observar.

Após realizada todas as simulações, os autores avaliaram que no primeiro cenário o impacto no FP de potência foi considerável, com variações aproximadas de 15%. No entanto, considerando o inversor comercial, as inserções de harmônicas ficaram abaixo do nível máximo permitido, representando cerca de 1% de variação no FP²³.

Por fim, conforme apresentado na figura 4, os autores concluíram que as harmônicas causaram reduções mínimas do FP da rede, com parâmetros que não são preocupantes para as linhas mais novas. Por outro lado, as simulações mostram que, caso os inversores fotovoltaicos comercializados no Brasil seguissem normativas internacionais, o impacto causado no FP da rede seria considerável²³.

Conforme citado anteriormente, o alto fluxo reverso de potência pode potencializar as perdas de energia, assim, seguindo a mesma linha de pesquisa dos autores referenciados anteriormente, Corrêa (2020)²⁴ analisou

os impactos da GD fotovoltaica em sistemas de distribuição de energia. Segundo o autor, a inserção dos sistemas geradores auxilia no atendimento da demanda de energia da linha na qual está conectada, podendo diminuir os padrões de queda de tensão da rede.

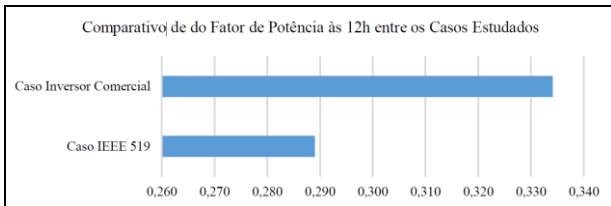


Figura 4. Comparativo do FP entre os casos estudados. **Fonte:** Schmidt, Sperandio e Ney (2022)²³

A Figura 5 representa o comportamento da variação da tensão em uma rede de distribuição sem a conexão de GD, enquanto a Figura 6 representa uma rede com a inserção de unidades de GD, podendo-se constatar uma queda de tensão menor do que na primeira situação.

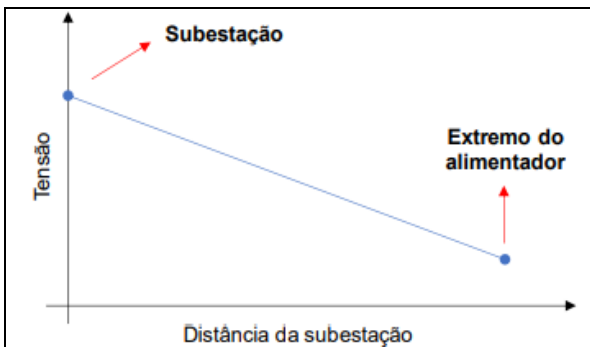


Figura 5. Comportamento da tensão da rede sem GD. **Fonte:** Corrêa (2020)²⁴.

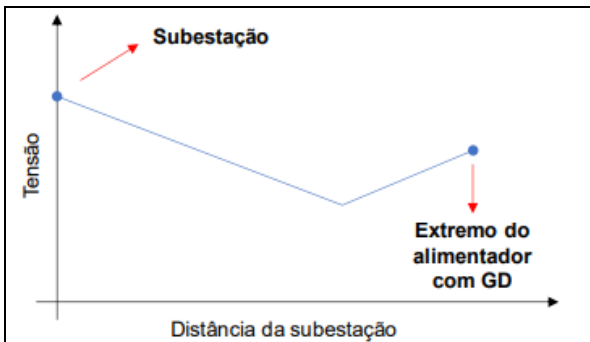


Figura 6. Comportamento da tensão da rede com GD. **Fonte:** Corrêa (2020)²⁴

Ainda no trabalho de Corrêa (2020)²⁴ foi utilizado o software OpenDSS e a linguagem de programação Python, o que possibilitou a realização de diversas simulações em sequência. O primeiro estudo de caso apresentado fez uso de um sistema IEEE 13 barras, representado na Figura 7, cujo objetivo foi analisar os impactos gerados pela conexão de diversos cenários de GD em um sistema pequeno. O resultado apresentado foi a violação de tensão apenas na barra de conexão do sistema de geração, ocorrendo em apenas um horário do dia²⁴.

O segundo estudo de caso apresentado fez uso das configurações de um alimentador real do sistema de distribuição brasileiro, na qual foram realizadas um

total de 152 simulações diárias, sendo 150 considerando cenários estocásticos, 1 cenário sem GD e 1 cenário com uma geração referência. Neste cenário, 89 das 150 simulações apresentaram violações e tensão em alguns horários do dia²⁴.

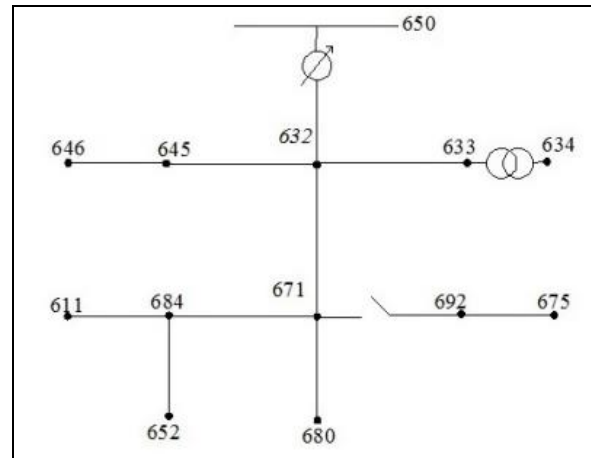


Figura 7. IEEE 13 barras. **Fonte:** Tonhá e Alves (2018)²¹

O estudo conclui que o cenário de múltiplos sistemas de GD poderia ser adotado pelas concessionárias de energia para a identificação dos impactos da conexão dos sistemas geradores de energia, avaliar a necessidade de novos investimentos para reforço de rede e auxiliar no planejamento de conexão de novos sistemas²⁴.

Aplicando uma metodologia semelhante, Silva (2023)²⁵ realizou uma simulação para estudar parâmetros de coordenação e seletividade entre religadores e fusíveis na presença de sistemas de GD. Assim como o estudo anterior, fez-se a opção pela utilização de um sistema de teste composto de 13 barras do IEEE, entretanto, o autor ressalta que apesar da quantidade reduzida de barras o modelo é completo, sendo válido para testes e simulações em sistemas de distribuição.

Em razão da crescente implementação, a fonte de GD utilizada foi um sistema com a tecnologia fotovoltaica cuja carga considerada na simulação foi de 3MW para cada um dos sistemas, sendo conectado em algumas das barras do sistema IEEE. A primeira simulação realizada considerou um sistema original, sem a inserção de sistemas de GD, a fim de determinar a corrente de curto-circuito no ponto de falta, tido em todas as simulações como sendo a barra 684 e compará-lo após a ligação dos sistemas de geração fotovoltaica.

O resultado das primeiras simulações determinou que a inserção de um sistema de GD resultou na elevação da corrente de curto-circuito nas redes monofásicas e bifásicas em aproximadamente 5% e 8% respectivamente²⁵.

Em um segundo momento, fez-se a inserção de uma segunda fonte de GD, conforme a Figura 8, resultando no dobro da potência ativa, o que causou a elevação da corrente de curto-circuito em 11% e 14% nas redes monofásicas e bifásicas respectivamente. Além disso, verificou-se que, quanto maior a quantidade de sistema

de GD, maior a corrente de curto-circuito, entretanto, o crescimento em questão não apresenta um padrão de comportamento uma vez que, dependem de fatores externos e internos ao sistema fotovoltaico²⁵.

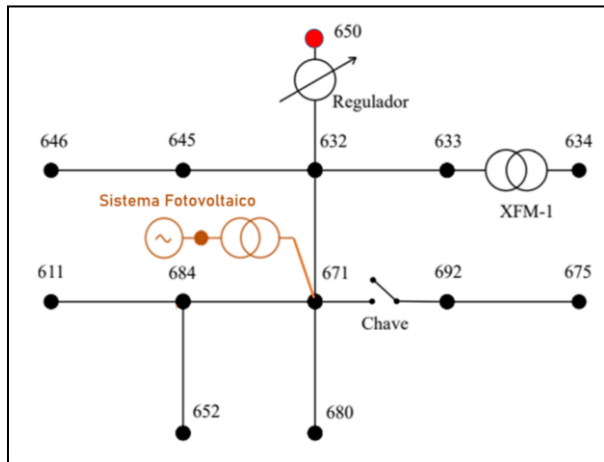


Figura 8. IEEE 13 barras com uma unidade de GD. **Fonte:** Adaptado de Silva (2023)²⁵

O autor conclui que a conexão de sistemas geradores contribui para a elevação dos níveis da corrente de curto-circuito, impactando diretamente na coordenação e seletividade dos sistemas de proteção, ou seja, caso o fusível da rede seja coordenado por um religador próximo do limite de corrente de curto-

circuito, o elo pode entrar em fusão no momento da primeira abertura de contato do religador, deixando todas as unidades consumidoras conectadas à esta parte da rede sem o fornecimento de energia elétrica²⁵.

Por outro lado, Silva (2023)²⁵ destaca que a conexão de sistemas de GD em pontos nos quais há um maior consumo de energia auxiliam no fornecimento de energia e podem aliviar a potência demandada da subestação. Entretanto, quando a geração é maior que a demanda de energia, o fluxo de corrente oposto ao convencional resulta na injeção de potência ativa na

rede, alterando a característica de proteção proposta para o sistema.

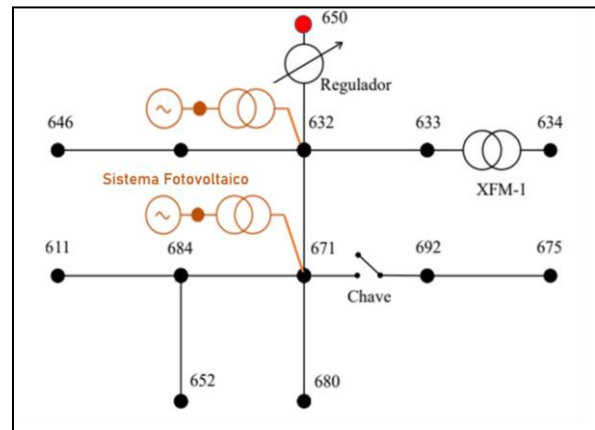


Figura 9. IEEE 13 barras com duas unidades de GD. **Fonte:** Adaptado de Silva (2023)²⁵

4. DISCUSSÃO

Conforme apresentado no desenvolvimento deste trabalho, os impactos resultantes da conexão de sistemas de GD podem ser positivos ou negativos, ou seja, irão depender das características da rede conectada, da potência instalada, da demanda de consumo existente na região, dentre outros fatores. Entretanto, na tabela abaixo foram apresentados alguns dos resultados e conclusões dos trabalhos referenciados no decorrer deste artigo.

De acordo com Guerreiro (2022)⁸, existe a necessidade de maiores renovações e atualizações no setor elétrico brasileiro, destacando medidas como a substituição das instalações antigas por arquiteturas digitais, investimentos em sistemas de aquisição de dados, investimento em infraestrutura de tecnologia da informação (TI), foco em cibersegurança, inteligência artificial (IA) e capacitação de profissionais.

Tabela 3. Funções de proteção necessárias para o sistema de geração distribuída

Autoria	Estudo	Conclusão
BRITO, Leonardo <i>et al.</i> ³	Simular o impacto causado pela conexão de geradores fotovoltaicos em 51 unidades consumidoras.	À medida que são implementados sistemas de GD, a tensão e o fluxo reverso de energia aumentam, apesar de não violarem o limite de potência determinado pelo Prodist.
QUEZADA, V.H.M; ABBAD, J.R.; ROMAN, T.G.S. ²⁰	Analisar os potenciais níveis de perda de energia em virtude da GD.	Os sistemas de GD podem diminuir as perdas de energia através do controle do fluxo de potência, entretanto, a concentração destes sistemas faz com que as perdas aumentem, apresentando comportamento semelhante à letra “U”.
TONHÁ, Henrique Mesquita; ALVES, Antonio César Baleeiro ²¹	Analisar o comportamento das perdas com o aumento de sistemas de GD conectados.	A simulação de uma rede de distribuição apresentou um crescimento das perdas quando a energia injetada supera a energia demandada.
MOREIRA, Bruno; LIMA, Flávia ⁸	Impacto dos sistemas de geração de energia nas redes de distribuição.	A elevação do fluxo de energia pode sobrecarregar os transformadores, causar sobretensão e problemas nos reguladores de tensão resultado na potencialização das perdas de energia.
LAMPROPOULOS, Ioannis; VANALME, Greet M. A.; KLING, Wil L. ¹⁴		
SANTOS, Lucas Caus ²²	Estudo sobre a redução da qualidade da energia em virtude	Após as simulações realizadas, constatou-se que a conexão de sistemas de micro e minigeração aumentou a ocorrência de distorções harmônicas na rede.

	de harmônicas em uma rede de média tensão.	O autor conclui que apesar dos pontos positivos é necessário garantir que a energia distribuída não seja prejudicada.
Autoria	Estudo	Conclusão
SCHMIDT, Fernando H. G.; SPERANDIO, Mauricio; NEY, Rafael Crochemore ²³	Simulações sobre a ligação de um sistema de 75kW no barramento de uma rede de distribuição.	Concluiu-se que caso as normas internacionais fossem seguidas no Brasil as perdas de energia seriam maiores, entretanto, seguindo os parâmetros brasileiros, a inserção de um sistema de GD não causou grandes impactos no fator de potência da rede.
CORRÊA, Camila Schuck ²⁴	Simulação de um sistema IEEE 13 barras com sistemas de GD.	Houve a violação de tensão em 89 das 150 simulações realizadas, sendo percebidas em alguns horários do dia.
SILVA, Bruno Carolino de Paula ²⁵	Simular parâmetros de coordenação e seletividade entre religadores e fusíveis na presença de sistemas de GD.	A conexão de sistemas geradores contribui para a elevação dos níveis da corrente de curto-circuito, impactando diretamente na coordenação e seletividade dos sistemas de proteção. Entretanto, segundo o autor, sistemas de GD tem o potencial de diminuir a demanda de energia da subestação.

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Segundo Santos (2022)⁸, os custos para que as concessionárias de energia lidem com a GD serão repassados integralmente aos consumidores finais, afetando principalmente aqueles que não se beneficiam da geração da própria energia. Ainda segundo a pesquisadora, a regulação precisa acontecer, principalmente em virtude da migração acelerada de empresas para o mercado livre, diminuindo os custos fixos dos consumidores e a arrecadação das concessionárias de energia.

As inovações adotadas pelas concessionárias de energia visam acompanhar as novas tecnologias de geradores fotovoltaicos e eólicos, uma vez que, quanto mais unidades conectadas às redes, alterações nos parâmetros de flutuação de tensão, violação dos níveis de tensão, problemas com reguladores e bancos de capacitores tendem a crescer. Entretanto, segundo alguns autores, mencionados no decorrer deste artigo, as atualizações dos transformadores e a opção por cabos de maior seção apenas prorrogam alguns dos problemas que podem vir a ser gerados, segundo eles, existe a necessidade de tornar os sistemas mais eficientes, o que pode se dar pela implementação dos conceitos de internet das coisas (*IoT*), através de dispositivos inteligentes capazes de identificar alterações de parâmetros, realizar correções e reportar os dados para que sejam armazenados e analisados posteriormente.

5. CONCLUSÃO

A diversificação da matriz energética brasileira visa diminuir a necessidade de energia provida de fontes não renováveis de energia e que, por consequência, emitem grandes quantidades de gases poluentes na atmosfera, além de reduzir a demanda da construção de grandes usinas hidrelétricas, conseqüentemente, trazer mais segurança para a garantia do fornecimento de energia elétrica aos consumidores finais e diminuir os impactos gerados ao meio ambiente, seja pela emissão de substâncias poluentes na atmosfera ou por obras de grandes impactos ao meio ambiente, responsáveis por mudanças na biodiversidade destas regiões.

Desse modo, apesar dos benefícios gerados pela inserção de unidades de GD na matriz energética brasileiras, com destaque para os sistemas *on-grid*, os encargos causados pela injeção simultânea de energia,

provida de milhares de sistemas geradores é responsável por problemas nos sistemas de distribuição das concessionárias de energia, incluindo as linhas e os dispositivos periféricos.

Dentre as alterações de parâmetros que interferem na qualidade da energia ofertada pelas concessionárias de energia estão os problemas com controle de tensão, curto-circuito, perdas de energia, além de comprometer a segurança da rede para os equipamentos conectados e profissionais de manutenção, dentre outros.

Por fim, os problemas apresentados anteriormente são corroborados por profissionais e pesquisadores da área que, em decorrência de todo o ônus gerado pela conexão dos sistemas de GD nas linhas, os mesmos preveem a necessidade de investimentos cada vez mais massivos para o aprimoramento dos equipamentos e das linhas de transmissão e distribuição.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Faculdade de Ensino e Inovação Técnico Profissional – FEITEP e aos professores pelo comprometimento em proporcionar um ensino de excelência e auxílio durante a realização deste artigo.

7. REFERÊNCIAS

- [1] Çam E, Moloney J, Miranda FP. Iea Secretariat (org.). Electricity Market Report Update: outlook for 2023 and 2024. França, 2023; 44 p. International Energy Agency. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/electricity-market-report-update-2023>. Acesso em: 14 dez. 2023.
- [2] Empresa de Pesquisa Energética. Ministério de Minas e Energia (org.). Balanço Energético Nacional 2023: relatório síntese 2023. Brasil: [S.I.], 2023. 65 p. Ano base 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2023>. Acesso em: 14 dez. 2023.
- [3] Brito L, *et al.* Impactos da geração distribuída fotovoltaica na tensão elétrica de uma rede de distribuição em baixa tensão. O Setor Elétrico, São Paulo, p. 40-47, out. 2022. Trimestral. Disponível em: https://issuu.com/revistaosetoreletrico/docs/edicao_189_final_simples. Acesso em: 14 dez. 2023.
- [4] Falcão DM. Impacto da mini e microgeração distribuída nas redes de distribuição de energia elétrica. O Setor Elétrico, [S.I.], p. 148-149, set. 2013.

- Espaço IEEE. Disponível em: https://www.ieee.org.br/wp-content/uploads/2014/05/EspacoIEEE_set2013.pdf. Acesso em: 14 dez. 2023.
- [5] Mitri ME, *et al.* *ClimateScope 2023: power transition factbook*. 12. ed. [S.I.]: Bloombergnef, 2023. 80 p. Disponível em: <https://www.global-climatescope.org/>. Acesso em: 14 dez. 2023.
- [6] Matos D, Catalão JPS. *Geração Distribuída e os seus Impactos no Funcionamento da Rede Elétrica: parte 1*. Covilhã, p. 1-10, nov. 2013. Unpublished. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.4907.5048>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/268811175_Geracao_Distribuida_e_os_seus_Impactes_no_Funcionamento_da_Rede_Eletrica_Parte_1. Acesso em: 14 dez. 2023.
- [7] Luiz CM. *Avaliação dos impactos da geração distribuída para a proteção do sistema elétrico*. 2012. 154 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Eletrotécnica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012. Disponível em: <https://ppgee.ufmg.br/defesas/877M.PDF>. Acesso em: 14 dez. 2023.
- [8] Moreira B, Lima F. *Transmissão receberá aporte de R\$ 50 bi para escoar energia eólica e solar: a previsão é da empresa de pesquisa energética (epe) e considera o horizonte de 10 anos*. O Setor Elétrico, São Paulo, p. 8-15, abr. 2022. Trimestral. Disponível em: https://issuu.com/revistaosetoreletrico/docs/ed186_final_simples. Acesso em: 14 dez. 2023.
- [9] Miller T. *Fluxo de energia bidirecional: a nova ordem mundial e o que isso significa para a rede*. Ieee: Smart Grid. [S.I.], p. 1-1. nov. 2017. Disponível em: <https://smartgrid.ieee.org/bulletins/november-2017/two-way-power-flow-the-new-world-order-and-what-that-means-for-the-grid>. Acesso em: 14 dez. 2023.
- [10] Brasil. *Lei n. 14.300 de 06 de janeiro de 2022, 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 n. 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, DF, n. 5, p. 4 Disponível em: <https://in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.300-de-6-de-janeiro-de-2022-372467821>.
- [11] Agência Nacional de Energia Elétrica. *Resolução Normativa ANEEL N. 956: Estabelece os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST*. Brasil: [S.I.], 2021. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2021956.html>. Acesso em: 14 dez. 2023.
- [12] Agência Nacional de Energia Elétrica. *Resolução Normativa Aneel N. 1.059: Aprimora As Regras Para A conexão e o faturamento de centrais de microgeração e minigeração distribuída em sistemas de distribuição de energia elétrica, bem como as regras do sistema de compensação de energia elétrica*. Brasil: [S.I.], 2023. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/Cedoc/Ren20231059.Htm>. Acesso Em: 14 Dez. 2023.
- [13] Shisheng L. *The Influence and Countermeasures the Distributed Grid-Connected Photovoltaic Solution for Distribution Network*. 2018 China Internationa Conference On Electricity Distribution (Ciced), [S.I.], p. 2366-2374, set. 2018. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/ciced.2018.8592117>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8592117>. Acesso em: 14 dez. 2023.
- [14] Lampropoulos I, Vanalme GMA, Kling WL. *A methodology for modeling the behavior of electricity prosumers within the smart grid*. 2010 Ieee Pes Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (Isgt Europe), Gotemburgo, p. 1-8, out. 2010. Disponível em: IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/isgteurope.2010.5638967>. Acesso em: 06 fev. 2024.
- [15] Fortes MZ, *et al.* *Análise da adoção de medidores inteligentes como instrumento da política pública de eficiência energética*. Engevista, Niterói, v. 19, n. 2, p. 316-327, maio 2017. Disponível em: <https://periodicos.uff.br/engevista/article/view/9104>. Acesso em: 14 dez. 2023.
- [16] Alfonso TOS. *Análise sistêmica do impacto da geração distribuída no sistema de distribuição de energia*. 2021. 149 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.
- [17] Lima JWM. *Impacto da geração distribuída e renovável no sistema de transmissão: descompasso da expansão da geração com a da transmissão traz restrições na rede que interferem na operação do sin*. Descompasso da expansão da geração com a da transmissão traz restrições na rede que interferem na operação do SIN. 2023. Artigo publicado na 16ª edição Revista Canal Solar. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/impacto-da-geracao-distribuida-e-renovavel-no-sistema-de-transmissao/>. Acesso em: 01 maio 2024.
- [18] Barbosa JVF, Ornellas EBF. *Impactos da geração distribuída no sistema elétrico de potência*. 2022. Artigo apresentado à Escola de Ciências Exatas e Tecnológicas – UNIFACS. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/items/464809ca-c44d-422f-a104-cdcd663cae55>. Acesso em: 01 maio 2024.
- [19] Nascimento ADJ. *Geração fotovoltaica distribuída como elemento subsidiário para sistemas de armazenamento de energia em ambiente de tarifas diferenciadas*. 2019. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/215667>. Acesso em: 01 maio 2024.
- [20] Quezada VHM, Abbad JR., Roman TGS. *Assessment of Energy Distribution Losses for Increasing Penetration of Distributed Generation*. Ieee Transactions On Power Systems, [S.L.], v. 21, n. 2, p. 533-540, maio 2006. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/tpwrs.2006.873115>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1626356>. Acesso em: 30 abr. 2024.
- [21] Tonhá HM, Alves ACB. *Analysis of the impact of power maximizing strategy injected by GD on the distribution system*. 2018 Simposio Brasileiro de Sistemas Eletricos (Sbse), [S.L.], p. 1-6, maio 2018. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/sbse.2018.8395930>. Disponível em:

- <https://ieeexplore.ieee.org/document/8395930>. Acesso em: 30 abr. 2024.
- [22] Santos LC. Estudo da distorção harmônica provocada pela grande penetração de geração distribuída fotovoltaica. 2017. 84 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2017. Disponível em: https://ele.ufes.br/sites/engenhariaeletrica.ufes.br/files/field/anexo/lucas_caus_santos.pdf. Acesso em: 28 abr. 2024.
- [23] Schmidt FHG, Sperandio M, Ney RC. Avaliação do impacto de distorções harmônicas causadas por sistemas fotovoltaicos no fator de potência da rede elétrica de distribuição. In: IX Congresso Brasileiro de Energia Solar, 9., 2022, Florianópolis. Anais. Florianópolis: Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2022. p. 1-10. Disponível em:
- [24] <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/1240>. Acesso em: 30 abr. 2024.
- [25] Corrêa CS. Análise do Impacto da Geração Distribuída Fotovoltaica em Sistemas de Distribuição Utilizando Múltiplos Cenários de Geração com Discretização Intra-horária. 2020. 74 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopol10030391.pdf>. Acesso em: 01 maio 2024.
- [26] Silva BCP. Estudo do Impacto da Geração Distribuída na Coordenação de Proteção do Sistema de Distribuição. 2023. 63 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade, 2023.