

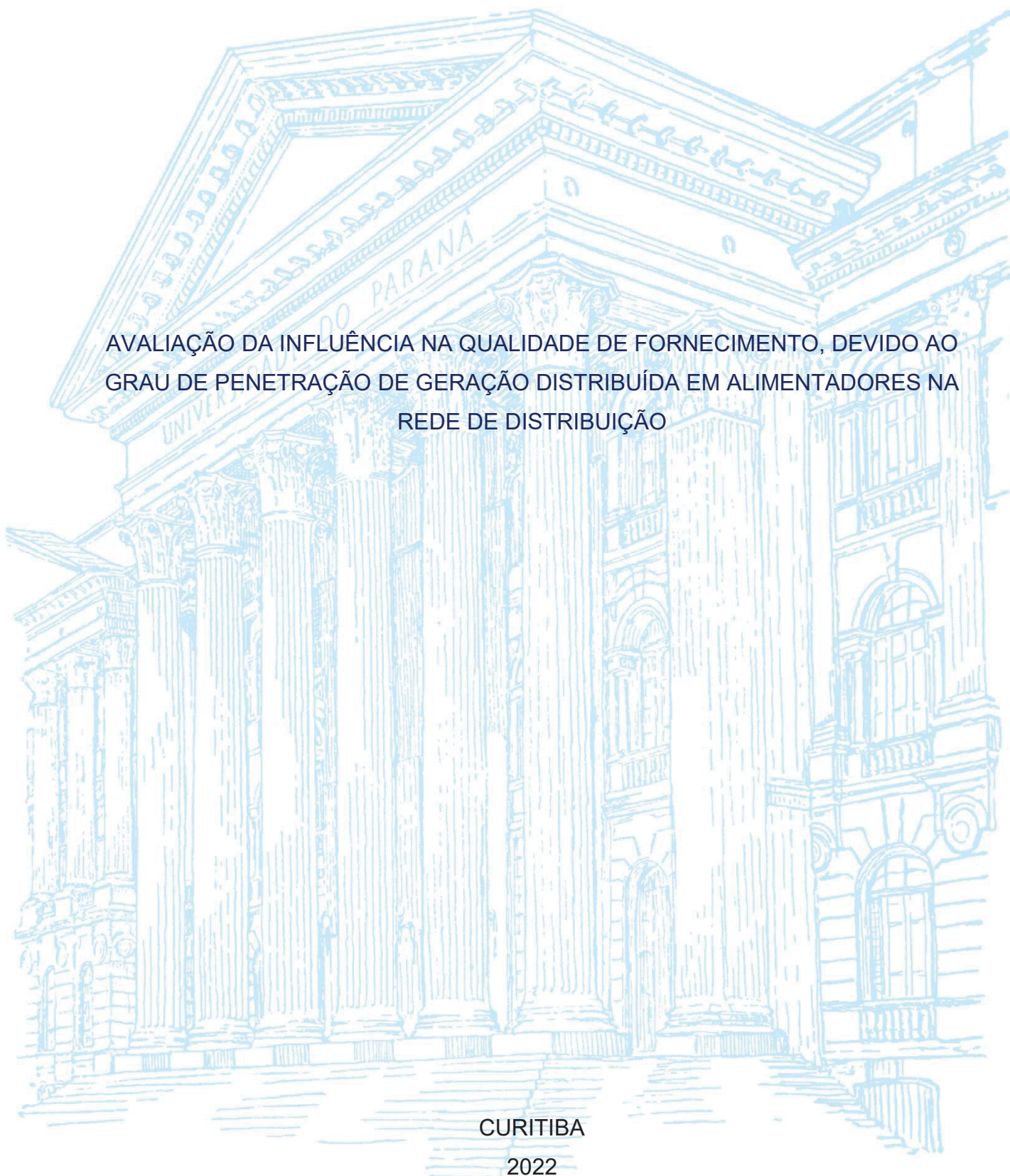
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

TIAGO XAVIER RODRIGUES

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA NA QUALIDADE DE FORNECIMENTO, DEVIDO AO
GRAU DE PENETRAÇÃO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM ALIMENTADORES NA
REDE DE DISTRIBUIÇÃO

CURITIBA

2022



TIAGO XAVIER RODRIGUES

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA NA QUALIDADE DE FORNECIMENTO, DEVIDO AO
GRAU DE PENETRAÇÃO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM ALIMENTADORES NA
REDE DE DISTRIBUIÇÃO

Monografia apresentada ao curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética e Geração Distribuída, Setor de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Eficiência Energética e Geração Distribuída.

Orientador: Prof. M.Sc. Janio Denis Gabriel

CURITIBA

2022



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

SETOR DE TECNOLOGIA

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

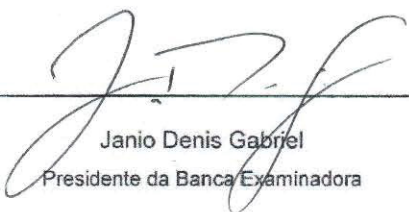
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GERAÇÃO DISTRIBUÍDA -
40001016317E1

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GERAÇÃO DISTRIBUÍDA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Monografia de Especialização de TIAGO XAVIER RODRIGUES intitulada: AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA NA QUALIDADE DE FORNECIMENTO, DEVIDO AO GRAU DE PENETRAÇÃO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM ALIMENTADORES NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de especialista está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 9 de abril de 2022.



Janio Denis Gabriel
Presidente da Banca Examinadora



Alexandre Rasi Aoki
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Prof. Dr. Alexandre Rasi Aoki
PROFESSOR DO DEPTO DE ENG. ELÉTRICA
Matrícula UFPR 200437

Dedico a todos que de alguma forma contribuíram para esta conquista.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Prof Msc Eng Janio Denis Gabriel, pelo apoio, dedicação e principalmente pela paciência.

A empresa onde trabalho COPEL DISTRIBUIÇÃO, pelo fornecimento de dados para o estudo e colegas pelo apoio sr. Eng Luiz Roberto de Mendonça Ferreira e sr. Msc Eng Danilo Turkievicz dos Santos.

Agradeço a todos os professores do curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética e Geração Distribuída, Setor de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, pela dedicação e empenho em repassar o conhecimento aqui adquirido.

Por fim agradeço minha família, principalmente minha esposa Mariana Rosa Gomes, pelo apoio em todas as minhas escolhas.

Tem bastante coisa para fazer, mas vai na fé que dá.

(GABRIEL, Janio, 2022)

RESUMO

A presença de geração distribuída traz benefícios para o sistema elétrico, sendo que um de seus benefícios é a utilização de fontes renováveis, que reduz o impacto ambiental na geração de energia. No entanto, a entrada de um grande volume de geração distribuída nas redes de distribuição, pode gerar impactos na qualidade de fornecimento pelas distribuidoras. O estudo tem como objetivo avaliar a entrada de GD, em alimentadores da rede de distribuição, com a qualidade de energia exigida pela ANEEL as concessionárias de distribuição. Foram avaliados os dados reais de uma concessionária localizada no Sul do Brasil, com aproximadamente 4,9 milhões de consumidores, que atingiu em janeiro de 2022, o número aproximado de 75 mil unidades consumidoras com geração distribuída, representando uma geração de aproximadamente um gigawatt. Os dados de qualidade acompanhados pelo estudo por alimentador, são: indicadores de continuidade (DEC/FEC), dos anos de 2018 a 2021 e reclamações de conformidade do nível de tensão (DRC/DRP), dos anos de 2018 a janeiro de 2022. A visualização das diversas bases de dados, foram modeladas dentro do software Power BI, para melhor visualização do impacto das GDs, pelo Grau de penetração e dados de qualidade de fornecimento, com mapas, tabelas e gráficos. Os alimentadores com grau de penetração entre 30 e 50%, foram avaliados e concluiu-se que para o grau de penetração de até 50%, não se nota interferência nos indicadores de continuidade e de conformidade do nível de tensão.

Palavras-chave: Geração Distribuída. Qualidade de Energia. Grau de Penetração. Continuidade. Conformidade de Tensão.

ABSTRACT

The presence of distributed generation brings benefits to the electrical system, and one of its benefits is the use of renewable sources, which reduces the environmental impact of energy generation. However, the entry of a large volume of distributed generation into the distribution networks can generate impacts on the quality of supply by distributors. The study aims to evaluate the input of DG, in feeders of the distribution network, with the quality of energy required by ANEEL the distribution concessionaires. The real data of a concessionaire located in the south of Brazil, with approximately 4.9 million consumers, which reached, in January 2022, the approximate number of 75 thousand consumer units with distributed generation, representing a generation of approximately one gigawatt, were evaluated. The quality data monitored by the study per feeder are: continuity indicators (DEC/FEC), from the years 2018 to 2021 and voltage level compliance complaints (DRC/DRP), from the years 2018 to January 2022. The visualization of the different databases was modeled within the Power BI software, for a better visualization of the impact of the DGs, by the Degree of penetration and supply quality data, with maps, tables and graphs. Feeders with a penetration degree between 30 and 50% were evaluated and it was concluded that for a penetration degree of up to 50%, there is no interference in the continuity and voltage level compliance indicators.

Keywords: Distributed Generation. Power Quality. Penetration Degree. Continuity. Voltage Compliance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Projeção da Capacidade Instalada da Micro e Minigeração Distribuída ..	16
Figura 2 – Interface Power Query	36
Figura 3 – Modelagem Base de Dados Power BI.....	37
Figura 4 – Relatório Power BI	38
Figura 5 – Relatório Power BI - Filtro	38
Figura 6 – Relatório Power BI - Dados DEC/FEC por alimentador	38
Figura 7 – Relatório Power BI - Reclamações de NT (Nível de Tensão)	39
Figura 8 – Relatório Power BI - % Penetração por SE.....	39
Figura 9 – Relatório Power BI – Mapa % Penetração por SE	40
Figura 10 – Indicador Continuidade DEC/FEC – 2017 a 2020	44
Figura 11 – Curva de Corrente – AL FND – 2020 – 6 % de Grau de Penetração.....	48
Figura 12 – Curva de Corrente – AL FND – 2021 – 24,4 % de Grau de Penetração.	48
Figura 13 – Curva de Corrente – AL FND – 2022 – 46,92 % de Grau de Penetração.	49
Figura 14 – Indicador DEC/FEC – AL FND – 2018 a 2021.	49
Figura 15 – Reclamações Nível de tensão – AL FND – 2018 a 2022.	50
Figura 16 – Curva de Corrente – AL JTS – 2018 – 1,66 % de Grau de Penetração.	52
Figura 17 – Curva de Corrente – AL JTS – 2019 – 1,9 % de Grau de Penetração.	52
Figura 18 – Curva de Corrente – AL JTS – 2020 – 4,05 % de Grau de Penetração.	53
Figura 19 – Curva de Corrente – AL JTS – 2021 – 12,38% de Grau de Penetração.	53
Figura 20 – Curva de Corrente – AL JTS – 2022 – 46,68% de Grau de Penetração.	54
Figura 21 – Indicador DEC/FEC – AL JTS – 2018 a 2021.	55
Figura 22 – Reclamações Nível de tensão – AL JTS – 2018 a 2022.	55
Figura 23 – Curva de Corrente – AL AMS – 2020 – 1,77 % de Grau de Penetração.	57
Figura 24 – Curva de Corrente – AL AMS – 2021 – 13,77 % de Grau de Penetração.	58
Figura 25 – Curva de Corrente – AL AMS – 2022 – 42,29 % de Grau de Penetração.	58

Figura 26 – Indicador DEC/FEC – AL AMS – 2018 a 2021.....	59
Figura 27 – Reclamações Nível de tensão – AL AMS – 2018 a 2022.....	59
Figura 28 – Curva de Corrente – AL SSB – 2020 – 5 % de Grau de Penetração.	61
Figura 29 – Curva de Corrente – AL SSB – 2021 – 6,2 % de Grau de Penetração. .	62
Figura 30 – Curva de Corrente – AL SSB – 2022 – 33,96 % de Grau de Penetração.	62
Figura 31 – Indicador DEC/FEC – AL SSB – 2018 a 2021.	63
Figura 32 – Reclamações Nível de tensão – AL SSB – 2018 a 2022.	63
Figura 33 – Curva de Corrente – AL CGO – 2020 – 5 % de Grau de Penetração. ...	65
Figura 34 – Curva de Corrente – AL CGO – 2021 – 6,2 % de Grau de Penetração. .	66
Figura 35 – Curva de Corrente – AL CGO – 2022 – 33,96 % de Grau de Penetração.	66
Figura 36 – Indicador DEC/FEC – AL CGO – 2018 a 2021.	67

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Vantagens e desvantagens da Geração Distribuída.....	17
TABELA 2 – CONEXÃO EM TENSÃO NOMINAL SUPERIOR A 1 KV E INFERIOR A 69 KV	23
TABELA 3 – Classificação de VTCD.....	26
TABELA 4 – Dados Concessionária.....	34
TABELA 5 – Relatório Power BI – Tabela N° de GDs, por Tipo e Ano de instalação.....	40
TABELA 6 – Relatório Power BI – Tabela Informações por Alimentador	41
TABELA 7 – Escala de Grau de Penetração Transformador (MT/BT)	42
TABELA 8 – Quantidade e Valor de Compensações - Indicador Conformidade do Nível de Tensão (DRP e DRC – 2011 a 2020).....	45
TABELA 9 – Lista dos Alimentadores Analisados	46
TABELA 10 – Crescimento GD Alimentador FND por ano.....	47
TABELA 11 – Unidade consumidora reclamante.	50
TABELA 12 – Crescimento GD Alimentador JTS por ano.....	51
TABELA 13 – Unidades consumidoras reclamantes, AL JTS.	55
TABELA 14 – Crescimento GD Alimentador AMS por ano.	56
TABELA 15 – Unidades consumidoras reclamantes, AL AMS.....	60
TABELA 16 – Crescimento GD Alimentador SSB por ano.....	60
TABELA 17 – Unidades consumidoras reclamantes, AL SSB.	64
TABELA 18 – Crescimento GD Alimentador CGO por ano.....	64

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

ANEEL	- Agência Nacional de Energia Elétrica
EPE	- Empresa de Pesquisa Energética
EPRI	- <i>Electric Power Research Institute</i>
GD	- Geração Distribuída
IEEE	- <i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
PRODIST	- Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
QEE	- Qualidade da Energia Elétrica
DEC	- Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora
FEC	- Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora
DRC	- Duração relativa da transgressão de tensão crítica
DRP	- Duração relativa da transgressão de tensão precária
EAT	- Extra Alta Tensão
AT	- Alta tensão
MT	- Média tensão
BT	- Baixa tensão

LISTA DE SÍMBOLOS

© - copyright

@ - arroba

® - marca registrada

Σ - somatório de números

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 CONTEXTO	16
1.2 OBJETIVOS	18
1.3 ESTRUTURA DO DOCUMENTO	18
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1 GERAÇÃO DISTRIBUIDA.....	19
2.1.1 Aspectos regulatórios da GD.....	20
2.1.2 Crédito de energia.....	21
2.1.3 Condições para a adesão.....	21
2.2 QUALIDADE DO FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	22
2.2.1 Variações de tensão em regime permanente.....	22
2.2.2 Fator de Potência	23
2.2.3 Harmônicos	24
2.2.4 Desequilíbrio de tensão.....	24
2.2.5 Flutuação de tensão.....	24
2.2.6 Variação de frequência.....	25
2.2.7 Variações de tensão de curta duração – VTCD	25
2.3 INDICADORES DE DISTRIBUIÇÃO ACOMPANHADOS PELA ANEEL.....	26
2.3.1 Indicadores Individuais de Continuidade	26
2.3.2 Indicadores Coletivos de Continuidade (DEC e FEC)	27
2.3.3 Compensação pela transgressão dos limites de continuidade.....	29
2.3.4 Indicadores de conformidade do nível de tensão	30
2.4 IMPACTOS GERAÇÃO DISTRIBUIDA NO SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA	30
2.4.1 Fluxo de potência	31
2.4.2 Fator de potência	31
2.4.3 Variações de Tensão.....	32
2.4.4 Nível de desbalanço de tensão	32
2.4.5 Perdas técnicas.....	32
2.5 GRAU DE PENETRAÇÃO GERAÇÃO DISTRIBUIDA.....	33
2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	33
3 MATERIAIS E MÉTODOS	34

3.1 MATERIAIS	34
3.1.1 Base de Dados	34
3.1.2 Power Query	35
3.1.3 Power BI.....	36
3.2 MÉTODO.....	36
3.2.1 MODELAGEM DOS DADOS.....	36
3.2.2 D Definição do Grau de Penetração.....	41
3.2.3 Grau de Penetração AT (SEs AT/MT ou SEs MT/MT)	41
3.2.4 Grau de Penetração MT (MT/BT).....	41
3.2.5 DEFINIÇÃO DO MÉTODO.....	42
4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E ANÁLISE	44
4.1 ANÁLISE DA FAIXA DE PENETRAÇÃO DE 30 A 50%	46
4.1.1 Informações Alimentador FND:	46
4.1.2 Informações Alimentador JTS:	50
4.1.3 Informações Alimentador AMS:.....	56
4.1.4 Informações Alimentador SSB:	60
4.1.5 Informações Alimentador CGO:	64
4.2 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS	67
5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	70
REFERÊNCIAS.....	71

1 INTRODUÇÃO

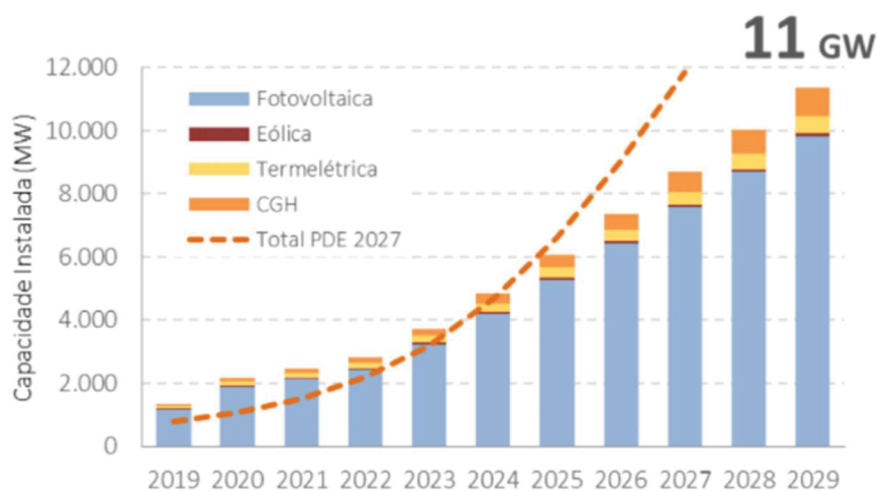
1.1 CONTEXTO

No sistema elétrico tradicional o fluxo do sistema de distribuição é realizado de fonte para carga, ou seja, da geração para o consumo. Porém, vemos novas tecnologias de geração distribuída, tais como fotovoltaico, eólica, gás natural e outras, sendo disponibilizadas no mercado, nas quais o consumidor está se tornando um gerador para o sistema.

O tema deste trabalho é referente à entrada de um grande volume de geração distribuída, em alimentadores (ramais) das redes de distribuição de energia elétrica e consequentemente, o aumento do grau de penetração da geração distribuída nos alimentadores.

A figura 1 mostra a projeção de crescimento da capacidade de potência instalada, de micro e minigeração, saltando em um intervalo de 10 anos de 1,5 GW para quase 11 GW em 2029.

Figura 1 – Projeção da Capacidade Instalada da Micro e Minigeração Distribuída



FONTE: EPE, 2020

A integração de um grande montante de geração distribuída no sistema elétrico, principalmente de fontes alternativas, apresenta algumas vantagens e desvantagens que são apresentadas na Tabela 1 (Gabriel, 2013)

TABELA 1 – Vantagens e desvantagens da Geração Distribuída.

Geração Distribuída	
Vantagens	Desvantagens
- Redução dos custos de transmissão e distribuição;	- Geração de energia intermitentemente;
- Redução de perdas energéticas;	- Aumento das distorções harmônicas;
- Possibilidade de postergação de investimentos nos ativos da concessionária;	- Problemas de flutuação e regulação de tensão;
- Aumento da confiabilidade no fornecimento de energia aos consumidores;	- Aumento dos níveis de curto-circuito;
- Aumento da eficiência do sistema elétrico;	- Redistribuição das correntes de falta;
- Suporte de tensão e frequência;	- Aumento da complexidade para proteção, operação e controle da rede de distribuição;
- Menor tempo de instalação;	
- Diversificação da matriz energética;	- Influência nos sistemas de proteção.
- Utilização de fontes alternativas com baixo impacto ambiental.	

FONTE: (Gabriel, 2013).

O estudo visa avaliar qual o impacto na qualidade do fornecimento de energia pela distribuidora com a entrada de geração distribuída, comparando o grau de penetração com a alteração dos indicadores da qualidade de energia, determinados pela ANEEL de responsabilidade da concessionária.

Os principais indicadores são continuidade DEC e FEC, que avaliam a duração, frequência das interrupções das unidades consumidoras, e conformidade do nível de tensão (DRC/DRP), que avaliam o regime permanente de tensão do fornecimento de energia para o consumidor.

Sendo que para os indicadores de continuidade, DEC/FEC, há uma meta, com o agravante de não atingimento a perda de concessão e o de não conformidade no nível de tensão acarreta o pagamento de compensações as unidades consumidoras.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral é avaliar o impacto do aumento de geração distribuída em alimentadores da rede de distribuição nos indicadores de qualidade de fornecimento de energia elétrica de responsabilidade das concessionárias.

Os objetivos específicos são:

- Levantar os dados dos indicadores DEC e FEC, por alimentador;
- Levantar os dados de reclamações de Nível de Tensão, por alimentador
- Calcular o Grau de Penetração por alimentador;
- Modelar relatório unificando as informações de alimentadores, grau de penetração, indicadores DEC e FEC e reclamações de Nível de Tensão.
- Avaliar os alimentadores com maior grau de penetração

1.3 ESTRUTURA DO DOCUMENTO

No capítulo um, apresenta a introdução deste trabalho, uma visão geral do tema abordado, o objetivo geral e específicos.

No segundo capítulo, apresenta-se a fundamentação teórica, de aspectos relacionados a geração distribuída, qualidade do fornecimento de energia elétrica, Indicadores de distribuição acompanhados pela ANEEL, impactos geração distribuída nos sistemas de distribuição de energia, grau de penetração da geração distribuída e considerações finais do capítulo.

No terceiro capítulo, trata-se dos materiais e métodos utilizados no estudo, com as informações das bases de dados, *softwares* utilizados, modelagem de dados, *dashboard* criado, definição de grau de penetração e método de comparação dos dados.

No quarto capítulo, há apresentação dos resultados e análise, análise da faixa de penetração de 30 a 50% dos alimentadores avaliados e a avaliação dos resultados.

O quinto capítulo, é realizada a conclusão e as sugestões de trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 GERAÇÃO DISTRIBUIDA

Conforme definição adotada pelo Instituto Nacional de Eficiência Energética, a Geração Distribuída (GD) é uma expressão usada para designar a geração elétrica realizada junto ou próxima do(s) consumidor(es) independente da potência, tecnologia e fonte de energia. As tecnologias de GD têm evoluído para incluir potências cada vez menores. A GD inclui:

- Co-geradores
- Geradores que usam como fonte de energia resíduos combustíveis de processo;
- Geradores de emergência;
- Geradores para operação no horário de ponta;
- Painéis fotovoltaicos;
- Pequenas Centrais Hidrelétricas - PCH's.

O conceito envolve, ainda, equipamentos de medida, controle e comando que articulam a operação dos geradores e o eventual controle de cargas (ligamento/desligamento) para que estas se adaptem à oferta de energia.

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), desde 17 de abril de 2012, quando entrou em vigor a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada e inclusive fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade. Trata-se do micro e da minigeração distribuídas de energia elétrica, inovações que podem aliar economia financeira, consciência socioambiental e autossustentabilidade.

Para a ANEEL, os estímulos à geração distribuída se justificam pelos potenciais benefícios que tal modalidade pode proporcionar ao sistema elétrico. Entre eles, estão o adiamento de investimentos em expansão dos sistemas de transmissão e distribuição, o baixo impacto ambiental, a redução no carregamento das redes, a minimização das perdas e a diversificação da matriz energética.

Com o objetivo de reduzir os custos e tempo para a conexão da microgeração e minigeração; compatibilizar o Sistema de Compensação de Energia Elétrica com as Condições Gerais de Fornecimento (Resolução Normativa nº 414/2010); aumentar o público alvo; e melhorar as informações na fatura, a ANEEL publicou a Resolução Normativa nº 687/2015 revisando a Resolução Normativa nº 482/2012.

2.1.1 Aspectos regulatórios da GD

Conforme ANEEL, segundo as novas regras, que começaram a valer em 1º de março de 2016, é permitido o uso de qualquer fonte renovável, além da cogeração qualificada, denominando-se microgeração distribuída a central geradora com potência instalada até 75 quilowatts (KW) e minigeração distribuída aquela com potência acima de 75 kW e menor ou igual a 5 MW (sendo 3 MW para a fonte hídrica), conectadas na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

Quando a quantidade de energia gerada em determinado mês for superior à energia consumida naquele período, o consumidor fica com créditos que podem ser utilizados para diminuir a fatura dos meses seguintes. De acordo com as novas regras, o prazo de validade dos créditos passou de 36 para 60 meses, sendo que eles podem também ser usados para abater o consumo de unidades consumidoras do mesmo titular situadas em outro local, desde que na área de atendimento de uma mesma distribuidora. Esse tipo de utilização dos créditos foi denominado “autoconsumo remoto”.

Outra inovação da norma diz respeito à possibilidade de instalação de geração distribuída em condomínios (empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras). Nessa configuração, a energia gerada pode ser repartida entre os condôminos em porcentagens definidas pelos próprios consumidores.

A ANEEL criou ainda a figura da “geração compartilhada”, possibilitando que diversos interessados se unam em um consórcio ou em uma cooperativa, instalem um micro ou minigeração distribuída e utilizem a energia gerada para redução das faturas dos consorciados ou cooperados.

Com relação aos procedimentos necessários para se conectar a micro ou minigeração distribuída à rede da distribuidora, a ANEEL estabeleceu regras que simplificam o processo: foram instituídos formulários padrão para realização da

solicitação de acesso pelo consumidor e o prazo total para a distribuidora conectar usinas de até 75 kW, que era de 82 dias, foi reduzido para 34 dias. Adicionalmente, a partir de janeiro de 2017, os consumidores poderão fazer a solicitação e acompanhar o andamento de seu pedido junto à distribuidora pela internet.

2.1.2 Crédito de energia

Caso a energia injetada na rede seja superior à consumida, cria-se um “crédito de energia” que não pode ser revertido em dinheiro, mas pode ser utilizado para abater o consumo da unidade consumidora nos meses subsequentes ou em outras unidades de mesma titularidade (desde que todas as unidades estejam na mesma área de concessão), com validade de 60 meses.

Um exemplo é o da microgeração por fonte solar fotovoltaica: de dia, a “sobra” da energia gerada pela central é passada para a rede; à noite, a rede devolve a energia para a unidade consumidora e supre necessidades adicionais. Portanto, a rede funciona como uma bateria, armazenando o excedente até o momento em que a unidade consumidora necessite de energia proveniente da distribuidora.

2.1.3 Condições para a adesão

Compete ao consumidor a iniciativa de instalação de micro ou minigeração distribuída – a ANEEL não estabelece o custo dos geradores e tampouco eventuais condições de financiamento. Portanto, o consumidor deve analisar a relação custo/benefício para instalação dos geradores, com base em diversas variáveis: tipo da fonte de energia (painéis solares, turbinas eólicas, geradores a biomassa, etc), tecnologia dos equipamentos, porte da unidade consumidora e da central geradora, localização (rural ou urbana), valor da tarifa à qual a unidade consumidora está submetida, condições de pagamento/financiamento do projeto e existência de outras unidades consumidoras que possam usufruir dos créditos do sistema de compensação de energia elétrica.

Por fim, é importante ressaltar que, para unidades consumidoras conectadas em baixa tensão (grupo B), ainda que a energia injetada na rede seja superior ao consumo, será devido o pagamento referente ao custo de disponibilidade – valor em reais equivalente a 30 kWh (monofásico), 50 kWh (bifásico) ou 100 kWh (trifásico). Já

para os consumidores conectados em alta tensão (grupo A), a parcela de energia da fatura poderá ser zerada (caso a quantidade de energia injetada ao longo do mês seja maior ou igual à quantidade de energia consumida), sendo que a parcela da fatura correspondente à demanda contratada será faturada normalmente.

2.2 QUALIDADE DO FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA

A geração convencional é conectada nas redes de transmissão e subtransmissão, em EAT (extra alta tensão) ou AT (alta tensão), que são projetadas para receber fluxo de potência em qualquer direção. As redes de distribuição de energia, em MT (média tensão), são preparadas para receber fluxo de potência unidirecional somente, o que pode causar problemas de sobrecarga de alimentadores e transformadores, sobretensões, precariedade da qualidade de energia e operação incorreta dos equipamentos de proteção da rede. (Gabriel, 2013)

Conforme manual de procedimentos de distribuição (PRODIST) da ANEEL, modulo 8, que se refere a qualidade do fornecimento de energia elétrica modulo 8.

Os fenômenos associados à qualidade do produto são Fenômenos de regime permanente:

- variações de tensão em regime permanente;
- fator de potência;
- harmônicos;
- desequilíbrio de tensão;
- flutuação de tensão; e
- variação de frequência.

Fenômenos de regime transitório:

- variações de tensão de curta duração – VTCD.

2.2.1 Variações de tensão em regime permanente

A conformidade de tensão em regime permanente refere-se à comparação do valor de tensão obtido por medição apropriada, no ponto de conexão, em relação aos

níveis de tensão especificados como adequados, precários e críticos, tanto para subtensão quanto para sobretensão.

A tensão de operação deverá situar-se entre 95% (noventa e cinco por cento) e 105% (cento e cinco por cento) da tensão nominal de operação do sistema no ponto de conexão (ANEEL, 2021). A tabela 2 apresenta os níveis de tensões admitidas para cada limite estabelecido pela norma.

TABELA 2 – CONEXÃO EM TENSÃO NOMINAL SUPERIOR A 1 KV E INFERIOR A 69 KV

Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de Variação da tensão de leitura (TL) em relação à tensão de referência (TR)
Adequada	$0,93TR \leq TL \leq 1,05TR$
Precária	$0,90TR \leq TL \leq 0,93TR$
Crítica	$TL < 0,90TR$ ou $TL > 1,05TR$

FONTE: Adaptado ANEEL, PRODIST – Módulo 8.

2.2.2 Fator de Potência

O valor do fator de potência deve ser calculado a partir dos valores registrados das potências ativa e reativa ou das respectivas energias, utilizando-se a seguinte equação:

$$fp = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$$

sendo: fp = fator de potência;

P = potência ativa;

Q = potência reativa;

Para unidade consumidora do Grupo A ou ponto de conexão entre distribuidoras com tensão inferior a 230 kV, o fator de potência no ponto de conexão deve estar compreendido entre 0,92 e 1,00 indutivo, ou 1,00 e 0,92 capacitivo, de acordo com as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia

Elétrica. Em caso de não cumprimento, a unidade consumidora pagará uma multa pela compensação de reativo realizado pela concessionária.

2.2.3 Harmônicos

As distorções harmônicas são fenômenos associados a deformações nas formas de onda das tensões e correntes em relação à onda senoidal da frequência fundamental.

Para as concessionárias e unidades consumidoras não há compensações ou multas, para emissão de distorções harmônicas no sistema de distribuição.

2.2.4 Desequilíbrio de tensão

O desequilíbrio de tensão é o fenômeno caracterizado por qualquer diferença verificada nas amplitudes entre as três tensões de fase de um determinado sistema trifásico, ou na defasagem elétrica de 120° entre as tensões de fase do mesmo sistema.

O indicador de desequilíbrio de tensão a ser comparado com os limites é o FD95%, que representa o valor do Fator de Desequilíbrio de Tensão – FD% que foi superado em apenas 5% das 1.008 leituras válidas.

A equação para o cálculo do indicador FD% é:

$$FD\% = \frac{V_-}{V_+} \times 100 [\%]$$

Para as concessionárias e unidades consumidoras não há compensações ou multas, para o agente causador desequilíbrio de tensão no sistema de distribuição.

2.2.5 Flutuação de tensão

A flutuação de tensão é um fenômeno caracterizado pela variação aleatória, repetitiva ou esporádica dos valores eficaz ou de pico da tensão instantânea.

A determinação da qualidade da tensão do sistema de distribuição quanto à flutuação de tensão tem por objetivo avaliar o incômodo provocado pelo efeito da

cintilação luminosa no consumidor, que tenha em sua unidade consumidora pontos de iluminação alimentados em baixa tensão.

Para as concessionárias e unidades consumidoras não há compensações ou multas, para o agente causador de flutuação de tensão no sistema de distribuição.

2.2.6 Variação de frequência.

O sistema de distribuição e as instalações de geração a ele conectadas devem, em condições normais de operação e em regime permanente, operar dentro dos limites de frequência situados entre 59,9 Hz e 60,1 Hz.

Quando da ocorrência de distúrbios no sistema de distribuição, as instalações de geração devem garantir que a frequência retorne, no intervalo de tempo de 30 segundos após a transgressão, para a faixa de 59,5 Hz a 60,5 Hz, para permitir a recuperação do equilíbrio carga-geração.

Havendo necessidade de corte de geração ou de carga para permitir a recuperação do equilíbrio carga geração, durante os distúrbios no sistema de distribuição, a frequência:

- não pode exceder 66 Hz ou ser inferior a 56,5 Hz em condições extremas;
- pode permanecer acima de 62 Hz por no máximo 30 segundos e acima de 63,5 Hz por no máximo 10 segundos; e
- pode permanecer abaixo de 58,5 Hz por no máximo 10 segundos e abaixo de 57,5 Hz por no máximo 5 segundos

Nos casos de desligamento do sistema de rede de distribuição as concessionárias são penalizadas nos indicadores de continuidade (DEC e FEC).

2.2.7 Variações de tensão de curta duração – VTCD

Variações de tensão de curta duração – VTCD são desvios significativos na amplitude do valor eficaz da tensão durante um intervalo de tempo inferior a 3 minutos.

As variações de tensão de curta duração são classificadas de acordo com a Tabela 3.

TABELA 3 – Classificação de VTCD

Classificação	Denominação	Duração da Variação	Amplitude da tensão (valor eficaz) em relação à tensão de referência
Variação Momentânea de Tensão	Interrupção Momentânea de Tensão – IMT	Inferior ou igual a 3 segundos	Inferior a 0,1 p.u
	Afundamento Momentâneo de Tensão – AMT	Superior ou igual a 1 ciclo e inferior ou igual a 3 segundos	Superior ou igual a 0,1 e inferior a 0,9 p.u
	Elevação Momentânea de Tensão – EMT	Superior ou igual a 1 ciclo e inferior ou igual a 3 segundos	Superior a 1,1 p.u
Variação Temporária de Tensão	Interrupção Temporária de Tensão – ITT	Superior a 3 segundos e inferior a 3 minutos	Inferior a 0,1 p.u
	Afundamento Temporário de Tensão – ATT	Superior a 3 segundos e inferior a 3 minutos	Superior ou igual a 0,1 e inferior a 0,9 p.u
	Elevação Temporária de Tensão – ETT	Superior a 3 segundos e inferior a 3 minutos	Superior a 1,1 p.u

FONTE: Adaptado ANEEL, PRODIST – Módulo 8.

Para as concessionárias e unidades consumidoras não há compensações ou multas, para o agente causador de VTCD no sistema de distribuição e não entram nos indicadores de continuidade DEC e FEC, acompanhados pelas empresas de distribuição de energia, devido o mesmo contar o tempo de interrupção superior a 3 minutos.

2.3 INDICADORES DE DISTRIBUIÇÃO ACOMPANHADOS PELA ANEEL

Os indicadores acompanhados pela ANEEL, associados à qualidade do serviço e a qualidade do produto, são:

- Indicadores individuais de continuidade
- Indicadores coletivos de continuidade
- Compensação pela transgressão dos limites de continuidade
- Indicadores de conformidade do nível de tensão

2.3.1 Indicadores Individuais de Continuidade

Conforme a ANEEL, os indicadores individuais de continuidade, DIC, FIC, DMIC e DICRI. Os indicadores são apurados para as interrupções maiores que 3 minutos, sendo admitidos alguns expurgos na sua apuração., abaixo detalhados, que apuram a qualidade do serviço em cada unidade consumidora:

Duração de interrupção individual por unidade consumidora (DIC): Intervalo de tempo que, no período de apuração, em cada unidade consumidora ou ponto de conexão, ocorreu descontinuidade da distribuição de energia elétrica;

Frequência de interrupção individual por unidade consumidora (FIC): Número de interrupções ocorridas, no período de apuração, em cada unidade consumidora ou ponto de conexão;

Duração máxima de interrupção contínua por unidade consumidora ou ponto de conexão (DMIC): Tempo máximo de interrupção contínua de energia elétrica, em uma unidade consumidora ou ponto de conexão; e

Duração da interrupção individual ocorrida em dia crítico por unidade consumidora ou ponto de conexão (DICRI): Corresponde à duração de cada interrupção ocorrida em dia crítico, para cada unidade consumidora ou ponto de conexão.

2.3.2 Indicadores Coletivos de Continuidade (DEC e FEC)

Visando manter a qualidade na prestação do serviço público de distribuição de energia elétrica, a ANEEL exige que as concessionárias mantenham um padrão de continuidade e, para tal, edita limites para os indicadores coletivos de continuidade, são estabelecidos quanto à duração e frequência das interrupções, definidas nas siglas: DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) e FEC (Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora), conforme definido no Módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição - PRODIST.

Os indicadores são apurados pelas distribuidoras e enviados periodicamente para a ANEEL para verificação da continuidade do serviço prestado, representando, respectivamente, o tempo e o número de vezes que uma unidade consumidora ficou sem energia elétrica para o período considerado (mês, trimestre ou ano), o que permite que a Agência avalie a continuidade da energia oferecida à população.

Os indicadores de continuidade coletivos, a seguir discriminados, devem ser apurados para cada conjunto de unidades consumidoras:

Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (DEC), utilizando a seguinte equação:

$$DEC = \sum DIC(i) NUC$$

Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (FEC), utilizando a seguinte equação:

$$FEC = \sum FIC(i) NUC$$

sendo:

i = índice de unidades consumidoras atendidas em BT ou MT faturadas do conjunto;

NUC = número total de unidades consumidoras faturadas do conjunto no período de apuração, atendidas em BT ou MT;

DIC(i) = Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora, excluindo-se as centrais geradoras, expressa em horas e centésimos de hora; e

FIC(i) = Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora, excluindo-se as centrais geradoras, expressa em interrupções e centésimos de interrupções.

Os indicadores de continuidade coletivos devem ser apurados considerando apenas as interrupções de longa duração, ou seja, aquelas com duração maior ou igual a três minutos.

Na apuração dos indicadores não são consideradas as seguintes situações:

- falha nas instalações da unidade consumidora ou da central geradora que não provoque interrupção em instalações de terceiros;
- interrupção decorrente de obras de interesse exclusivo do consumidor ou da central geradora e que afete somente sua unidade consumidora;
- Interrupção em Situação de Emergência – ISE;
- suspensão por inadimplemento do consumidor ou da central geradora;

- suspensão por deficiência técnica ou de segurança das instalações da unidade consumidora ou da central geradora que não provoque interrupção em instalações de terceiros, previstas em regulamentação;
- interrupção vinculada à programa de racionamento instituído pela União;
- interrupção ocorrida em Dia Crítico;
- interrupção oriunda de atuação de Esquema Regional de Alívio de Carga – ERAC estabelecido pelo ONS; e
- interrupção de origem externa ao sistema de distribuição.

As empresas de distribuição de energia possuem contrato de concessão, onde as metas dos indicadores de continuidade fazem parte, caso elas não sejam atingidas a empresa poderá sofrer sanções de até mesmo perder o direito de renovação de contrato.

2.3.3 Compensação pela transgressão dos limites de continuidade

Conforme descreve a ANEEL, os limites dos indicadores DIC e FIC são definidos para períodos mensais, trimestrais e anuais. O limite do indicador DMIC é definido para períodos mensais. O limite do indicador DICRI é definido para cada interrupção em dia crítico. O assunto está regulamentado no Módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição - PRODIST.

Quando os indicadores individuais de continuidade são transgredidos, a distribuidora deve compensar financeiramente o consumidor. A compensação é automática, e deve ser paga em até 2 meses após o mês de apuração do indicador (mês em que houve a interrupção). Os valores são informados pelas distribuidoras em até 3 meses após a apuração do indicador, e são passíveis de fiscalização pela ANEEL.

Ressalta-se que a quantidade de pagamentos efetuados não é necessariamente igual ao número de consumidores compensados, uma vez que um mesmo consumidor pode ser compensado mais de uma vez no ano.

2.3.4 Indicadores de conformidade do nível de tensão

Os indicadores coletivos de conformidade do nível de tensão, DRP (duração relativa da transgressão de tensão precária) e DRC (duração relativa da transgressão de tensão crítica), em caso de não cumprimento são realizadas compensações pagas junto ao cliente.

A distribuidora deve compensar os titulares das unidades consumidoras que, de acordo com as medições, estiveram submetidas a tensões de atendimento com transgressão dos indicadores DRP ou DRC, assim como os titulares das unidades consumidoras atendidas pelo mesmo ponto de conexão. Os valores são informados pelas distribuidoras no mês seguinte ao trimestre de apuração do indicador, e são passíveis de fiscalização pela ANEEL.

2.4 IMPACTOS GERAÇÃO DISTRIBUIDA NO SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA

Como abordado anteriormente, o sistema elétrico da rede de distribuição, em MT (média tensão), foi concebido para o fluxo unidirecional de energia e todas as normas, regulações e estudos foram baseados nessa topologia. Entretanto, a inserção da GD pode modificar essa topologia, fazendo com que, em algumas situações, o fluxo de energia passe a ser no sentido contrário. Essa nova configuração acarreta impactos no sistema, que podem ser positivos ou negativos, e pode promover, por exemplo, alteração no fluxo de potência, no perfil de tensão, nas perdas, no nível de harmônicos e no nível de curto-circuito do sistema. (Vargas, 2018)

Em relação aos benefícios, alguns podem ser elencados. O primeiro está associado a própria utilização de fontes renováveis como fonte primária da geração de energia, contribuindo para a redução da emissão de gás dióxido de carbono (CO₂), principal responsável pela questão do aquecimento térmico global. Como podem ser instaladas próximas aos centros de cargas, a GD tem a capacidade de aumentar a confiabilidade da energia local, além de ter a capacidade de atender a demanda de consumidores próximos. (Vargas, 2018)

Desta forma será apresentado os possíveis impactos com a entrada de geração distribuída nas redes de distribuição, com os seguintes itens:

- Fluxo de potência

- Fator de potência
- Variações de Tensão
- Nível de desbalanço de tensão
- Perdas técnicas

2.4.1 Fluxo de potência

Os sistemas de geração distribuída impactam diretamente no fluxo de potência, auxiliando no suprimento de cargas locais, reduzindo a demanda de potência provida da fonte. Ainda pode haver fluxo de potência bidirecional nos alimentadores no que poderia acarretar algumas consequências negativas, como por exemplo, o aumento da tensão no ponto de conexão da GD além dos limites nominais dos equipamentos. Outro ponto de preocupação no fluxo reverso, seria a influência na coordenação e operação do sistema de proteção e na regulação de tensão da rede de distribuição. Além disso, é possível com a geração distribuída o gerenciamento da potência reativa fornecida ou absorvida, com a finalidade de controlar alguns parâmetros relacionados à qualidade da energia, como fator de potência e a tensão. (Paludo, 2014)

2.4.2 Fator de potência

Analisando uma situação de fator de potência unitário da geração, pode-se concluir que à medida que a potência ativa da GD aumenta, ΔV diminui, contribuindo para uma melhoria do perfil de tensão. Caso a Potência da GD for maior que a Potência da carga, na mesma situação, o valor da tensão da GD será maior que do que na fonte. Caso a potência de GD aumente sem restrição, podem ocorrer problemas de sobretensão no alimentador, ultrapassando os limites estabelecidos. Considerando a potência da GD constante, caso a GD esteja consumindo potência reativa da rede, ocorre um aumento da queda de tensão. No caso contrário, exportando energia reativa, ocorre uma diminuição da queda de tensão. Pode-se concluir, portanto, que quando não há GD na rede, a queda de tensão é regulada pela demanda da carga. Quando há GD conectada, a queda de tensão varia de acordo com a potência ativa e reativa entregue ou consumida pela GD. (Vargas, 2018)

2.4.3 Variações de Tensão

Em relação a variação de tensão, Vargas descreve como é o comportamento da queda de tensão de um alimentador de distribuição. Varia de acordo com a distância em relação à subestação transformadora mais próxima. Esta diferença está relacionada, principalmente, com a variação da resistência nos condutores utilizados. Geralmente, os condutores das redes de distribuição apresentam uma reatância menor do que a resistência, em /km. Portanto, à medida que a carga se distancia da subestação, a tensão tende a diminuir. Para resolver esse problema intrínseco, uma das formas se faz com a instalação de dispositivos que possuam a capacidade de regular a tensão ao longo da rede, mantendo-a dentro dos níveis exigidos.

De acordo com Paludo, a instalação de GDs nos alimentadores pode interferir na variação de tensão, além de prejudicar a qualidade de energia fornecida ao consumidor, essas grandes variações ainda podem acarretar a atuação frequente dos dispositivos automáticos de regulação de tensão, como bancos de capacitores e reguladores automáticos de tensão, ocasionando a redução da vida útil deles.

2.4.4 Nível de desbalanço de tensão

O desbalanço de tensão é um aspecto que precisa ser monitorado quando se trata da conexão de geradores distribuídos mono e bifásicos em alimentadores da rede de distribuição. A operação do sistema de distribuição com elevados índices de desbalanço pode prejudicar o funcionamento de motores de indução, dispositivos eletrônicos (como conversores), equipamentos de regulação de tensão, além da geração de componentes harmônicas. (Paludo, 2014).

2.4.5 Perdas técnicas

Já as perdas técnicas são inerentes do sistema e as principais causas são as perdas no cobre, aquecimento dos materiais, linhas longas e perdas de sobrecarga. Normalmente, para cenários de baixa penetração, a inserção da GD em uma rede diminui as perdas e essas variam de acordo com o tipo de tecnologia utilizada na GD: gerador síncrono, assíncrono ou com inversor como interface com a rede. (Vargas, 2018)

No entanto, dependendo da quantidade de potência de GD instalada, a influência sob as perdas pode ter caráter negativo. O excesso de geradores pode causar o fluxo de potência reverso nas linhas de distribuição, acarretando na elevação das perdas técnicas, uma vez que poderá ocorrer um maior fluxo de potência ativa na rede de distribuição. (Paludo, 2014).

2.5 GRAU DE PENETRAÇÃO GERAÇÃO DISTRIBUIDA

Conforme Shayani, 2010, não há um consenso na literatura da definição do fator de penetração para geração distribuída. As sugestões existentes indicam que esse fator pode ser um percentual da demanda máxima de determinada subestação ou unidade consumidora. Desta forma foi definido como um percentual da potência total dos transformadores instalados, conforme equação abaixo.

$$FPNT = \frac{P_{GDFV}}{S_{TRANSFORMADORES}} * 100 [\%]$$

Onde : FPNT = fator de penetração [%]

P_{gdfv} = potência máxima de GDFV que pode ser instalada [kW ou pu]

$S_{TRANSFORMADORES}$ = potência total dos transformadores instalados na rede radial de distribuição [kW ou pu]

2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Nesse capítulo abordou-se a fundamentação teórica do estudo, discutindo os tópicos abaixo:

- Aspectos relacionados a geração distribuída;
- Qualidade do fornecimento de energia elétrica;
- Indicadores de distribuição acompanhados pela ANEEL;
- Impactos geração distribuída nos sistemas de distribuição de energia;
- e
- Grau de penetração da geração distribuída.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado com os dados da concessionária de distribuição de energia elétrica, localizada na região sul do Brasil. Os dados da empresa de distribuição de energia elétrica se encontram na tabela 4.

TABELA 4 – Dados Concessionária

DISTRIBUIÇÃO	
Linhas e redes de distribuição (km)	204.957
Subestações	384
Potência instalada em subestações (MVA)	11.627
Municípios atendidos	395
Localidades atendidas	1.113
Consumidores cativos	4.926.608
Consumidores por empregado da Dis	1.112
DEC (em horas e centesimal de hora)	7,22
FEC (em número de interrupções)	4,83

FONTE: <https://ri.copel.com/dados-financeiros/central-de-resultados/> 4 trimestre 2021

A empresa conta com aproximadamente 75 mil unidades consumidoras com geração distribuída, onde a potência instalada de GD é de aproximadamente de um GigaWatt.

3.1 MATERIAIS

3.1.1 Base de Dados

A base de dados do estudo visa comparar a qualidade de energia, dos aspectos de continuidade e de conformidade de nível de tensão, com o grau de penetração, foi estruturada conforme a seguir:

Dados unidades consumidoras com GDs:

- Dados da Entrada de serviço;
- Potência Instalada;
- Localização; (região)
- Dados da rede distribuição; (Posto de transformação, alimentador e SE)

Dados Rede de Distribuição:

- Potência do posto de transformação (MT/BT);
- N° de clientes e Tipo do cliente conectado ao Posto de transformação;
- Dados ligação SE; (Alimentador e SE)

Dados SEs:

- Potência do Transformador (AT/MT ou MT/MT);
- N° de alimentadores;
- N° de Clientes por alimentador;

DEC/FEC

- Dados por alimentador dos últimos 4 anos (2018 a 2021), do DEC, FEC e n° de consumidores.

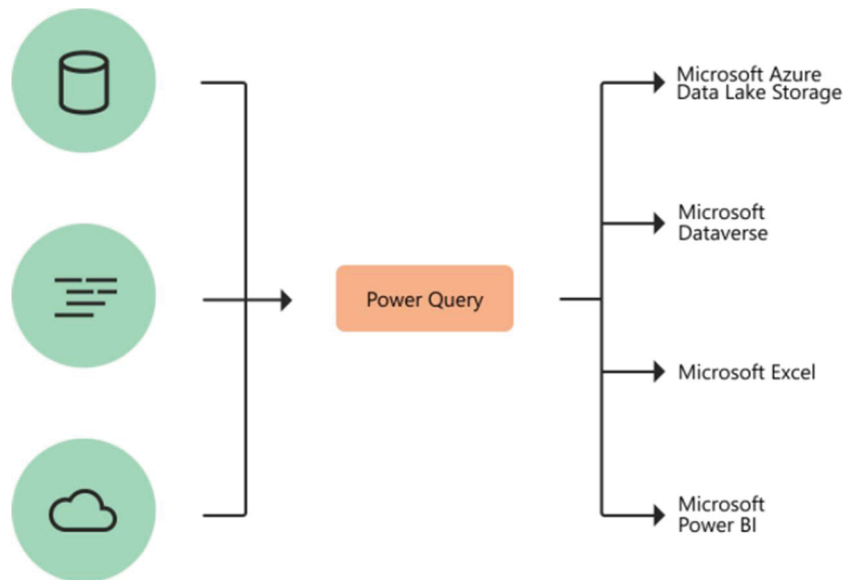
Transgressões de Nível de Tensão

- Dados das reclamações dos consumidores dos últimos 4 anos (2018 a 2021).

3.1.2 Power Query

Power Query é um mecanismo de preparação e transformação de dados, que apresenta uma interface gráfica para obter dados de fontes e um Editor para aplicar transformações. Utilizando o Power Query é possível executar o processamento de extração, transformação e carregamento de dados, conforme figura 2.

Figura 2 – Interface Power Query



FONTE: <https://docs.microsoft.com/pt-br/power-query/power-query-what-is-power-query>

No estudo, foi utilizado para fazer a interface da base de dados com o Power BI, com a preparação e transformação dos dados.

3.1.3 Power BI

O Power BI é uma ferramenta de *Bussiness Intelligence* (**BI**), que é utilizada para que o usuário consiga reunir, organizar, tratar e realizar cálculos de várias informações obtidas de diversas bases de dados. Com isso, é possível a criação de relatórios (*dashboard*) para auxiliar na tomada de decisões, apresentados de forma mais visual facilitando o entendimento e análise desses dados.

No trabalho foi utilizado *dashboard* para auxiliar na visualização e facilitar na análise de dados, através de filtros, gráficos, mapas e tabelas.

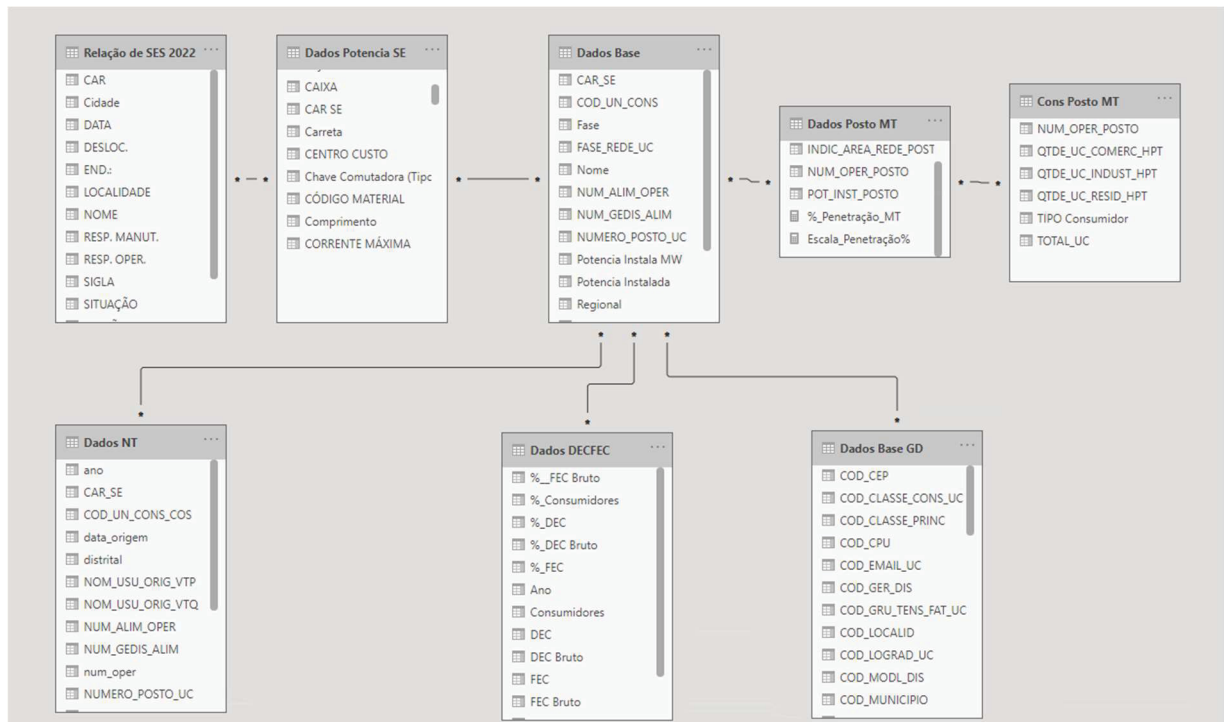
3.2 MÉTODO

3.2.1 MODELAGEM DOS DADOS

Os dados foram modelados dentro dos softwares Power Query e Power BI onde foi criado um relatório cruzando todas as informações comentadas no item

anterior. A figura 3, mostra o resultado dos cruzamentos entre as Base de Dados criadas para o estudo.

Figura 3 – Modelagem Base de Dados Power BI



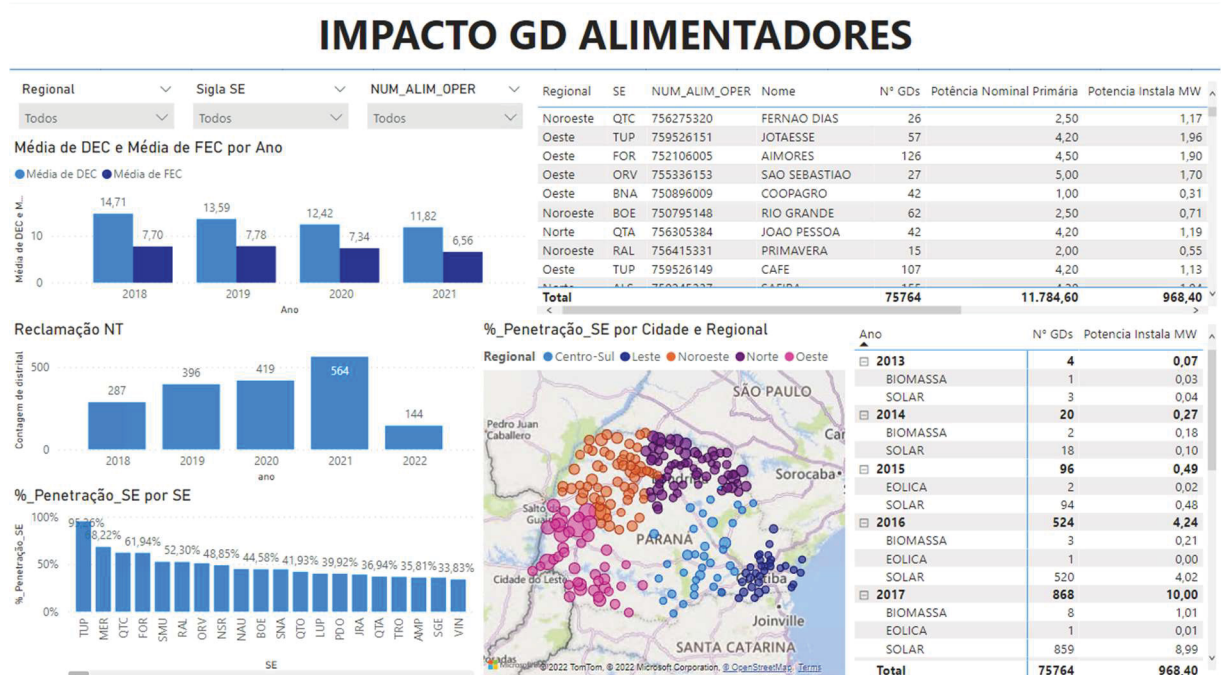
FONTE: Elaborado pelo autor, 2022.

Os dados foram modelados e organizados no *dashboard* na figura 4, onde se visualiza em gráficos os dados de indicadores de continuidade, DEC e FEC, os dados de reclamações de níveis de tensão e o grau de penetração acumulado por subestação.

O mapa foi elaborado com os dados de graus de penetração por localização, visa facilitar a visualização das subestações com maior incidência de grau de penetração por região.

Além disso possui tabelas, uma com os dados da potência instalada por ano da entrada de geração distribuída, quantidade, tipo de tecnologia da geração e a outra se refere aos dados do alimentador, mostra as informações por regional, subestação, nome do alimentador, quantidade de unidades consumidoras com GDs, Potência Nominal Primária (SE-Fonte), Potência Instalada MW (GD), % de Penetração, quantidade de reclamações por nível de tensão, UC Posto (nº de clientes conectados com uma GD no mesmo circuito), Consumidores por alimentador.

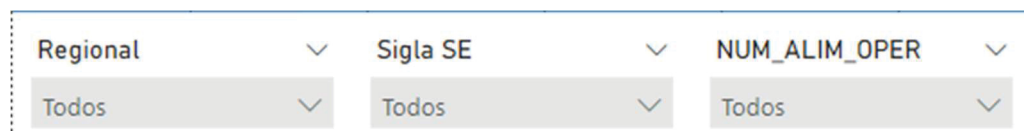
Figura 4 – Relatório Power BI



FONTE: Elaborado pelo autor, 2022.

A pesquisa dos dados poderá ser feita por regional (sub regiões cadastradas), Subestações e/ou por alimentadores. Conforme figura 5.

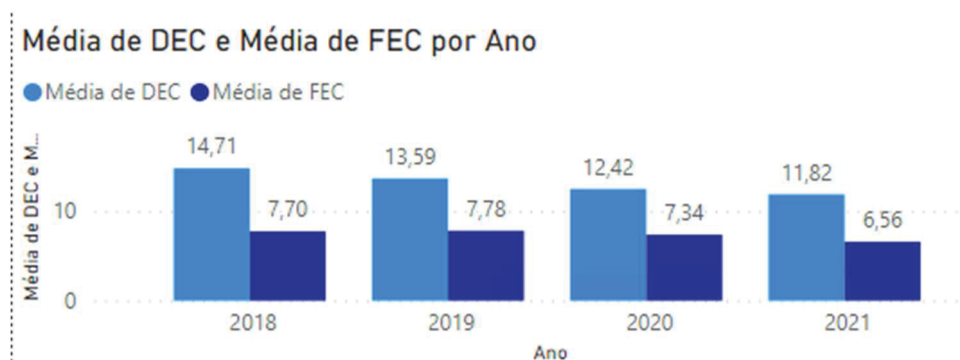
Figura 5 – Relatório Power BI - Filtro



FONTE: Elaborado pelo autor, 2022.

A base de dados de DEC/FEC, aparece na figura 6 e mostra a evolução através dos anos de 2018 a 2021.

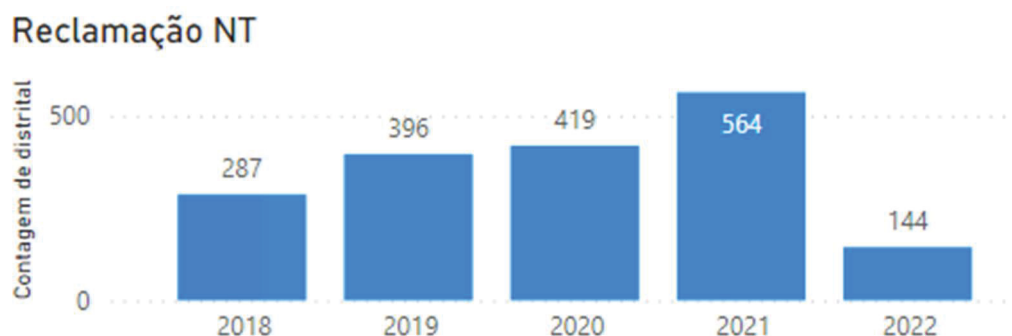
Figura 6 – Relatório Power BI - Dados DEC/FEC por alimentador



FONTE: Elaborado pelo autor, 2022.

A figura 7 mostra a quantidade de reclamações de nível de tensão entre os anos de 2018 a fevereiro de 2022.

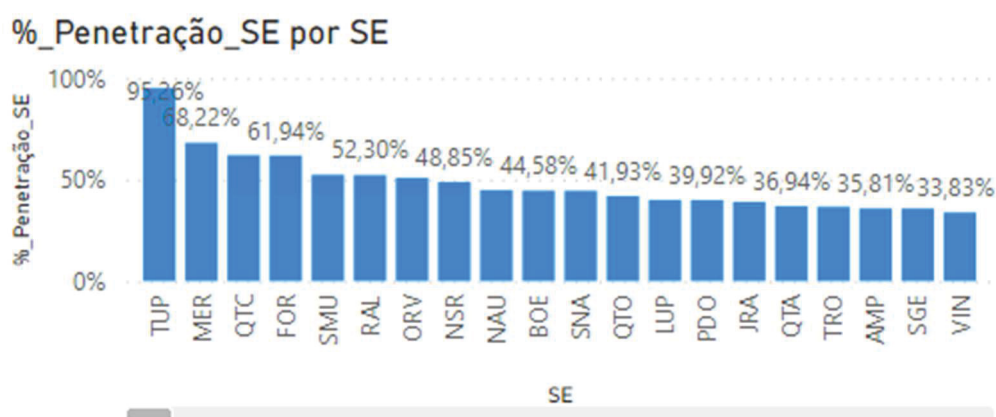
Figura 7 – Relatório Power BI - Reclamações de NT (Nível de Tensão)



FONTE: Elaborado pelo autor, 2022.

Realizado cálculo de grau de penetração de todas as subestações, no gráfico 8, mostra o grau de penetração de cada subestação.

Figura 8 – Relatório Power BI - % Penetração por SE



FONTE: Elaborado pelo autor, 2022.

O mapa, figura 9, visualizamos a proporcionalidade de grau de penetração por subestação separados por regional.

Figura 9 – Relatório Power BI – Mapa % Penetração por SE



FONTE: Elaborado pelo autor, 2022.

A tabela 5 mostra o histórico da entrada de geração distribuída, quantidade e tipo da fonte.

TABELA 5 – Relatório Power BI – Tabela N° de GDs, por Tipo e Ano de instalação

Ano	N° GDs	Potencia Instala MW
2013	4	0,07
BIOMASSA	1	0,03
SOLAR	3	0,04
2014	20	0,27
BIOMASSA	2	0,18
SOLAR	18	0,10
2015	96	0,49
EOLICA	2	0,02
SOLAR	94	0,48
2016	524	4,24

FONTE: Elaborado pelo autor, 2022.

Na tabela 6, mostra as informações dos alimentadores, por Regional, Subestação, Nome do Alimentador, quantidade de unidades consumidoras com GDs, Potência Nominal Primária (SE-Fonte), Potência Instalada MW (GD), % de

Penetração, quantidade de reclamações por nível de tensão, UC Posto (nº de clientes conectados com um GD no mesmo circuito), Consumidores por alimentador.

TABELA 6 – Relatório Power BI – Tabela Informações por Alimentador

Regional	SE	NUM_ALIM_OPER	Nome	Nº GDs	Potência Nominal Primária	Potência Instala MW	%_Penetração_SE	Nº Reclamações	UC Posto TF	Consumidores
Centro-Sul	PIT	728405194	15 DE NOVENBRO	24	41,67	0,27	0,66%		967	14126
Leste	TNS	750040402	34.5 RA PLUMBUM	1	20,83	0,01	0,02%		4	7497
Centro-Sul	IMB	725825993	7 DE SETEMBRO	43	41,67	0,41	0,98%	1	1563	15774
Noroeste	QNO	756296788	ÂDGUA DA PRATA	2	6,25	0,04	0,69%		6	388
Centro-Sul	CTO	751702117	ABAPA	2	83,34	0,04	0,05%		35	4416
Noroeste	JDT	728675961	ABELARDO	76	83,34	0,59	0,71%	1	3614	26949
Noroeste	NVE	726861979	ABELHA GRANDE	8	41,66	0,21	0,51%	1	14	342

FONTE: Elaborado pelo autor, 2022.

O Power BI possui uma interação dinâmica com toda a base modelada, desta forma tivemos um ganho no tempo da análise de dados, devido com apenas um filtro por regional, subestação e/ou alimentador, verifica-se as informações dos dados comparando a qualidade do fornecimento com o grau de penetração da geração distribuída.

3.2.2 D Definição do Grau de Penetração

O grau de penetração para o trabalho foi calculado conforme equação informada no capítulo anterior. O cálculo foi realizado para verificar o grau de penetração do alimentador na subestação e para verificar o grau de penetração no transformador (MT/BT) da rede de distribuição, com ligação a uma unidade consumidora com geração distribuída.

3.2.3 Grau de Penetração AT (SEs AT/MT ou SEs MT/MT)

O cálculo foi realizado para verificar o grau de penetração do alimentador na subestação, no qual foi constatado que não há um grau de penetração superior a 50% nos alimentadores da distribuidora de energia estudada, desta forma foram analisados os alimentadores com grau de penetração entre 30 e 50%.

3.2.4 Grau de Penetração MT (MT/BT)

Calculado o grau de penetração nos transformadores (MT/BT) das unidades consumidoras reclamantes de nível de tensão, para analisar o tipo de consumidor

(residencial, comercial e/ou industrial) e para verificar o percentual de grau de penetração desses circuitos. Nos transformadores da rede de distribuição encontram-se níveis elevados de penetração, chegando a 100% da potência nominal do transformador.

Elaborado uma escala para determinar os níveis de penetração das unidades consumidoras com GDs, a nível de transformadores (MT/BT) de rede de distribuição, conforme tabela 7.

TABELA 7 – Escala de Grau de Penetração Transformador (MT/BT)

Escala	Grau de Penetração MT/BT
5	80% a 100%
4	60% a 80%
3	40% a 60%
2	20% a 40%
1	0 a 20%

FONTE: Elaborado pelo autor, 2022.

3.2.5 DEFINIÇÃO DO MÉTODO

Será realizado comparativo dos alimentadores com maior grau de penetração, com o acompanhamento dos indicadores de continuidade DEC/FEC e conformidade do nível de tensão, anteriores e posteriores a instalação dos sistemas de GD, para verificar se há influência na qualidade de fornecimento da concessionária.

Para isso, foram extraídas as bases de dados:

- indicadores de qualidade de fornecimento, 2018 a 2021
- reclamações de consumidores sobre níveis de tensão; 2018 a 2022
- dados das unidades consumidoras com geração distribuída; até janeiro de 2022
- dados das fontes primárias (SEs);

A modelagem dos dados foi criada no software Power BI, onde conseguiu-se visualizar em gráficos, mapas e tabelas, os dados por alimentador.

Analísado primeiramente a influência da geração distribuída nos gráficos de corrente, ano a ano, conforme histórico da entrada da GD nos alimentadores. Isso se faz necessário para se certificar da existência de influência do grau de penetração da geração distribuída nos alimentadores e seus impactos na curva de corrente no decorrer de 24 horas.

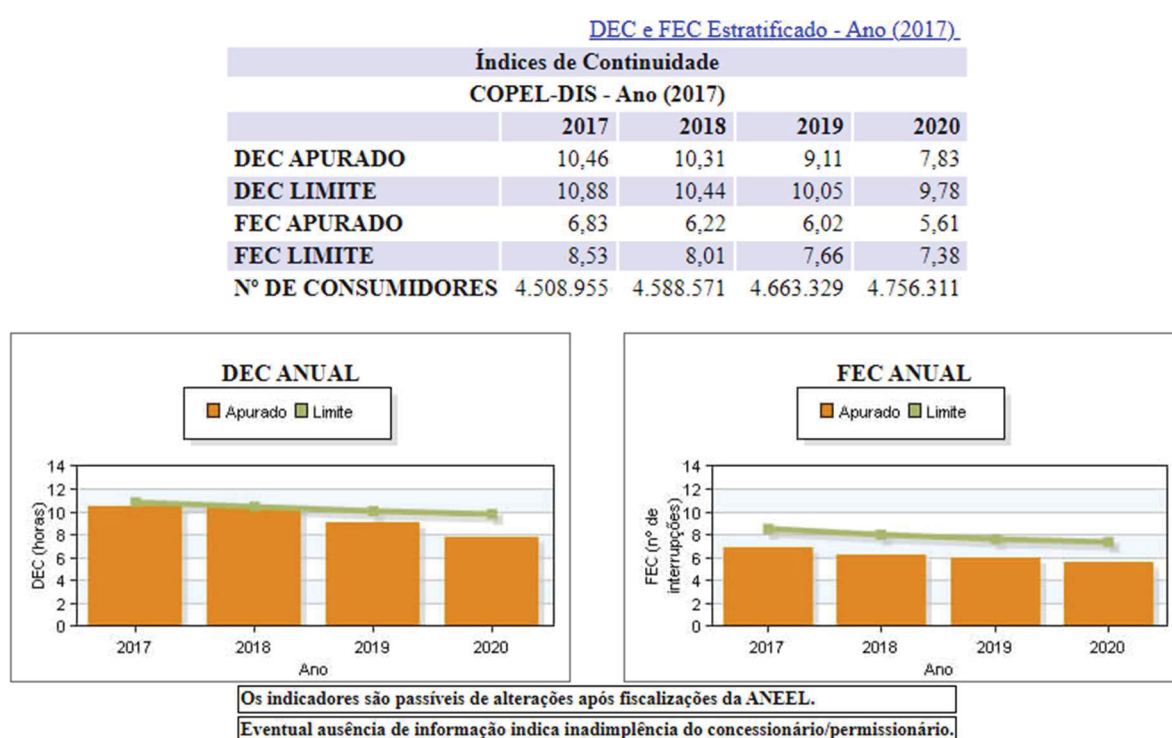
Após avaliou-se o comportamento nos alimentadores com o maior grau de penetração a partir da modelagem dos dados, com o acompanhamento dos indicadores de continuidade DEC/FEC e conformidade do nível de tensão. Por fim, a análise é feita para avaliar se há influência na qualidade de fornecimento exigidos pela ANEEL a concessionária com relação ao grau de penetração de GD nos alimentadores.

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E ANÁLISE

Analizou-se o grau de penetração de GD com os dados de continuidade DEC/FEC e conformidade do nível de tensão dos alimentadores.

Conforme apuração dos dados da ANEEL, dos Indicadores Coletivos de Continuidade (DEC e FEC), da concessionária avaliada, nos anos de 2017 a 2020, observa-se uma redução gradativa da duração e frequência nas interrupções do sistema elétrico. Conforme figura 10.

Figura 10 – Indicador Continuidade DEC/FEC – 2017 a 2020



Fonte: ANEEL -

https://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/indicadores_de_qualidade/resultado.cfm

Além disso foram apurados os dados da ANEEL, referente aos Indicadores de Conformidade do Nível de Tensão (DRP e DRC), que houve um aumento nas quantidades e nas compensações pagas pela violação dos indicadores individuais. Conforme tabela 8, verifica-se que entre os anos de 2018 e 2019, houve um aumento superior a 500% nas compensações, porém no ano de 2020 já houve uma redução de 11%.

TABELA 8 – Quantidade e Valor de Compensações - Indicador Conformidade do Nível de Tensão (DRP e DRC – 2011 a 2020)

Indicadores de conformidade do nível de tensão em regime permanente				
Região SUL				
COPEL-DIS				
ANO	DRCE	DRPE	Quantidade de compensações pagas	Valor de compensações (R\$)
2020	0,03	0,51	1110	304.071,82
2019	0,12	0,58	1312	341.331,93
2018	0,04	0,38	602	65.815,09
2017	0,02	0,34	572	54.382,54
2016	0,03	0,25	409	31.197,21
2015	0,04	0,34	312	79.191,23
2014	0,01	0,16	151	15.171,56
2013	0,01	0,11	422	48.423,25
2012	0,00	0,12	852	153.997,61
2011	0,01	0,16	1408	104.952,72
2010	0,00	0,12	0	0,00
2009	0,00	0,12		
2008	0,00	0,13		
2007	0,00	0,15		
2006	0,01	0,18		
2005	0,01	0,20		
2004	0,01	0,30		
2003	0,01	0,72		
As informações para o ano corrente são parciais, pois o envio dos dados ainda não está completo				
A quantidade e o valor pago das compensações só estão disponíveis a partir de 2010				
DRCE	Média dos indicadores individuais DRC			
DRPE	Média dos indicadores individuais DRP			
Os indicadores são passíveis de alterações após fiscalização da ANEEL.				

Fonte: ANEEL

https://www2.aneel.gov.br/aplicacoes_liferay/Indicadores_de_conformidade_nivel_tensao/pesquisa.cfm?regiao=SU

Realizado o cálculo do grau de penetração AT, dos alimentadores, onde constata-se que não há um grau de penetração superior a 50%, desta forma foram analisados os alimentadores com grau de penetração entre 30 e 50%. Conforme relatório (*dashboard*) criado e comentado no item anterior, segue a lista na tabela 9 dos alimentadores analisados no estudo.

TABELA 9 – Lista dos Alimentadores Analisados

ALIMENTADOR	GRAU DE PENETRAÇÃO
FND	46,92%
JTS	46,68%
MAS	42,29%
SSB	33,96
CGO	31,11

FONTE: Elaborado pelo autor, 2022.

4.1 ANÁLISE DA FAIXA DE PENETRAÇÃO DE 30 A 50%

Na análise dos alimentadores foram levantados os dados de n° de consumidores, n° de GDs instaladas no alimentador, potência instalada de GD por alimentador e o grau de penetração do alimentador, essas informações também foram agrupadas por subestações.

Verificado a potência instalada de geração distribuída por ano e extraído o gráfico de corrente por ano e desta forma foi analisado a influência da geração distribuída na curva de corrente dos alimentadores no decorrer do tempo.

Apurado o comportamento do indicador de continuidade (DEC e FEC), no período de 2018 a 2021 e realizado comparação com o aumento do grau de penetração AT por alimentador.

Verificado as reclamações de conformidade de nível de tensão no período de 2018 a janeiro de 2022 e realizado comparação com o aumento do grau de penetração AT por alimentador. Além disso, foi analisado em conjunto o grau de penetração MT por escala, a quantidade de unidades consumidoras e o tipo de consumidor reclamante.

4.1.1 Informações Alimentador FND:

- N° de consumidores 1907,
- N° de GDs instaladas 26,
- Potência Instalada de GD 1,17 MW,
- Grau de penetração Alimentador 46,92%.

A tabela 10 mostra o crescimento da GD no alimentador.

TABELA 10 – Crescimento GD Alimentador FND por ano.

Ano	Nº GDs	Potencia Instala MW
2019	2	0,15
SOLAR	2	0,15
2020	9	0,46
SOLAR	9	0,46
2021	13	0,46
SOLAR	13	0,46
2022	2	0,10
SOLAR	2	0,10
Total	26	1,17

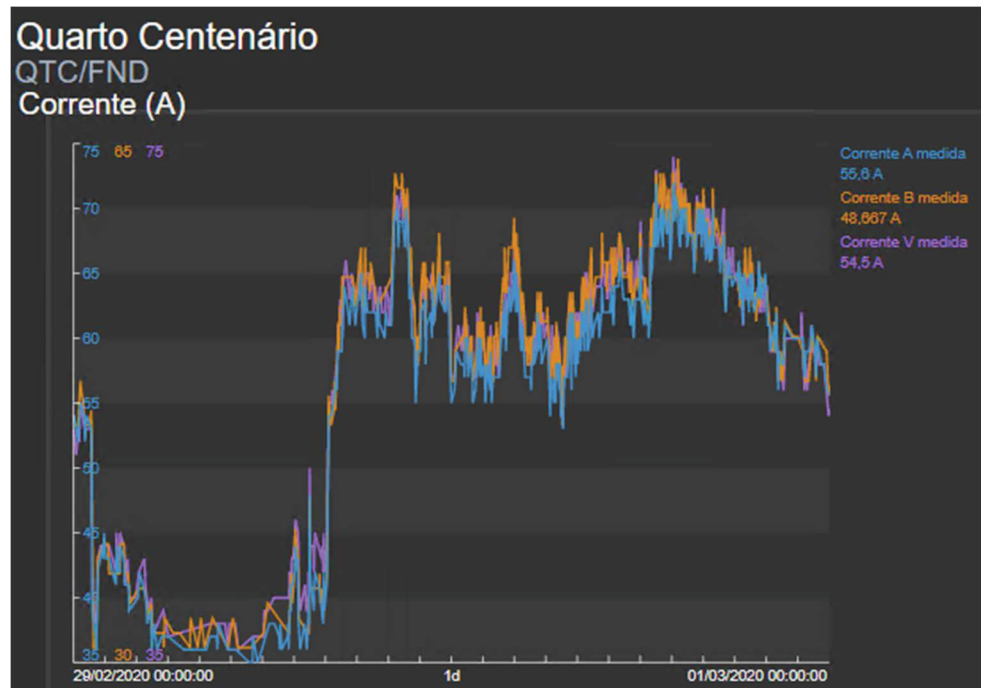
FONTE: Elaborado pelo autor, 2022.

Informações SE Fonte QTC:

- Tensão Primária SE 34,5kV,
- Potência do Transformador de 2,5MVA,
- Grau de Penetração SE 62,13%.
- Nº Alimentadores 2,
- Nº de consumidores 6895,
- Nº de GDs instaladas 73,
- Potência GD Instalada 1,55MW.

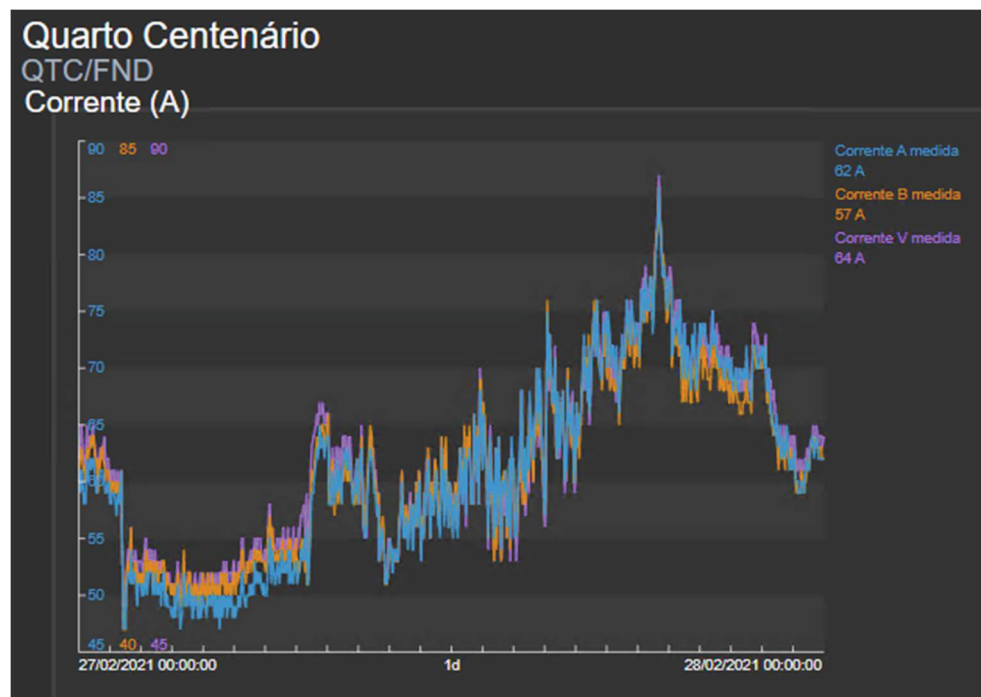
As figuras (2020 a 2022) abaixo, refletem como a curva de corrente do alimentador no decorrer dos anos foi alterada, devido a entrada da geração distribuída no alimentador.

Figura 11 – Curva de Corrente – AL FND – 2020 – 6 % de Grau de Penetração.



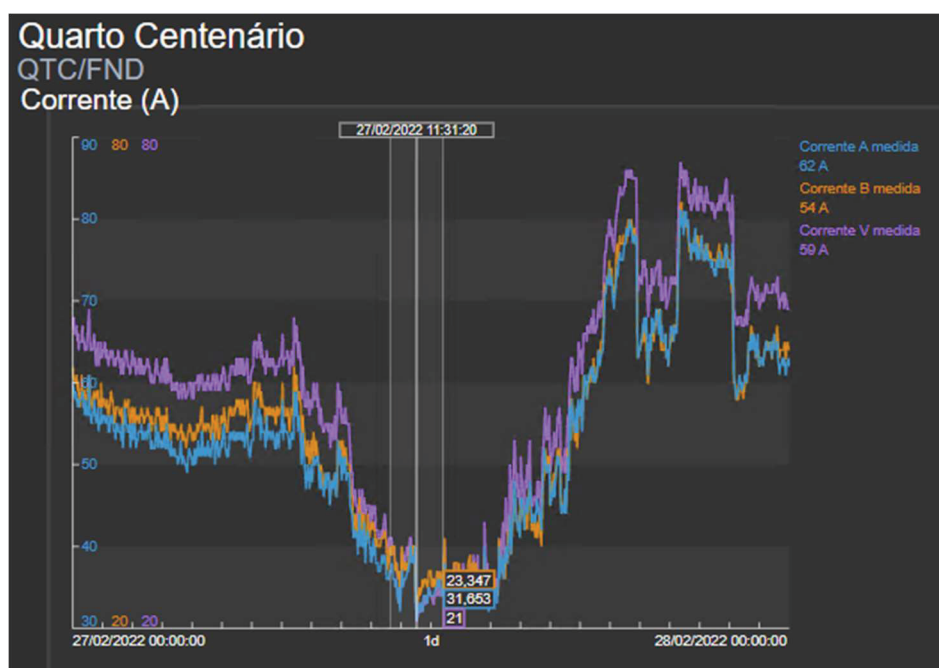
FONTE: Elaborado pelo autor, 2022.

Figura 12 – Curva de Corrente – AL FND – 2021 – 24,4 % de Grau de Penetração.



FONTE: Elaborado pelo autor, 2022.

Figura 13 – Curva de Corrente – AL FND – 2022 – 46,92 % de Grau de Penetração.



FONTE: Elaborado pelo autor, 2022.

Verificou-se conforme o aumento de geração distribuída, que no meio do dia, período de maior incidência de radiação solar, a GD injeta corrente na rede de distribuição e por isso alivia a carga do alimentador que é fornecida pela subestação. Com o grau de penetração AT mais elevado quase é possível observar, com a geração distribuída solar, a inversão do fluxo de corrente do alimentador.

Realizado comparativo do aumento de grau de penetração com o indicador de continuidade, houve melhora do DEC/FEC, inclusive ocorreu uma queda considerável entre os anos de 2020 e 2021, conforme figura 14.

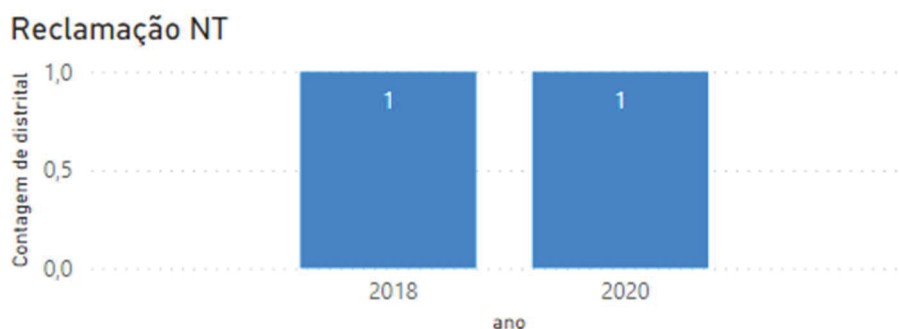
Figura 14 – Indicador DEC/FEC – AL FND – 2018 a 2021.



FONTE: Elaborado pelo autor, 2022.

O número de reclamações por nível de tensão no alimentador é baixo, a reclamação ocorrida em 2018 não foi considerada uma vez que não havia GD instalada, em 2020 há apenas um registro, porém nos anos subsequentes não houve reclamações. Conforme figura 15 abaixo.

Figura 15 – Reclamações Nível de tensão – AL FND – 2018 a 2022.



FONTE: Elaborado pelo autor, 2022.

O tipo de consumidor reclamante do nível de tensão é do grupo comercial e o grau de penetração MT é de 100%, conforme tabela 11.

TABELA 11 – Unidade consumidora reclamante.

Escala_Penetração_coluna	Posto MT	POT_INST_POSTO	Potencia Instalada	%_Penetração_MT	QTDE_UC_RESID_HPT	QTDE_UC_COMERC_HPT	QTDE_UC_INDUST_HPT	TOTAL_UC
5	1	150,00	150,00	100,00%	0	1	0	1
2020	1	150,00	150,00	100,00%	0	1	0	1
2018	1	150,00	150,00	100,00%	0	1	0	1
Total	1	150,00	150,00	100,00%	0	1	0	1

FONTE: Elaborado pelo autor, 2022.

No alimentador FND, como resultado parcial não vemos interferência do grau de penetração elevado, tanto nos indicadores de continuidade, quanto no indicador de conformidade, devido os mesmos apresentarem melhora durante o período avaliado.

4.1.2 Informações Alimentador JTS:

- N° de consumidores 3822,
- n° de GDs instaladas 57,
- potência Instalada de GD 1,96 MW,
- grau de penetração Alimentador 46,68%.

A tabela 12 mostra o crescimento da GD no alimentador.

TABELA 12 – Crescimento GD Alimentador JTS por ano.

Ano	Nº GDs	Potencia Instala MW
2017	1	0,07
SOLAR	1	0,07
2018	2	0,01
SOLAR	2	0,01
2019	6	0,09
SOLAR	6	0,09
2020	26	0,35
SOLAR	26	0,35
2021	22	1,44
HIDRAULICA	1	1,00
SOLAR	21	0,44
Total	57	1,96

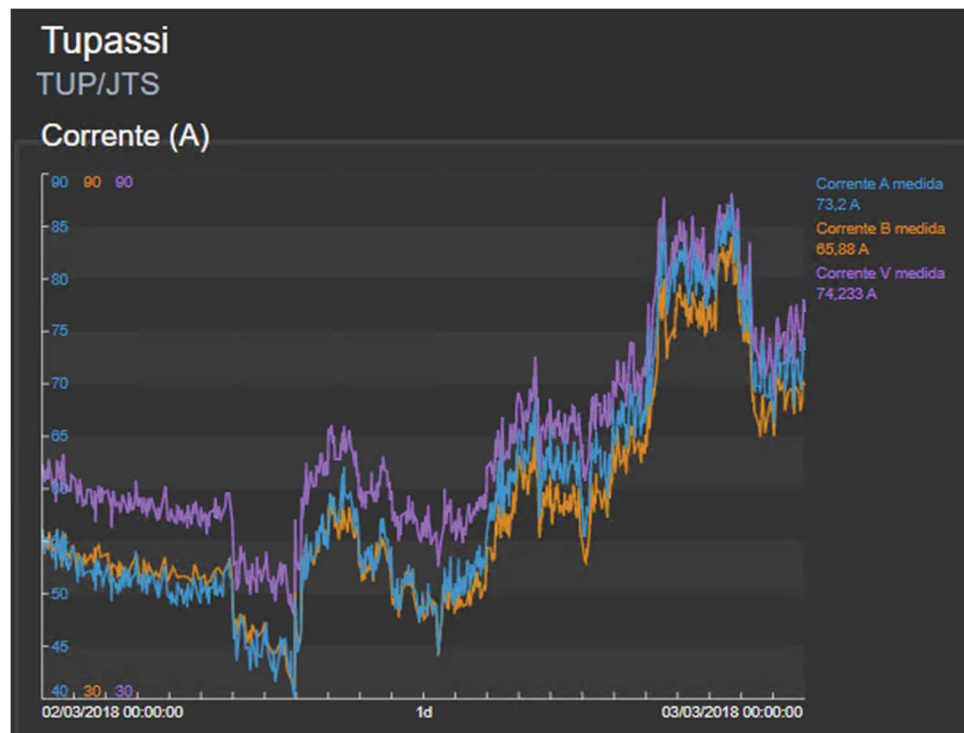
FONTE: Elaborado pelo autor, 2022.

Informações SE Fonte TUP

- Tensão Primária SE 34,5kV,
- Potência do Transformador de 4,2MVA,
- Grau de Penetração SE 95,26%.
- Nº Alimentadores 3,
- Nº de consumidores 14.280,
- Nº de GDs Instaladas 210,
- Potência GD Instalada 4 MW.

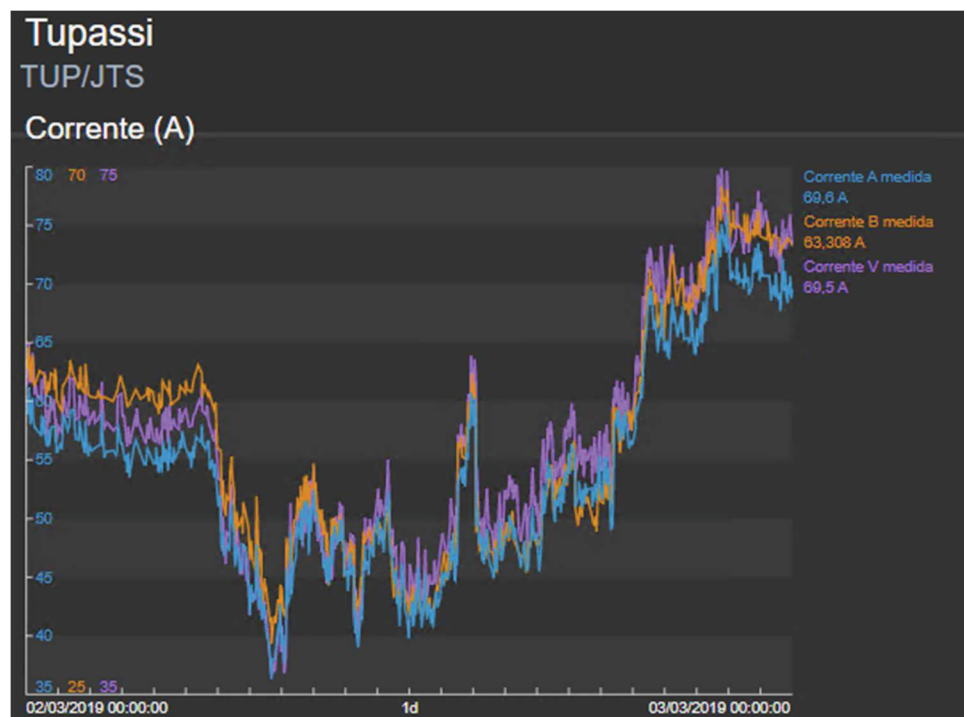
Os gráficos (2018 a 2022) abaixo, reflete como a curva de corrente do alimentador no decorrer dos anos foi alterada, devido a entrada da geração distribuída no alimentador. Apesar de ser uma análise preliminar vemos que não está se refletindo diretamente nos indicadores de qualidade da concessionária

Figura 16 – Curva de Corrente – AL JTS – 2018 – 1,66 % de Grau de Penetração.



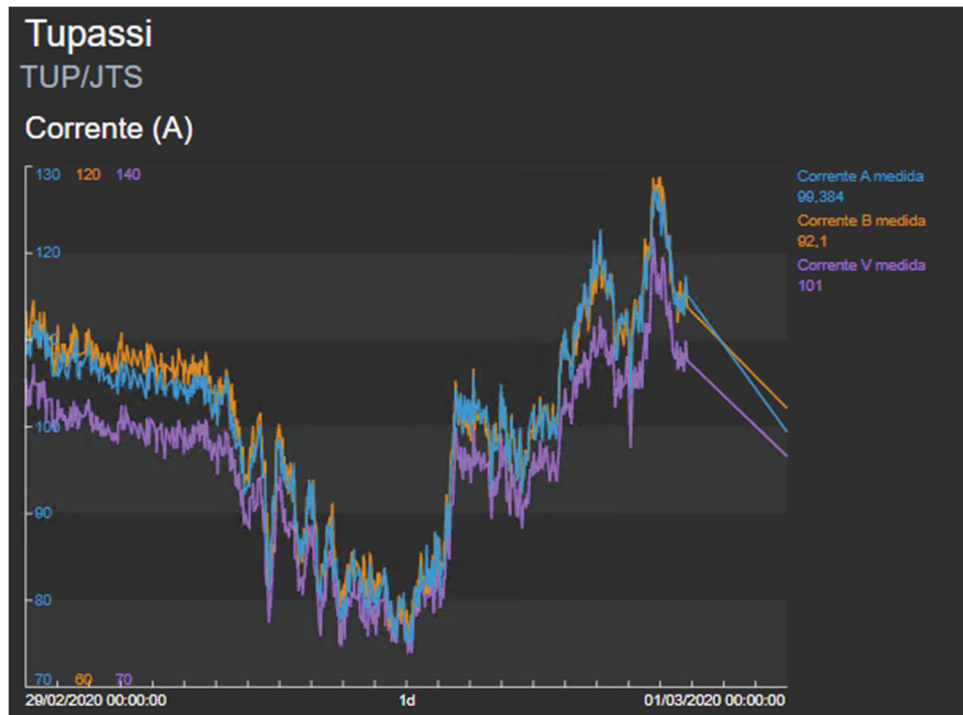
FONTE: Elaborado pelo autor, 2022.

Figura 17 – Curva de Corrente – AL JTS – 2019 – 1,9 % de Grau de Penetração.



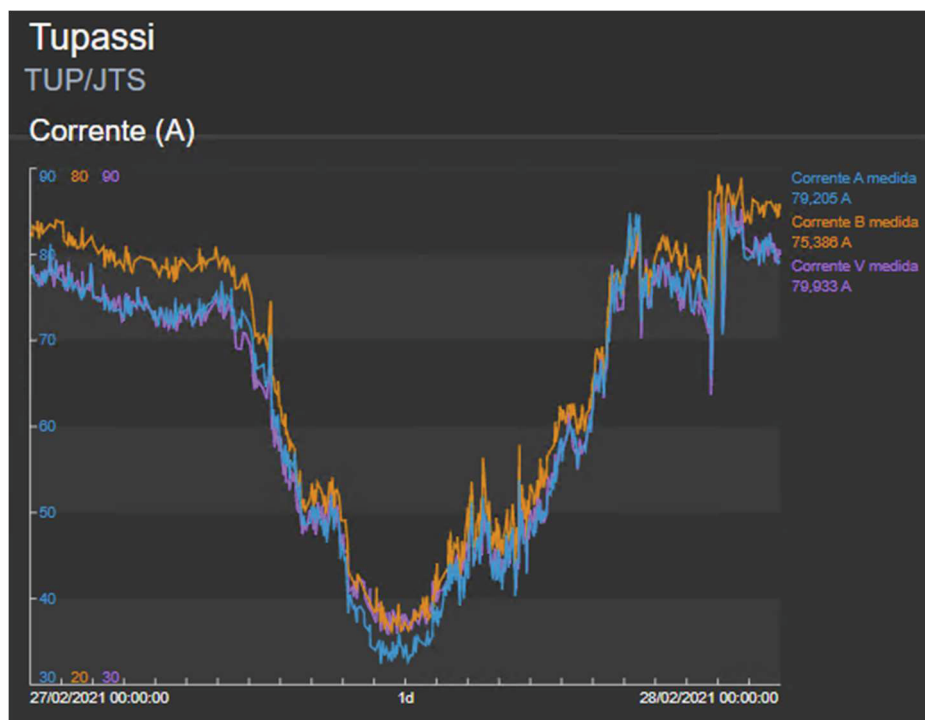
FONTE: Elaborado pelo autor, 2022.

Figura 18 – Curva de Corrente – AL JTS – 2020 – 4,05 % de Grau de Penetração.



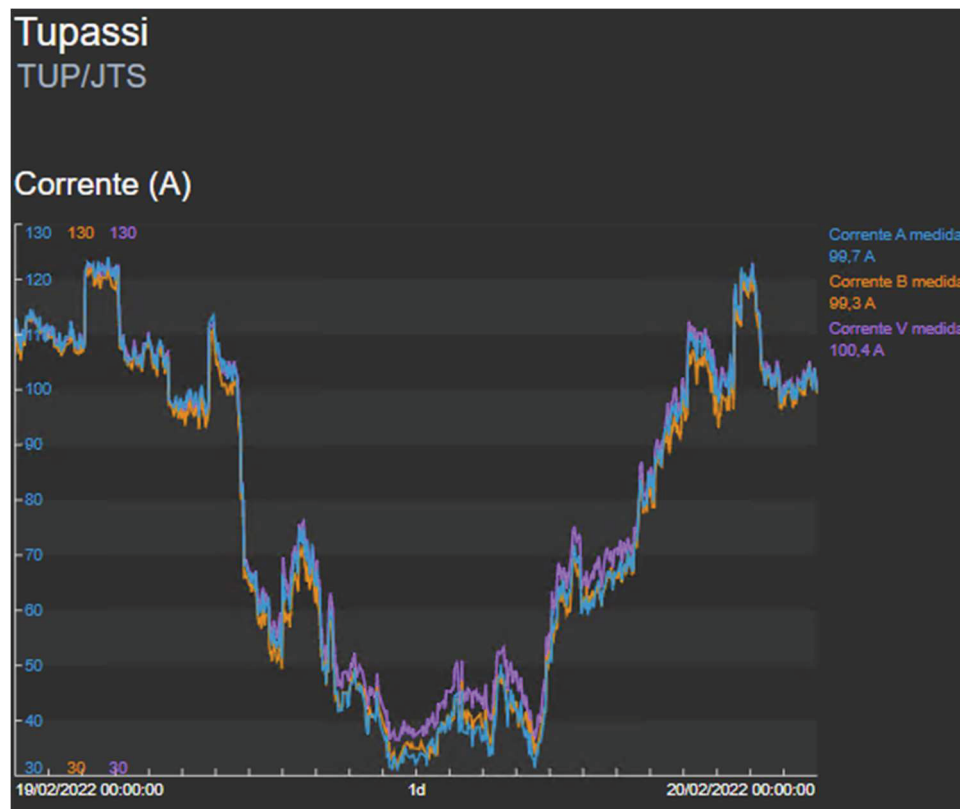
FONTE: Elaborado pelo autor, 2022.

Figura 19 – Curva de Corrente – AL JTS – 2021 – 12,38% de Grau de Penetração.



FONTE: Elaborado pelo autor, 2022.

Figura 20 – Curva de Corrente – AL JTS – 2022 – 46,68% de Grau de Penetração.



FONTE: Elaborado pelo autor, 2022.

Verificou-se conforme o aumento de geração distribuída, que no meio do dia, período de maior incidência de radiação solar, a GD injeta corrente na rede de distribuição e por isso alivia a carga do alimentador que é fornecida pela subestação. Com o grau de penetração AT mais elevado quase é possível observar, com a geração distribuída solar, a inversão do fluxo de corrente do alimentador.

Realizado comparativo do aumento de grau de penetração com o indicador de continuidade, houve piora gradativa no DEC entre os anos de 2018 a 2020 e se manteve acima de 15 horas em 2021, porém teve uma queda considerável entre os anos de 2020 e 2021 no FEC, conforme figura 21.

Figura 21 – Indicador DEC/FEC – AL JTS – 2018 a 2021.

Média de DEC e Média de FEC por Ano

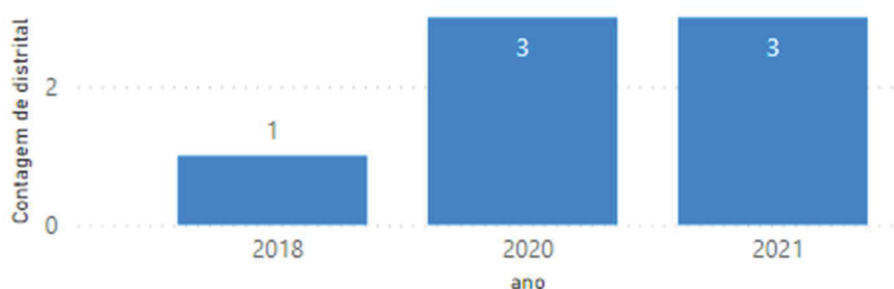


FONTE: Elaborado pelo autor, 2022.

O número de reclamações por nível de tensão no alimentador se manteve constante no período de 2020 e 2021. Conforme figura 22 abaixo.

Figura 22 – Reclamações Nível de tensão – AL JTS – 2018 a 2022.

Reclamação NT



FONTE: Elaborado pelo autor, 2022.

O tipo de consumidores reclamantes do nível de tensão é do grupo comercial e o grau de penetração MT dos transformadores está entre 40 e 100%, conforme tabela 13.

TABELA 13 – Unidades consumidoras reclamantes, AL JTS.

Escala_Penetração_coluna	Contagem de ano	POT_INST_POSTO	Potencia Instalada	% Penetração_MT	QTDE_UC_RESID_HPT	QTDE_UC_COMERC_HPT	QTDE_UC_INDUST_HPT	TOTAL_UC
5	3	90,00	94,00	104,44%	0	3	0	3
2021	2	15,00	21,00	140,00%	0	1	0	1
2018	1	75,00	73,00	97,33%	0	2	0	2
4	2	75,00	50,00	66,67%	0	1	0	1
2021	1	75,00	50,00	66,67%	0	1	0	1
2020	1	75,00	50,00	66,67%	0	1	0	1
3	2	10,00	5,00	50,00%	0	1	0	1
2020	2	10,00	5,00	50,00%	0	1	0	1
Total	7	175,00	149,00	85,14%	0	5	0	5

FONTE: Elaborado pelo autor, 2022.

No alimentador JTS, como resultado parcial não vemos interferência do grau de penetração elevado, no indicador de continuidade de FEC, com relação ao DEC vemos uma piora no período avaliado e com relação ao indicador de nível de tensão vemos uma constância nas reclamações.

4.1.3 Informações Alimentador AMS:

- N° de consumidores 6242,
- n° de GDs instaladas 126,
- potência Instalada de GD 1,90 MW,
- grau de penetração Alimentador 42,29%.

A tabela 14 mostra o crescimento da GD no alimentador.

TABELA 14 – Crescimento GD Alimentador AMS por ano.

Ano	N° GDs	Potencia Instala MW
2019	14	0,08
SOLAR	14	0,08
2020	45	0,54
SOLAR	45	0,54
2021	61	1,16
SOLAR	61	1,16
2022	6	0,12
SOLAR	6	0,12
Total	126	1,90

FONTE: Elaborado pelo autor, 2022.

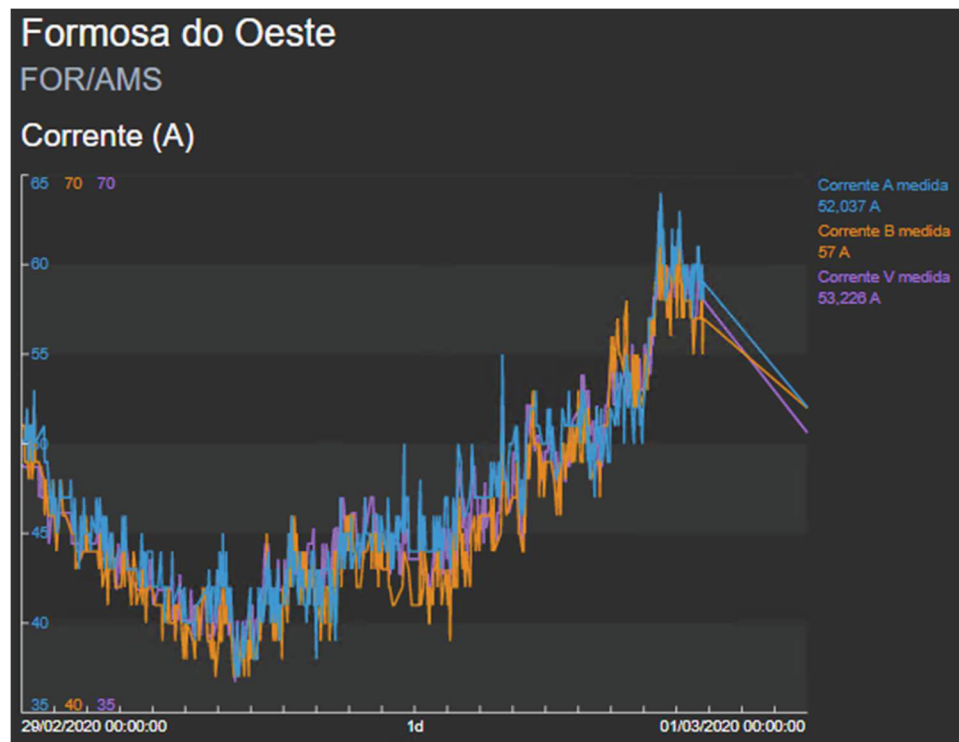
Informações SE Fonte FOR

- Tensão Primária SE 34,5kV,
- Potência do Transformador de 4,5MVA,
- Grau de Penetração SE 61,94%.
- N° Alimentadores 2,
- N° de consumidores 12.174,
- N° de GDs Instaladas 205,
- Potência GD Instalada 2,79 MW.

Os gráficos (2020 a 2022) abaixo, reflete como a curva de corrente do alimentador no decorrer dos anos foi alterada, devido a entrada da geração distribuída

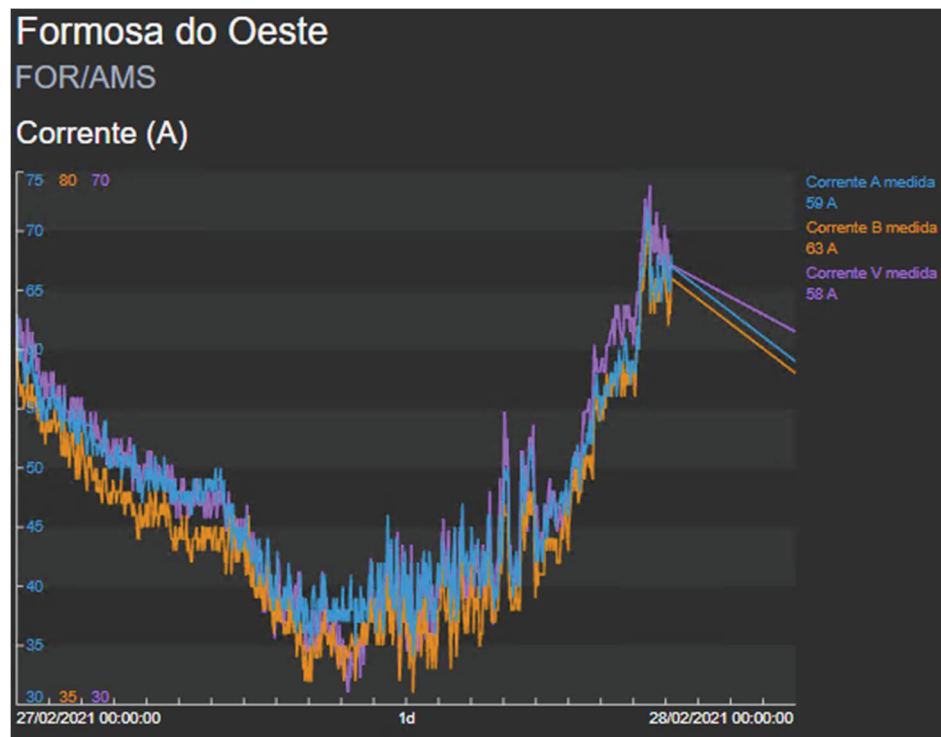
no alimentador. Apesar de ser uma análise preliminar vemos que não está se refletindo diretamente nos indicadores de qualidade da concessionária.

Figura 23 – Curva de Corrente – AL AMS – 2020 – 1,77 % de Grau de Penetração.



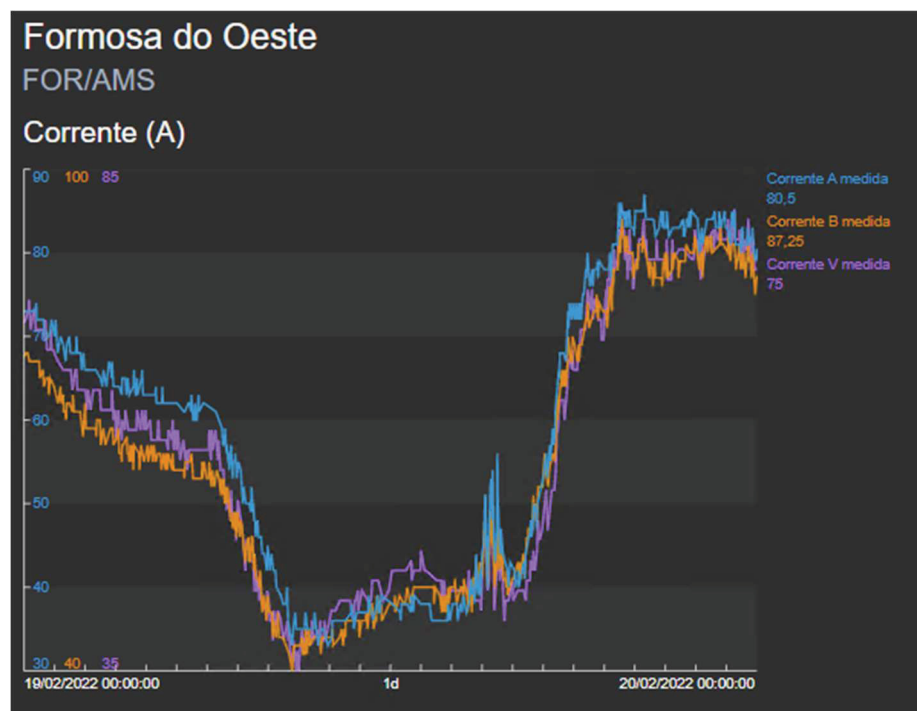
FONTE: Elaborado pelo autor, 2022.

Figura 24 – Curva de Corrente – AL AMS – 2021 – 13,77 % de Grau de Penetração.



FONTE: Elaborado pelo autor, 2022.

Figura 25 – Curva de Corrente – AL AMS – 2022 – 42,29 % de Grau de Penetração.



FONTE: Elaborado pelo autor, 2022.

Verificou-se conforme o aumento de geração distribuída, que no meio do dia, período de maior incidência de radiação solar, a GD injeta corrente na rede de distribuição e por isso alivia a carga do alimentador que é fornecida pela subestação. Com o grau de penetração AT mais elevado quase é possível observar, com a geração distribuída solar, a inversão do fluxo de corrente do alimentador.

Realizado comparativo do aumento de grau de penetração com o indicador de continuidade, houve melhora gradativa no DEC/FEC, conforme figura 26.

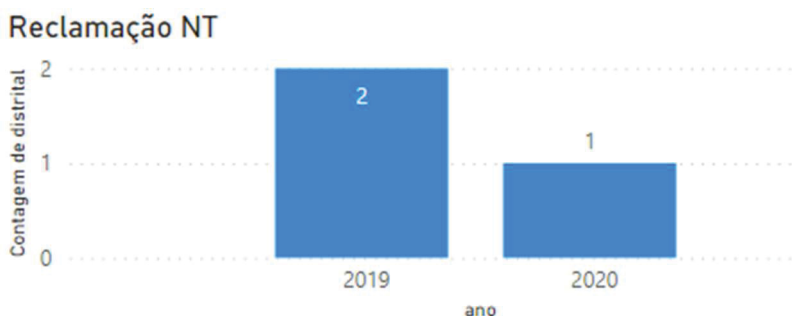
Figura 26 – Indicador DEC/FEC – AL AMS – 2018 a 2021.



FONTE: Elaborado pelo autor, 2022.

O número de reclamações por nível de tensão no alimentador houve uma redução, não havendo nenhuma reclamação em 2021 e 2022 Conforme figura 27 abaixo.

Figura 27 – Reclamações Nível de tensão – AL AMS – 2018 a 2022.



FONTE: Elaborado pelo autor, 2022.

O tipo de consumidores reclamantes do nível de tensão é do grupo residencial e comercial e o grau de penetração da rede de distribuição, na escala 2, 3 e 5, conforme tabela 15.

TABELA 15 – Unidades consumidoras reclamantes, AL AMS.

Escala_Penetração_coluna	Contagem de ano	POT_INST_POSTO	Potencia Instalada	% Penetração_MT	QTDE_UC_RESID_HPT	QTDE_UC_COMERC_HPT	QTDE_UC_INDUST_HPT	TOTAL_UC
5	1	45,00	40,00	88,89%	5	5	0	10
2019	1	45,00	40,00	88,89%	5	5	0	10
3	1	50,00	24,60	49,20%	0	6	0	6
2019	1	50,00	24,60	49,20%	0	6	0	6
2	1	45,00	10,00	22,22%	0	1	0	1
2020	1	45,00	10,00	22,22%	0	1	0	1
Total	3	140,00	74,60	53,29%	5	12	0	17

FONTE: Elaborado pelo autor, 2022.

No alimentador AMS, como resultado parcial não vemos interferência do grau de penetração elevado, tanto nos indicadores de continuidade, quanto no indicador de conformidade, devido os mesmos apresentarem melhora durante o período avaliado.

4.1.4 Informações Alimentador SSB:

- N° de consumidores 1524,
- n° de GDs instaladas 27,
- potência Instalada de GD 1,70 MW,
- grau de penetração Alimentador 33,96%.

A tabela 16 mostra o crescimento da GD no alimentador.

TABELA 16 – Crescimento GD Alimentador SSB por ano.

Ano	N° GDs	Potencia Instala MW
2019	5	0,25
SOLAR	5	0,25
2020	3	0,06
SOLAR	3	0,06
2021	18	1,35
BIOMASSA	1	1,00
SOLAR	17	0,35
2022	1	0,05
SOLAR	1	0,05
Total	27	1,70

FONTE: Elaborado pelo autor, 2022.

Informações SE Fonte ORV

- Tensão Primária SE 34,5kV,

- Potência do Transformador de 5MVA,
- Grau de Penetração SE 50,96%.
- N° Alimentadores 2,
- N° de consumidores 9.977,
- N° de GDs Instaladas 91,
- Potência GD Instalada 2,55 MW.

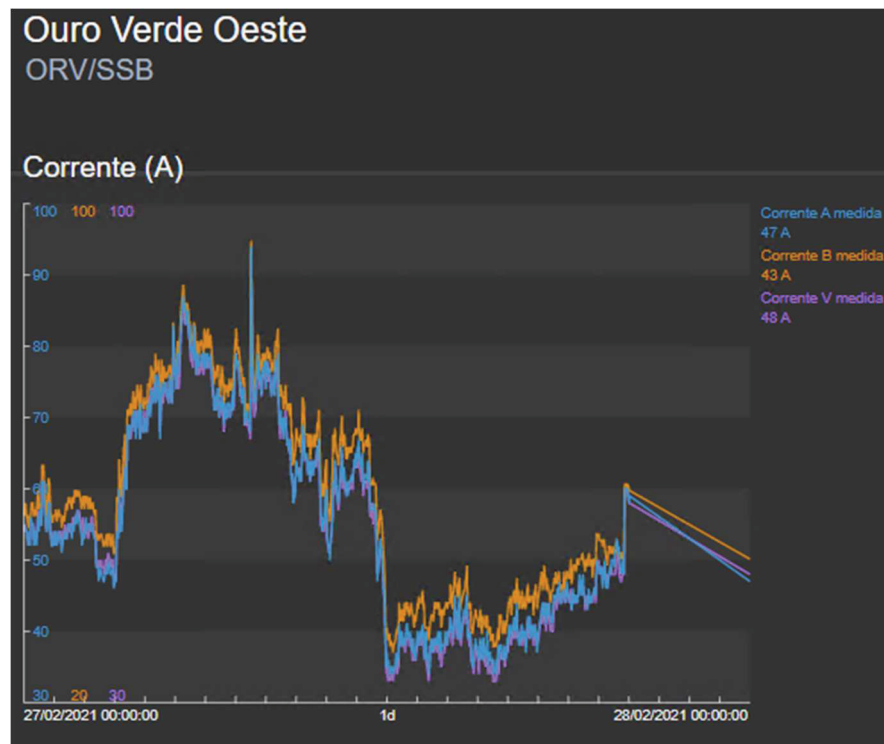
Os gráficos (2020 a 2022) abaixo, reflete como a curva de corrente do alimentador no decorrer dos anos foi alterada, devido a entrada da geração distribuída no alimentador. Apesar de ser uma análise preliminar vemos que não está se refletindo diretamente nos indicadores de qualidade da concessionária.

Figura 28 – Curva de Corrente – AL SSB – 2020 – 5 % de Grau de Penetração.



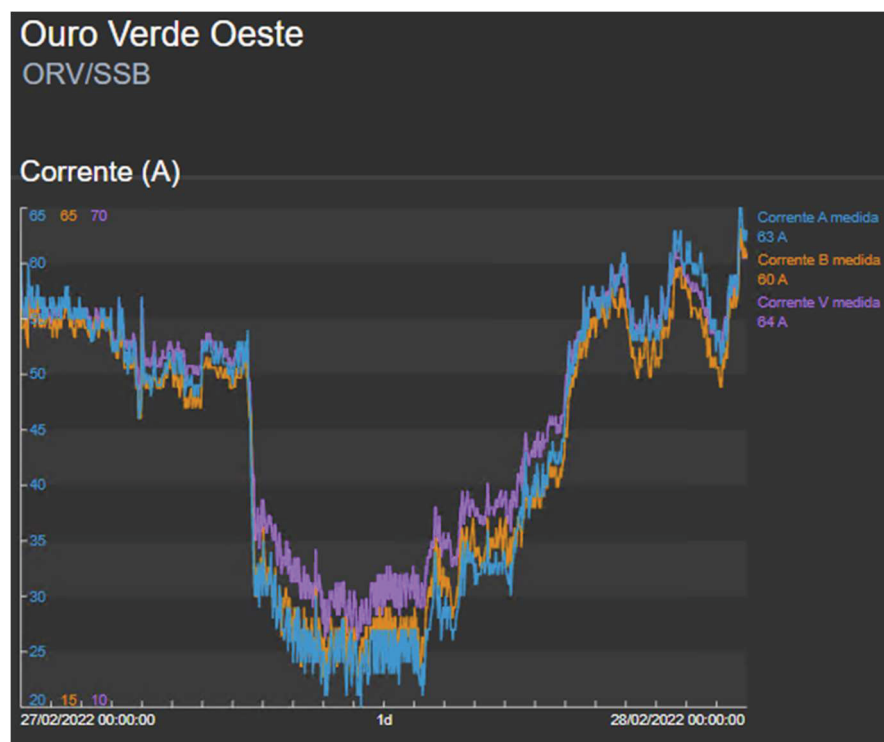
FONTE: Elaborado pelo autor, 2022.

Figura 29 – Curva de Corrente – AL SSB – 2021 – 6,2 % de Grau de Penetração.



FONTE: Elaborado pelo autor, 2022.

Figura 30 – Curva de Corrente – AL SSB – 2022 – 33,96 % de Grau de Penetração.



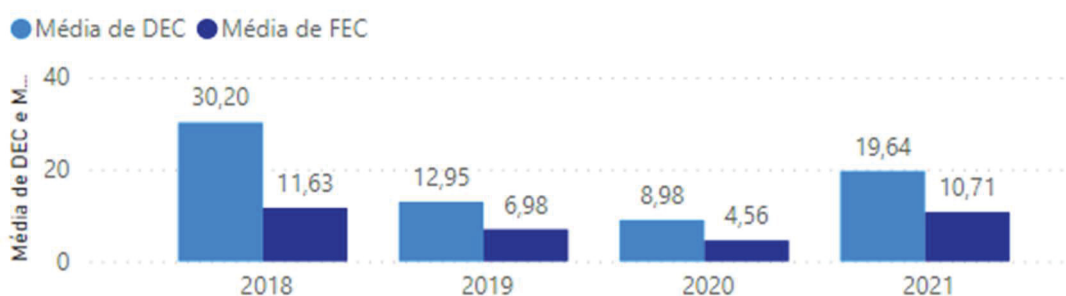
FONTE: Elaborado pelo autor, 2022.

Verificou-se conforme o aumento de geração distribuída, que no meio do dia, período de maior incidência de radiação solar, a GD injeta corrente na rede de distribuição e por isso alivia a carga do alimentador que é fornecida pela subestação. Com o grau de penetração AT mais elevado quase é possível observar, com a geração distribuída solar, a inversão do fluxo de corrente do alimentador.

Realizado comparativo do aumento de grau de penetração com o indicador de continuidade, houve melhora gradativa no DEC/FEC, conforme figura 31. Entre 2018 a 2020, em 2021 foi superior a 2020, mas inferior a 2018.

Figura 31 – Indicador DEC/FEC – AL SSB – 2018 a 2021.

Média de DEC e Média de FEC por Ano

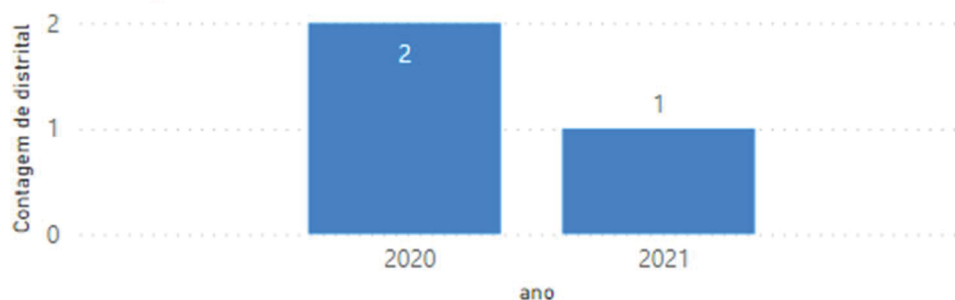


FONTE: Elaborado pelo autor, 2022.

O número de reclamações por nível de tensão no alimentador houve uma redução, não havendo nenhuma reclamação em 2021 e 2022 Conforme figura 32 abaixo.

Figura 32 – Reclamações Nível de tensão – AL SSB – 2018 a 2022.

Reclamação NT



FONTE: Elaborado pelo autor, 2022.

O tipo de consumidor reclamante do nível de tensão é do grupo industrial e o grau de penetração da rede de distribuição, na escala 5, conforme tabela 17.

TABELA 17 – Unidades consumidoras reclamantes, AL SSB.

Escala_Penetração_coluna	Contagem de ano	POT_INST_POSTO	Potencia Instalada	%_Penetração_MT	QTDE_UC_RESID_HPT	QTDE_UC_COMERC_HPT	QTDE_UC_INDUST_HPT	TOTAL_UC
5	3	1.000,00	1.000,00	100,00%	0	0	1	1
2021	1	1.000,00	1.000,00	100,00%	0	0	1	1
2020	2	1.000,00	1.000,00	100,00%	0	0	1	1
Total	3	1.000,00	1.000,00	100,00%	0	0	1	1

FONTE: Elaborado pelo autor, 2022.

No alimentador SSB, como resultado parcial não vemos interferência do grau de penetração elevado, nos indicadores de continuidade DEC e FEC, apesar de ter uma piora comparando os anos de 2020 e 2021, vemos que se pegarmos desde o início da apuração e se comparar apenas 2018 e 2021, há uma melhora nos indicadores de continuidade, no indicador de conformidade se verifica uma redução. Desta forma todos os indicadores apresentam uma melhora durante o período avaliado.

4.1.5 Informações Alimentador CGO:

- N° de consumidores 2640,
- n° de GDs instaladas 42,
- potência Instalada de GD 0,31 MW,
- grau de penetração Alimentador 31,11%.

A tabela 18 mostra o crescimento da GD no alimentador.

TABELA 18 – Crescimento GD Alimentador CGO por ano.

Ano	N° GDs	Potencia Instala MW
2019	6	0,04
SOLAR	6	0,04
2020	14	0,16
SOLAR	14	0,16
2021	22	0,12
SOLAR	22	0,12
Total	42	0,31

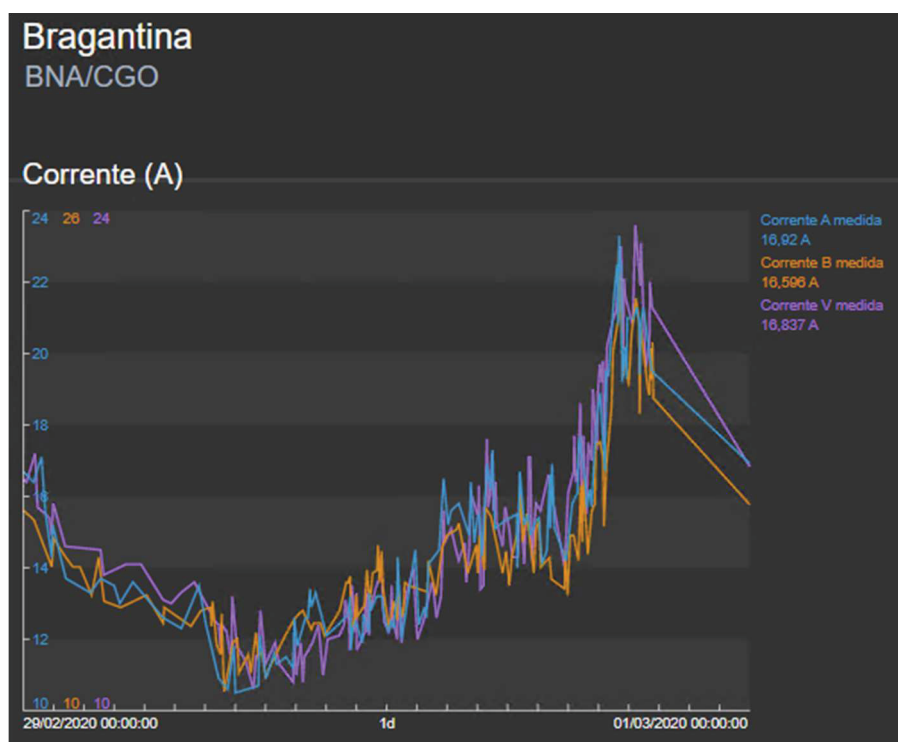
FONTE: Elaborado pelo autor, 2022.

Informações SE Fonte BNA

- Tensão Primária SE 34,5kV,
- Potência do Transformador de 1MVA,
- Grau de Penetração SE ,31,11%.
- N° Alimentadores 1,
- N° de consumidores 2.640,
- N° de GDs Instaladas 42,
- Potência GD Instalada 0,31 MW.

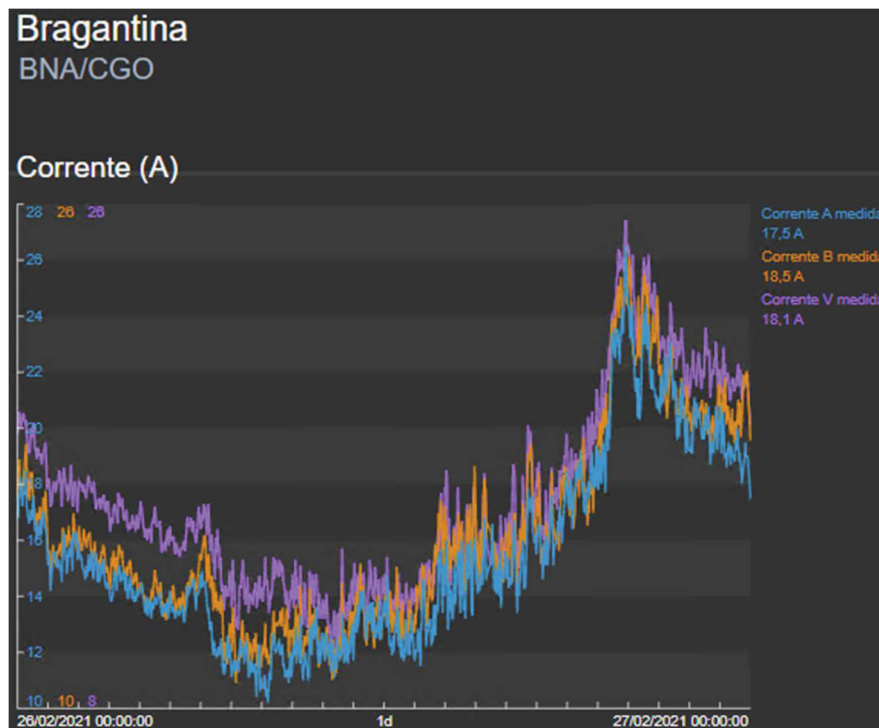
Os gráficos (2020 a 2022) abaixo, reflete como a curva de corrente do alimentador no decorrer dos anos foi alterada, devido a entrada da geração distribuída no alimentador. Apesar de ser uma análise preliminar vemos que não está se refletindo diretamente nos indicadores de qualidade da concessionária.

Figura 33 – Curva de Corrente – AL CGO – 2020 – 5 % de Grau de Penetração.



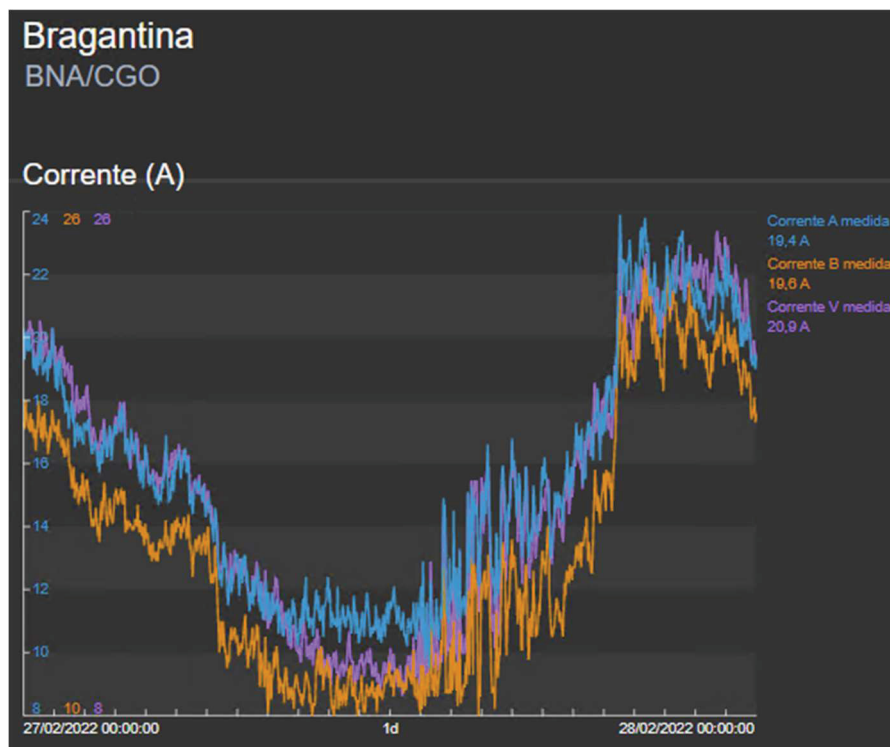
FONTE: Elaborado pelo autor, 2022.

Figura 34 – Curva de Corrente – AL CGO – 2021 – 6,2 % de Grau de Penetração.



FONTE: Elaborado pelo autor, 2022.

Figura 35 – Curva de Corrente – AL CGO – 2022 – 33,96 % de Grau de Penetração.

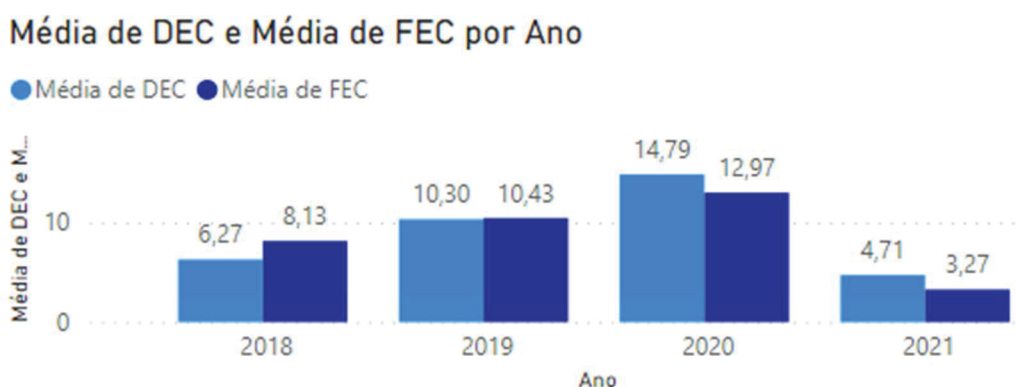


FONTE: Elaborado pelo autor, 2022.

Verificou-se conforme o aumento de geração distribuída, que no meio do dia, período de maior incidência de radiação solar, a GD injeta corrente na rede de distribuição e por isso alivia a carga do alimentador que é fornecida pela subestação. Com o grau de penetração AT mais elevado quase é possível observar, com a geração distribuída solar, a inversão do fluxo de corrente do alimentador.

Realizado comparativo do aumento de grau de penetração com o indicador de continuidade, houve um aumento gradativo no DEC/FEC, durante 2018 a 2020, porém em 2021 houve uma melhora significativa, conforme figura 36.

Figura 36 – Indicador DEC/FEC – AL CGO – 2018 a 2021.



FONTE: Elaborado pelo autor, 2022.

O número de reclamações por nível de tensão no alimentador, não houve reclamação de nível de tensão no período avaliado 2018 a janeiro 2022.

No alimentador CGO, como resultado parcial não vemos interferência do grau de penetração elevado, tanto nos indicadores de continuidade, que no ano de 2021 obteve os melhores índices do período avaliado, quanto no indicador de conformidade que não teve reclamações de nível de tensão no período avaliado.

4.2 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

Antes de realizar análise por alimentador, avaliou-se os dados gerais da concessionária de distribuição estudada.

Com relação ao incremento de geração distribuída nos últimos anos, comparando 2020 e 2021 houve um crescimento de aproximadamente de 161%, chegando a janeiro de 2022 com uma potência instalada de pico de aproximadamente 1GW e mais de 75mil unidades consumidoras com geração distribuída.

O indicador referente as quantidades de reclamações de conformidade de nível de tensão, conforme tabela 8, aumentou aproximadamente em 184%, entre 2018 e 2020 (2018 – 602 e 2020 – 1110).

Porém ao contrário desses dois critérios, crescimento da quantidade de GD e quantidade de reclamações de níveis de tensão, constatou-se que os indicadores de continuidade (DEC e FEC) caíram de maneira gradativa nos últimos 4 anos, conforme figura 10, de 2017 a 2020, DEC diminuindo de 10,46 em 2017 para 7,83 em 2021, reduzindo aproximadamente em 25% e o FEC reduzindo de 6,83 em 2017 para 5,61 em 2021, reduzindo aproximadamente em 18%.

Desta forma com os dados gerais verifica-se que conforme aumenta a geração distribuída, também aumenta os indicadores de conformidade de tensão (reclamações de níveis de tensão), porém não afeta os indicadores de continuidade.

Agora se analisará por alimentador, se o crescimento do grau de penetração AT influenciará os indicadores de continuidade e de conformidade de nível de tensão abordados pelo estudo.

Realizado o cálculo do grau de penetração AT, dos alimentadores, onde constata-se que não há um grau de penetração superior a 50%, desta forma foram analisados os alimentadores com grau de penetração entre 30 e 50%.

O primeiro critério avaliado é o comportamento do indicador de continuidade para os alimentadores estudados no período de 2018 a 2021. segue abaixo o comportamento dos alimentadores referente aos indicadores de continuidade:

FEC

- quatro alimentadores tiveram em 2021, último ano avaliado, o melhor índice no período; e
- um alimentador teve um aumento, avaliando os anos entre 2020 e 2021, porém se verifica uma redução se analisarmos 2018 e 2021.

DEC

- três alimentadores tiveram em 2021, último ano avaliado, o melhor índice no período;
- um alimentador teve um aumento, avaliando os anos entre 2020 e 2021, porém se verifica uma redução se analisarmos 2018 e 2021, e
- um alimentador obteve pior índice no período avaliado.

Observação: Conforme capítulo 2 deste trabalho, o DEC se refere a duração da interrupção e o FEC a frequência de interrupção, com isso, o DEC está relacionado ao tempo de atendimento para restabelecer o sistema e o FEC está ligado a operação do sistema elétrico de distribuição de energia. Apesar do DEC do alimentador ter aumentado, o FEC diminui referenciando a melhoria do sistema e a piora no atendimento.

Nesse critério de continuidade, verifica-se que não houve mudança de comportamento devido a entrada de geração distribuída com grau de penetração AT, de até 50%, nos alimentadores estudados.

O segundo item verificado será o número de reclamações referentes ao nível de tensão. Nos alimentadores não houve aumento nas reclamações por nível de tensão no período avaliado, segue abaixo o comportamento das reclamações:

- um alimentador se manteve o número de reclamações,
- três alimentadores houve diminuição do número de reclamações, e
- um alimentador não houve nenhuma reclamação no período avaliado.

Desta forma não se verifica ligação entre o aumento de grau de penetração AT (até 50%), com a interferência nos indicadores de conformidade de nível de tensão.

Outro ponto avaliado no estudo, em quais tipos de unidades consumidoras, foram as reclamações de níveis de tensão nos alimentadores, que estão ligadas ao mesmo ponto de conexão com GD, sendo identificado que são os clientes comerciais.

Além disso, com grau de penetração MT dos transformadores de rede de distribuição, se verificou que as reclamações se concentram nos transformadores com penetração entre 60 e 100%.

5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Conclui-se que há interferência da geração distribuída nos alimentadores, conforme as curvas de correntes, apresentadas no capítulo 4. Apesar da avaliação com os dados globais da concessionária, que mostram uma tendência de piora nos indicadores de níveis de tensão no período de 2018 a 2021, quando se analisa por alimentador com os maiores graus de penetração AT, de até 50%, não se observa interferência nos indicadores de continuidade e de conformidade de nível de tensão, exigidos pela ANEEL de responsabilidade das concessionárias.

Para estudos futuros, identifica-se a necessidade de se aprofundar ainda mais no tema, desenvolvendo pesquisas que avaliem a redução de investimento no sistema da rede de distribuição, análise do comportamento de sistemas de proteção da rede de distribuição, análise da manutenção e vida útil dos equipamentos de proteção e regulação de tensão do sistema de distribuição e análise das normas comparando as exigências de qualidade de fornecimento com relação aos impactos da geração distribuída.

REFERÊNCIAS

COPEL. **Resultado 4 trimestre 2021.**

Disponível em: <https://ri.copel.com/dados-financeiros/central-de-resultados/> 4 trimestre 2021

PORTAL SOLAR. **Dados do mercado de energia solar Brasil.** Disponível em:

<https://www.portalsolar.com.br/mercado-de-energia-solar-no-brasil.html>

ANEEL. **Indicadores de conformidade do nível de tensão em regime**

permanente. Disponível em:

https://www2.aneel.gov.br/aplicacoes_liferay/Indicadores_de_conformidade_nivel_tensao/pesquisa.cfm?regiao=SU

ANEEL. **Qualidade do Serviço.** Disponível em:

<https://antigo.aneel.gov.br/qualidade-do-servico2>

ANEEL. **Coletivos de Continuidade.** Disponível em:

https://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/indicadores_de_qualidade/resultado.cfm

ANEEL. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico**

Nacional – PRODIST. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/modulo-8>>. Acesso em: 28/06/2021.

ANEEL. **Informações Técnicas, Distribuição de Energia Elétrica, Geração**

Distribuída. Disponível em: <

<https://www2.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=757&idPerfil=2>>. Acesso em:

26/03/2022.

ANEEL. **ANEXO VIII DA RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 956, DE 7 DE DEZEMBRO 2021 PROCEDIMENTOS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO SISTEMA ELÉTRICO NACIONAL – PRODIST MÓDULO 8 – QUALIDADE DO FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA.** Disponível em: https://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2021956_2_7.pdf

ANEEL. **Resolução Normativa nº 414/2010.** 2010. Disponível em:

<<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>

ANEEL. **Resolução Normativa Nº 482/2012,** 2012. Disponível em:

<<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>

INEE. **Instituto Nacional de Eficiência Energética.** Disponível em:

[http://www.inee.org.br/forum_ger_distrib.asp#:~:text=Gera%C3%A7%C3%A3o%20Distribu%C3%ADa%20\(GD\)%20%C3%A9%20uma,Co%2Dgeradores](http://www.inee.org.br/forum_ger_distrib.asp#:~:text=Gera%C3%A7%C3%A3o%20Distribu%C3%ADa%20(GD)%20%C3%A9%20uma,Co%2Dgeradores)

MICROSOFT. **Power Query** Disponível em: <https://docs.microsoft.com/pt-br/power-query/power-query-what-is-power-query>

SHAYANI, R A, **Método Para Determinação do Limite de Penetração da Geração Distribuída Fotovoltaica em Redes Radiais de Distribuição**. 2010. Brasília. Universidade de Brasília.

GABRIEL, J D , R A, **Desenvolvimento de um Protótipo de um Relé Digital para Geração Distribuída com Integração para Redes Inteligentes**. 2013. Curitiba. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

VARGAS, M C, **Análise dos Impactos das Faltas na Proteção Sobrecorrente em Redes de Distribuição com Elevada Penetração de Geração Distribuída Fotovoltaica**. 2018. Vitória. Universidade Federal do Espírito Santo.

PALUDO, J A, **Avaliação dos Impactos de Elevados Níveis de Penetração da Geração Fotovoltaica no Desempenho de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica em Regime Permanente**. 2014. São Carlos. Universidade de São Paulo

