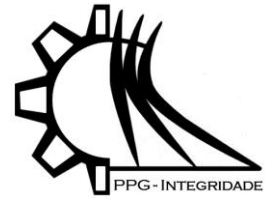




ISSN 2447-6102



Artigo

ANÁLISE COMPARATIVA DOS INDICADORES DE QUALIDADE DO PRODUTO POR DIFERENTES CONCESSIONÁRIAS DE ENERGIA EM RELAÇÃO AO MÓDULO 8 DO PRODIST

Silva, L.V.N.¹, Sudré, C.R.¹, Araujo, T.F.¹, Ferrari, H.O.¹ e Breda, J.F.D.¹

¹ Universidade Federal dos Vales Jequitinhonha e Mucuri; leonardo.nascimento@ufvjm.edu.br; cleiton.sudre@ufvjm.edu.br; thais.araujo@ufvjm.edu.br; helio.ferrari@ufvjm.edu.br; jader.breda@ufvjm.edu.br.

Received: 18/01/2024; Accepted: 25/01/2024; Published: 31/01/2024

Resumo: O conceito de Qualidade da Energia Elétrica (QEE) apresenta parâmetros e índices que permitem avaliar condições presentes em sistemas elétricos, para as áreas de qualidade de produto, do serviço e comercial, conforme os valores pré-estabelecidos pela regulamentação. Nesse viés, foi analisada a compatibilidade dos indicadores de Qualidade do Produto em redes de distribuição pertencentes a duas distribuidoras, sendo obtida uma avaliação quanto aos níveis de exigência no que tange a Qualidade do Produto, presente no Módulo 8 do Prodíst, em especial, os indicadores que permitem um diagnóstico. Para isso, foi efetuada uma pesquisa descritiva baseada em revisão de literaturas em livros, resoluções e, com destaque, em normas técnicas e em documentos específicos de cada distribuidora. Dessa forma, tornou-se possível comparar os estudos próprios de cada distribuidora em relação a normatização de distribuição, o que permitiu saber quais os limites de indicadores estabelecidos e a influência para a qualidade da energia no sistema elétrico. No entanto, verificou-se que embora as concessionárias atendam as regras e procedimentos de distribuição a pesquisa evidenciou a ausência de itens da Qualidade do Produto, constante no Módulo 8 do Prodíst. Por fim, através da metodologia aplicada chegou-se na conclusão de que há uma certa semelhança no nível de exigência entre as duas distribuidoras consideradas, sempre com níveis de exigência idênticos ou maiores que do Prodíst. Contudo, para a Flutuação de Tensão, os estudos da Cemig apresentaram maior nível de exigência ao comparado com a CPFL Energia, e a Cemig não apresenta em seus estudos nível de exigência relacionado a Tensão em Regime Permanente, enquanto a CPFL Energia mostra um nível de exigência idêntico ao do Prodíst.

Palavras-Chave: Qualidade da Energia Elétrica; Concessionária; Exigência; Normatização; Prodíst.

Abstract: The concept of Power Quality (PQ) presents parameters and indices that allow evaluating conditions present in electrical systems, for the areas of product quality, service, and commercial aspects, according to pre-established values by regulations. In this context, the compatibility of Product Quality indicators in distribution networks belonging to two utilities was analyzed, obtaining an assessment regarding the levels of requirement concerning Product Quality, as outlined in Module 8 of Prodíst, especially the indicators that allow for a diagnosis. For this purpose, descriptive research was conducted based on literature review in books, resolutions, and, notably, technical standards and specific documents of each utility. This made it possible to compare the individual studies of each utility regarding distribution standardization, determining the established limits of indicators and their influence on the quality of energy in the electrical system. However, it was found that although the utilities comply with distribution rules and procedures, the research highlighted the absence of items related to Product Quality, as outlined in Module 8 of Prodíst. Finally, through the applied methodology, it was concluded that there is a certain similarity in the level of requirement between the two considered utilities, always with requirements identical or higher than those of Prodíst. However, for Voltage Fluctuation, Cemig's studies showed a higher level of requirement compared to CPFL Energia, and Cemig does not present in its studies a requirement level related to Voltage in Permanent Regime, while CPFL Energia shows a requirement level identical to that of Prodíst.

Keywords: Power Quality; Electric Utility; Requirement; Standardization; Prodist.

1. Introdução

O conceito de Qualidade de Energia Elétrica (QEE) encontra-se presente nos sistemas elétricos, sendo que a sua compreensão relaciona-se com as condições satisfatórias de um produto comercializado. Nesse sentido, medir esforços para diagnósticos e análises é de extrema importância para o desenvolvimento dessa área de estudo. Portanto, com objetivo de obedecer requisitos mínimos para o funcionamento com confiabilidade do sistema, fazem-se necessárias medidas como, padronização e correção, a fim de garantir melhorias para os sistemas elétricos (Romanova, Khromov e Suslov, 2023).

Ademais, com o aumento de casos de perturbação na qualidade de energia, em destaque na área industrial, é necessário levantamento de padrões e indicadores com intuito de controlar e, principalmente, fiscalizar os problemas presentes no sistema elétrico (Popa, 2022). Dessa forma, a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) estabelece os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica (Prodist, 2021), que normatizam e padronizam indicadores e limites relacionados ao desempenho dos sistemas de distribuição. Diante disso, a elaboração desse documento é fundamental para a avaliação e possível melhoria da qualidade da energia em sistemas elétricos em nível nacional.

A princípio, um dos objetivos do Prodist (2021) é garantir, por meio de seus estudos e normas, que os sistemas de distribuição atuem com eficiência, segurança e, em especial, com qualidade. Para isso, o módulo 8 desse documento avalia a Qualidade do Fornecimento de Energia Elétrica com base na qualidade do produto, do serviço e da qualidade comercial. Dessa forma, é perceptível a diversidade quanto ao conceito de qualidade da energia elétrica, o que resulta em estudos mais detalhados por parte das distribuidoras.

Nesse sentido, a elaboração desses estudos está em consonância com as necessidades das distribuidoras. Dentro deste contexto, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma comparação entre dois documentos elaborados pela Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig) referente aos Estudos de Distribuição, o ED 5.57 (Cemig, 2016) e o ED 5.58 (Cemig, 2018) e um outro documento desenvolvido pela Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL), que é a Normativa Técnica, GED.10999 (CPFL Energia, 2021) em relação aos itens estabelecidos pelo Prodist (2021). Dessa forma, a pesquisa contribui para o esclarecimento da importância dos itens que compõem a Qualidade do Produto, assim como também, o tratamento e análise por parte das distribuidoras, com intuito de analisar até que ponto estes documentos tem níveis de exigências menores, maiores ou idênticos ao próprio Prodist. E, além disso, averiguar se há semelhança ou não no nível de exigência entre as duas concessionárias consideradas no trabalho em relação à Qualidade do Produto.

2. Metodologia

O objetivo desta seção é apresentar o processo metodológico adotado na elaboração do trabalho, ilustrado pela Figura 1, organizado em quatro etapas fundamentais, sendo o caminho utilizado para o desenvolvimento das próximas seções, de forma coerente e coesa, a fim de esclarecer e informar os processos aplicados.

Deste modo, a realização da comparação foi desenvolvida a partir da análise dos indicadores de Qualidade do Produto para cada uma das distribuidoras, a fim de compreender seus impactos frente aos itens que estabelecem padrões para a qualidade de energia elétrica em redes de distribuição. Entretanto, para ocorrência do trabalho desenvolvido foi necessário estabelecer como objetivo geral a realização da definição e procedimentos referentes aos indicadores de Qualidade do Produto no sistema para as unidades de distribuição da Cemig e da CPFL Energia em relação às vigências presentes no Prodist (2021). Além disso, ao buscar o objetivo geral foi importante validar alguns caminhos como descrever e analisar a seção Qualidade de Produto presente no módulo 8 do Prodist (2021). Posteriormente, foi realizada a classificação dos Estudos de Distribuição da Cemig e a Normativa Técnica da CPFL Energia. E, por fim, foram confrontados os documentos das distribuidoras em relação à Qualidade do Produto do Prodist (2021) e elaborados quadros resumo comparativos com a finalidade de facilitar a compreensão e a visualização dos resultados alcançados.



Figura 1. Etapas da metodologia desenvolvida.

2.1. Pesquisa Descritiva

Essa subseção possui como objetivos apresentar e desenvolver a pesquisa responsável pelo desenvolvimento do trabalho, a qual foi condicionada na revisão de literatura em livros, normas e resoluções relacionadas ao tema de Qualidade de Energia Elétrica, o que permitiu conhecer os itens responsáveis em garantir e estabelecer a Qualidade do Produto. Nesse viés, encontram-se a seguir os itens que compõem a Qualidade do Produto, foco do estudo específico para cada item, estabelecendo limites para indicadores responsáveis para controlar os fenômenos que influenciam a qualidade de energia.

2.1.1. Tensão em Regime Permanente

A Tensão em Regime Permanente representa um intervalo de tempo, este de dez minutos, em que a leitura de tensão não se encontra na presença de distúrbios elétricos, os quais invalidaram a leitura. Para isso, conforme o módulo 8 do Prodist (2021), cabe à distribuidora acompanhar em todo o sistema de distribuição, com auxílio de recursos e de técnicas modernas, de forma preventiva e segura para que a tensão permaneça em um “regime permanente”, operando entre os limites vigentes, a fim de assegurar melhorias na qualidade da energia elétrica. Dessa forma, para efeito de regularização, conforme o Prodist (2021), no módulo 8, o limite do indicador de duração relativa da transgressão para tensão precária (DRP) equivale a 3%, enquanto que para o indicador para tensão crítica (DRC) é de 0,5%. Além disso, é válido ressaltar que, caso os limites não sejam estabelecidos, cabe à distribuidora buscar providência em um prazo de até 90 dias. Ao extrapolar esse período cabe aos consumidores receber compensação financeira até a regularização dos níveis de tensão.

2.1.2 Fator de Potência

O Fator de Potência (FP) é um índice adimensional que relaciona a Energia Ativa (EA) e Reativa (ER) presentes em instalações elétricas, o que o torna essencial como indicador de eficiência energética. Nesse sentido, esse valor varia entre zero e um, o que permite ser obtido por meio dos valores registrados das potências ativa e reativa, como também, das energias EA e ER. Ademais, o Fator de Potência pode ser classificado como indutivo, onde a instalação elétrica absorve a Energia Reativa, ou capacitivo, no qual permite a instalação fornecer a Energia Reativa. Portanto, conforme o Prodist (2021), no módulo 8, os valores de referência para esse índice são estabelecidos para distribuidoras cuja tensão seja de até 230 kV, o FP deverá ser encontrado entre 0,92 e 1 indutivo ou no intervalo de 1 a 0,92 capacitivo, mediante ao regulamento vigente pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel).

2.1.3 Distorções Harmônicas

Segundo o Prodist (2021), no módulo 8, as distorções harmônicas são designadas por fenômenos associados às deformações nas formas de onda das tensões e correntes em relação à onda senoidal da frequência fundamental, com um valor de 60 Hz em território brasileiro. Análogo a isso, é perceptível que harmônicos são eventos contínuos, e não duram apenas alguns ciclos, o que resulta em uma deformação da senóide provocada, geralmente, por cargas não lineares presentes na rede. Dessa forma, altos níveis de distorções em uma instalação elétrica podem desenvolver problemas para as redes de distribuição das concessionárias, assim como também para a própria instalação e para os equipamentos presentes.

A quantidade de harmônicos existentes em certo ponto na instalação pode ser calculada a partir da Distorção Harmônica Total de Tensão (DTT%) e suas especificidades como pares (DTTp), ímpares (DTTi) e múltiplos de três (DTT₃), o que permite quantificá-los em uma onda e saber a distorção presente ao comparar a uma onda senoidal normal. Nesse sentido, ainda no módulo 8, apresentam-se valores de limites de indicadores para as distorções harmônicas totais, os quais estão presentes na Tabela 1, visto que correspondem ao máximo valor desejável a ser observado no sistema de distribuição (ANEEL, 2021).

Tabela 1. Limites das Distorções Harmônicas Totais (em % da tensão fundamental).

Indicador	Tensão nominal		
	Vn < 1,0 kV	1,0 kV < Vn < 69 kV	69 kV ≤ Vn < 230 kV
DTT95%	10,0%	8,0%	5,0%
DTTP95%	2,5%	2,0%	1,0%
DTTI95%	7,5%	6,0%	4,0%
DTT395%	6,5%	5,0%	3,0%

Fonte: ANEEL (2021).

2.1.4 Desequilíbrio de Tensão

O desequilíbrio de tensão é uma condição em que as três fases apresentam diferentes valores de tensão em módulo ou defasagem angular entre fases diferentes de 120°, para o mesmo sistema. Além disso, esse fenômeno pode ser interpretado como o desvio máximo dos valores médios das tensões ou correntes trifásicas, dividido pela média dos mesmos valores, expresso em percentagem. Análogo a isso, esse cenário é originado, geralmente, pelos sistemas de distribuição, o que resulta no surgimento de tensões de sequência negativa, em virtude da presença de cargas monofásicas distribuídas inadequadamente (OLESKOVICZ, 2006).

Com objetivo de garantir uma melhor qualidade de energia para o sistema, faz-se necessário um indicador como ferramenta de avaliação para o desequilíbrio de tensão, conhecido como Fator de Desequilíbrio de Tensão (FD). Conforme apresentado no módulo 8 do Prodist (2021), o cálculo é estabelecido pela relação entre as componentes da sequência negativa e a sequência positiva, no que tange aos valores de tensão, representados em termos percentuais.

Portanto, ainda no módulo 8, o percentual de 95% do Fator de Desequilíbrio de Tensão, FD95%, ao considerar para a regulamentação, possui limites de 3% para valores de tensão nominal menor ou igual a 2,3 kV e para tensões nominais entre 2,3 kV e 230 kV, equivalente a 2%. Em suma, esses valores correspondem ao máximo desejável a ser observado no sistema de distribuição (ANEEL, 2021).

2.1.5 Flutuação de Tensão

Segundo o Prodist (2021), os fenômenos de Flutuações de Tensão relacionam-se a partir de variações aleatórias, esporádicas ou repetitivas para os valores eficazes de tensão, assim como também, para os picos de tensão instantânea.

Ainda, de acordo com o Prodist (2021), a avaliação e a determinação da qualidade da tensão do sistema de distribuição no que tange a flutuação de tensão encontra-se pelo incômodo provocado pelo efeito da cintilação luminosa (*flicker*), no consumidor. Nesse viés, embora inicialmente ocorra o desconforto visual, esse impasse pode ocasionar disfunções neurológicas e atingir o sistema nervoso central. Dessa forma, com intuito de assegurar melhores condições, no módulo 8, são apresentados limites estabelecidos como indicadores para avaliar o desempenho do sistema quanto às flutuações de tensão, representados pela Tabela 2, onde:

Tabela 2. Limites para Flutuação de Tensão

Indicador	Tensão Nominal		
	Vn ≤ 2,3kV	2,3kV < Vn < 69kV	69kV ≤ Vn < 230kV
Pst95%	1,0 pu	1,5 pu	2,0 pu

Fonte: ANEEL (2021).

o Pst95% equivale ao valor do indicador Pst, calculado pela Equação 1, quando superado em apenas 5% das 1.008 leituras válidas:

$$P_{st} = \sqrt{0,0314P_{0,1} + 0,0525P_1 + 0,0657P_3 + 0,28P_{10} + 0,8P_{50}} \quad (1)$$

onde: $P_i(0,1; 1; 3; 10; 50)$ equivale ao nível de flutuação de tensão atingido durante $i\%$ do tempo, como encontrado no Prodist (2021).

2.1.6 Variação de Frequência

A Variação de Frequência é essencial como indicadora durante a avaliação das características encontradas em sistemas elétricos, visto que se relaciona diretamente à velocidade de rotação das turbinas e geradores que suprem o sistema, que interligados ao mesmo conjunto devem, para condições normais de operação e em regime permanente, operar dentro dos limites de frequência situados entre 59,9 Hz e 60,1 Hz (ANEEL, 2021).

Para os valores de referência da Variação de Frequência, o módulo 8 do Prodist (2021) permite que durante a recuperação do equilíbrio carga-geração, a distribuidora trabalhe no intervalo de 59,5 Hz a 60,5 em um tempo máximo de 30 segundos, na presença do distúrbio em seu sistema de distribuição.

2.1.7 Variação de Tensão de Curta Duração

Segundo o Prodist (2021), no módulo 8, as Variações de Tensão de Curta Duração (VTCD) são desvios significativos no valor eficaz da tensão em curtos intervalos de tempo, inferiores a três minutos, o que permite classificar como instantâneas (0,5 a 30 ciclos), momentâneas (30 ciclos a 3 s) ou temporárias (3 s a 1 min), como designado pela Tabela 3.

Tabela 3. Classificação das Variações de Tensão de Curta Duração.

Classificação	Denominação	Duração de Variação	Amplitude de Tensão (Valor eficaz) em relação a tensão de referência
Variação Momentânea de Tensão	Interrupção Momentânea de Tensão	Inferior ou igual a 3 segundos	Inferior a 0,1p.u
	Afundamento Momentâneo de Tensão	Superior ou igual a um 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	Superior ou igual a um ciclo e inferior ou igual a 3 segundos	Superior a 1,1 p.u
Variação Temporária de Tensão	Interrupção Temporária de Tensão	Superior a 3 segundos e inferior a 3 minutos	Inferior a 0,1p.u
	Afundamento Temporário de Tensão	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	Superior a 3 segundos e inferior a 3 minutos	Superior a 1,1 p.u

Fonte: ANEEL (2021).

Essas variações de tensão são ocasionadas por cenários como: condições de faltas, energização de grandes cargas que requerem altas correntes de partida, ou a perda intermitente de conexões dos cabos do sistema. Nesse viés, ao depender do ponto de localização da falta e das condições do sistema, a falta pode ou causar um decréscimo da tensão (afundamento) ou um aumento da tensão (elevação), ou ainda, a completa perda da tensão (interrupção). Para a condição de falta, independentemente da proximidade do ponto em interesse, o impacto da tensão é caracterizado como uma variação de curta duração, o que necessita da atuação de dispositivos de proteção para eliminar a falta presente (OLESKOVICZ, 2006).

Logo, após a coleta dos eventos de variação, esses deverão ser relacionados em função do tempo de duração e a amplitude obtida, registrando conforme a regulamentação proposta pelo Prodist (2021), além disso, nota-se que é possível caracterizar a severidade da ocorrência de eventos de VTCD, por meio do Fator de Impacto, sendo possível mensurar e analisar a sua intensidade.

Por fim, infere-se que o valor de referência para os indicadores deve ser utilizado como parâmetro durante o planejamento do sistema de distribuição. Dessa forma, segundo o Prodist (2021), o valor de referência do indicador Fator de Impacto para Sistema de Distribuição de Média Tensão (SDMT) e para Sistema de Distribuição de Alta Tensão (SDAT), obtido por medição apropriada no período de 30 (trinta) dias consecutivos, é de 1,0 pu. Em suma, respeitando os padrões e limites estabelecidos, espera-se que estabeleça as condições aceitáveis, frente aos eventos de VTCD.

2.2. Normativa Técnica

A compreensão de uma norma técnica é de extrema importância e necessidade. Mediante a isso, conforme a Resolução Normativa Nº 956, de 2021 (ANEEL, 2021), cabe à distribuidora definir e identificar quais as possíveis instalações de potencial perturbadoras, além da responsabilidade em realizar procedimentos para possíveis correções, para isso, faz-se necessário com base na utilização do módulo 8 do Procedimentos de Distribuição (PRODIST, 2021).

2.3. Distribuidoras (Concessionárias)

Embora a existência e a importância do Prodist (2021), cada distribuidora desenvolve o seu próprio documento possuindo a definição para o tipo de carga potencialmente perturbadora, como também, a presença de informações e aplicações que visam garantir a qualidade do produto. Dessa forma, para a elaboração do trabalho foi determinada a escolha de duas distribuidoras para uma comparação, sendo a Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig) e a Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL Energia), com sede em Campinas-SP, por ser pioneira no estudo e elaboração de documentos, já com algumas revisões e resoluções.

Ademais, é válido destacar que as distribuidoras da CPFL Energia, entre o setor de qualidade de energia, possuem bons indicadores avaliados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2022). Enquanto isso, a Cemig é responsável por 96% de todo abastecimento energético no estado de Minas Gerais (CEMIG, 2022). Nesse viés, é perceptível a grandeza e a importância das distribuidoras envolvidas no trabalho, o que contribuirá para desenvolver análises e compreensões acerca do tema.

Como efeito de comparação, busca-se analisar possíveis divergências e convergências, quanto ao estudo e ao diagnóstico de cargas potencialmente perturbadoras no sistema elétrico, com base nas informações presentes tanto nos Estudos de Distribuição 5.57 (CEMIG, 2016) e 5.58 (CEMIG, 2018) elaborados pela Cemig, quanto a normativa técnica, GED.10099 (CPFL ENERGIA, 2022), estabelecida pela CPFL Energia.

3. Resultados e Discussão

Esta seção possui como objetivo apresentar os resultados e discussões alcançadas a partir dos métodos desenvolvidos na seção anterior. Dessa forma, os resultados estão estruturados para cada um dos elementos que asseguram a Qualidade da Energia Elétrica.

3.1. Definição de Carga Potencialmente Perturbadoras

Para a definição de carga potencialmente perturbadora, não é possível uma comparação dos Estudos de Distribuição 5.57 (CEMIG, 2016) e 5.58 (CEMIG, 2018) elaborados pela Cemig e da normativa técnica, GED.10099 (CPFL ENERGIA, 2022), estabelecida pela CPFL Energia com o Módulo 8 do Prodist, pois esse termo não se encontra presente no texto do Prodist.

Entretanto, tornou-se perceptível a confluência em ambas distribuidoras consideradas neste trabalho, uma vez que designam ser de potencial perturbadora cargas ou gerações que prejudicam, de alguma maneira, os itens da qualidade da energia no sistema elétrico (CEMIG, 2016; CEMIG, 2018; CPFL ENERGIA, 2022). Nesse sentido, cada distribuidora entende e aborda o compromisso da realização de estudos específicos e, caso necessário, deverá buscar a instalação de equipamentos de correção ou de adequação, respeitando os critérios oferecidos pelo Prodist (2021). Por fim, tanto a Cemig quanto a CPFL Energia acrescentam em seus estudos as principais cargas potencialmente, como demonstrado pelo Quadro 1.

Quadro 1. Algumas das principais cargas potencialmente perturbadoras para cada distribuidora.

Companhia Energética de Minas Gerais	Companhia Paulista de Força e Luz
Forno a Arco	Forno a Arco
Forno de Indução	Forno de Indução
Geradores Fotovoltaicos	Máquina de Soldar
Soldagem Elétrica Industrial	Aparelho de Raios X

Portanto, é possível identificar semelhanças existentes na detecção das cargas potencialmente perturbadoras, além disso, nota-se que o Forno a Arco e o Forno de Indução estão presentes majoritariamente nos índices que permitem a avaliação da qualidade da energia elétrica.

3.2. Distorções Harmônicas

Quanto às distorções harmônicas, a CPFL Energia possui convergência quanto à sua importância de estudo e o seu controle conforme as informações e os limites de tensão total nominal regulados na Tabela 1, enquanto que para a Cemig é interessante o estudo e a aplicação de limites individuais, esses que foram baseados nos limites do Prodist (2021) e análise do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), encontrado pela Tabela 4, o que permite garantir maior exigência para os limites de tensão.

Tabela 4. Limites individuais para distorção harmônica na rede de distribuição – Critérios Cemig – baseados nos limites globais do Módulo 8 – PRODIST.

Limites individuais para distorções harmônicas da tensão de rede			
		Limites 95%	
Parâmetro	Descrição	1,0kV<Vn<69kV	69kV≤ Vn<230kV
DTT (%)	Distorção harmônica total de Tensão	6,0%	3,5%
DTTP(%)	Distorção harmônica total de tensão para as componentes pares não múltiplas	1,4%	0,7%
DTTi(%)	Distorção harmônica total de tensão para as componentes ímpares não múltiplas de 3	4,2%	2,8%
DTT3(%)	Distorção harmônica total de tensão para as componentes múltiplas de 3	3,5%	2,1%

Fonte: CEMIG (2018).

Além disso, nota-se a ausência de indicadores de limites para as distorções harmônicas de corrente no Prodist (2021). Para isso, as distribuidoras envolvidas buscam aplicar as recomendações postuladas por meio do documento *Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems* (IEEE, 2014), o qual orienta a medição dessa parcela entre os pontos de conexão dos consumidores e operadores do sistema de energia elétrica, a fim de por meio dos dados coletados, analisar se estão coerentes para garantir melhores qualidades ao sistema elétrico. Dessa forma, para o intervalo de 127 V a 69 kV, são apresentados na Tabela 5 os limites de correntes harmônicas, como também no intervalo de 69 kV a 161 kV, demonstrados na Tabela 6, e para valores acima de 161 kV, encontram-se na Tabela 7.

Tabela 5. Limites de distorção de corrente para sistemas classificados de 120 V a 69 kV.

Distorção de corrente harmônica máxima em porcentagem de IL						
Ordem harmônica individual (harmônicos ímpares)						
I_{sc}/I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
< 20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20 < 50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50 < 100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100 < 1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Fonte: IEEE (2014).

Portanto, de forma geral, as distribuidoras acrescentaram novos limites reguladores, para correntes, aos critérios já estabelecidos pelo Prodist (2021), ampliando assim o controle e o monitoramento aos estudos de distorções harmônicas, uma vez que o Prodist atenta para os distúrbios de QEE relacionados às tensões e frequência do sistema.

Tabela 6. Limites de distorção de corrente para sistemas classificados de 69kV à 161 kV.

Distorção de corrente harmônica máxima em porcentagem de IL						
Ordem harmônica individual (harmônicos ímpares)						
I_{sc}/I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
< 20	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
20 < 50	3.5	1.75	1.25	0.5	0.25	4.0
50 < 100	5.0	2.25	2.0	0.75	0.35	6.0
100 < 1000	6.0	2.75	2.5	1.0	0.5	7.5
> 1000	7.5	3.5	3.0	1.25	0.7	10.0

Fonte: IEEE (2014).

Tabela 7. Limites de distorção de corrente para sistemas classificados acima de 161 kV.

Distorção de corrente harmônica máxima em porcentagem de IL						
Ordem harmônica individual (harmônicos ímpares)						
I_{sc}/I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
< 25	1.0	0.5	0.38	0.15	0.1	1.5
25 < 50	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
≥ 50	3.0	1.5	1.15	0.45	0.22	3.75

Fonte: IEEE (2014).

3.3. Flutuação de Tensão

Em relação aos limites de Flutuação de Tensão, a CPFL Energia encontra-se de acordo com o Prodist (2021), apresentando os mesmos valores de indicadores presentes na Tabela 2. Além disso, a concessionária faz uma observação de que, embora o fenômeno responsável pelo incômodo visual fosse mais propício de acontecer na presença de lâmpadas incandescente (que deixaram de ser comercializadas no Brasil), este ainda pode ocorrer, com uma intensidade menor, em outros tipos de lâmpadas.

Já a Cemig, apesar de reconhecer o Prodíst (2021), alerta para uma divergência significativa entre os limites individuais dos Procedimentos de Rede e os limites admitidos na Rede de Distribuição, apresentado pela Tabela 8. Logo, encontra-se a necessidade de atender tanto os limites globais do Operador Nacional do Sistema (ONS) quanto os limites do Prodíst (2021) para a rede de distribuição, propõe-se como limites para o sistema de distribuição da Cemig, os valores demonstrados pela Tabela 9.

Tabela 8. Comparação dos Limites globais para cintilação luminosa na rede de distribuição – Prodíst – Módulo 8 e Rede Básica – submódulo 2.8 – Procedimento de Rede.

Comparação entre limites de flicker do Prodíst e dos Procedimentos de Rede			
Tensão nos Barramentos	Prodíst	Procedimento de Rede	
		Mínimo	Máximo
1,0 KV < Vn < 69 KV	1,5	1,0	2,0
69 KV ≤ Vn < 230KV	2,0	1,25	2,5

Fonte: CEMIG (2018).

Em comparação com a Tabela 2, é perceptível a redução do valor para o indicador PST95% para os intervalos de 69 kV a 230 kV de tensão, como também, para tensão inferior a 69 kV que, conseqüentemente, implica em uma maior exigência por parte da distribuidora Cemig. Esse fato impacta na necessidade de uma mais eficiente fiscalização por parte da concessionária. Contudo, como citado pela CPFL em seu estudo, este tipo de distúrbio era mais propício de acontecer em épocas passadas, quando ainda se contava com grande presença de lâmpadas incandescente no sistema nacional. Assim, vale uma reflexão sobre a necessidade de atualização destes limites para o Prodíst.

Tabela 9. Limites para cintilação luminosa (*flicker*) na rede de distribuição Cemig.

Limites Individuais de Cintilação Luminosa (95%) na rede de distribuição Cemig		
Indicador	Tensão nominal	
	13,8kV < Vn < 69kV	69kV ≤ Vn < 230kV
PST (95%)	1,2 pu	1,6 pu

Fonte: CEMIG (2018).

3.4. Desequilíbrio de Tensão

Conforme o Estudo de Distribuição da Cemig, ED-5.58 (Cemig, 2018), a distribuidora entende os critérios avaliados pelo Prodíst (2021), no módulo 8, quanto ao Fator de Desequilíbrio (FD) que equivale a um valor máximo tolerado de 2%, para a rede de distribuição em média e alta tensão. Entretanto, a distribuidora evidencia que uma das principais causas de fontes de desequilíbrio de tensão encontram-se pela distribuição desigual de cargas entre os alimentadores e ao excesso de ramais monofásicos rurais. Nesse viés, a Cemig com base nos Procedimentos de Rede da ONS estabelece e considera um FD equivalente a 1,5%, como limite por consumidor. Além disso, nota-se o mesmo valor desse indicador em relação a CPFL Energia presente em sua normativa técnica, GED-10099 (CPFL ENERGIA, 2021). Portanto, a utilização desse valor como fator de desequilíbrio encontra-se com maior exigência entre as distribuidoras em relação ao estabelecido pelo Prodíst (2021).

3.5. Variação de Tensão de Curta Duração

Para as Variações de Tensão de Curta Duração (VTCD), tanto a distribuidora Cemig quanto a CPFL Energia compartilham dos mesmos conteúdos estabelecidos pelo Prodíst (2021) no módulo 8, como também, a importância da classificação entre as variações momentâneas de tensão e variações temporárias de tensão para a melhor identificação e, por conseguinte, poder escolher o indicador de fator de impacto, em que as Distribuidoras devem atender, conforme encontrado pela Tabela 3.

Por fim, a Cemig acrescenta que uma parcela considerada de VTCD apresenta origem no próprio sistema elétrico, causadas por faltas nas linhas e instalações do sistema elétrico, afetando a qualidade da energia elétrica.

3.6. Tensão em Regime Permanente

Para Tensão em Regime Permanente, com objetivo em garantir melhorias na qualidade da energia elétrica, a CPFL Energia esclarece, em sua normativa, a concordância em relação aos estudos dos limites para os indicadores, além de estar em acordo com possíveis atualizações do Prodist (2021). Entretanto, a Cemig não menciona nos Estudos de Distribuição 5.57 (CEMIG, 2016) e 5.58 (CEMIG, 2018) esse item de Qualidade do Produto. Por fim, percebe-se um nível de exigência por parte da CPFL Energia idêntico ao estabelecido pelo Prodist, e a ausência por parte desses documentos pela Cemig.

3.7. Outros Itens da Qualidade do Produto

Ao decorrer do desenvolvimento da comparação entre as unidades de distribuição envolvidas, notou-se que tanto para a Normativa Técnica, GED.10099 (CPFL ENERGIA, 2022) como para os Estudos de Distribuição 5.57 (CEMIG, 2016) e 5.58 (CEMIG, 2018) a ausência dos estudos próprios em relação aos demais itens que compõem a qualidade do produto, como o Fator de Potência e a Variação de Frequência.

3.8. Quadro Resumo

Com o objetivo de facilitar a identificação visual dos níveis de exigência após a comparação de cada item de qualidade de produto, foi sintetizado conforme os quadros a seguir, onde cada distribuidora foi classificada como baixo, com menor exigência, como idêntico, com a mesma orientação do Prodist (2021) e, por fim, como maior, onde agregaram mais exigência em seus estudos.

Assim, ao comparar os resultados encontrados pelos Quadros 2 e 3, é possível afirmar que as concessionárias apresentaram um maior nível de exigência ao comparado com o Prodist para maior parte dos itens citados da qualidade do produto, visto que consideram valores com maior margem de segurança para os limites dos indicadores. Tal fato pode ser um indicativo de que os limites do Prodist podem ser atualizados para níveis mais exigentes, desde que esse fato também seja observado em outras concessionárias nacionais.

Ainda, ao comparar os níveis de exigência apresentados nos Quadros 2 e 3, observa-se que apesar de bastante semelhança, a Cemig apresenta um nível de exigência maior quanto à Flutuação de Tensão, o que não ocorre para o mesmo caso na CPFL Energia. Por outro lado, a Cemig não apresenta em seus estudos nível de exigência relacionado à Tensão em Regime Permanente, enquanto a CPFL Energia mostra um nível idêntico ao do Prodist.

Quadro 2 - Nível de exigência da CPFL Energia em relação ao Prodist.

Itens da Qualidade do Produto	Nível de Exigência
Distorções Harmônicas	Maior
Desequilíbrio de Tensão	Maior
Flutuação de Tensão	Idêntico
Variações de Tensão de Curta Duração	Idêntico
Tensão em Regime Permanente	Idêntico
Fator de Potência	Não citado
Variação de Frequência	Não citado

Quadro 3 - Nível de exigência da Cemig em relação ao Prodist.

Itens da Qualidade do Produto	Nível de Exigência
Distorções Harmônicas	Maior
Desequilíbrio de Tensão	Maior
Flutuação de Tensão	Maior
Variações de Tensão de Curta Duração	Idêntico
Tensão em Regime Permanente	Não citado
Fator de Potência	Não citado
Variação de Frequência	Não citado

4. Conclusão

O principal objetivo deste trabalho foi realizar a comparação dos estudos em relação aos indicadores de Qualidade do Produto para cada distribuidora, CPFL Energia e Cemig, com base na normatização do Prodist (2021) e assim caracterizá-las como baixo, com menor exigência, como idêntico, com a mesma orientação do Prodist e, por fim, como maior, onde agregaram mais exigência em seus estudos quanto à qualidade do produto.

Nesse sentido, foi realizado o levantamento de um referencial quanto a Qualidade de Produto, encontrado no módulo 8 do Prodist (2021). No qual, foram estabelecidas as definições para cada item que compõem a avaliação da qualidade da energia elétrica, assim como também a definição dos limites para os indicadores, o que possibilitou alcançar maior clareza em relação a essa normativa. Dessa forma, o desenvolvimento desse referencial de forma mais clara e objetiva permitiu a realização da comparação entre as distribuidoras.

Ademais, após realizada análise dos Estudos de Distribuição da Cemig encontrou-se em seus documentos o níveis de exigência maiores em relação ao Procedimento de Rede, o que resultou na elaboração de indicadores mais rígidos frente aos do Prodist (2021). Nesse viés, para melhor visualização do efeito comparativo foi estruturado um quadro resumo, que possibilitou simplificar, para os itens da qualidade de produto, os mais e menos exigentes.

Outrossim, foi efetuado a análise e o estudo da Normativa Técnica desenvolvida pela CPFL Energia, onde tornou-se possível compreender suas definições e limites. Mediante a isso, ao comparar a presente normativa da CPFL com o Prodist (2021), permitiu-se a construção de um quadro resumo comparativo com o objetivo de identificar as exigências ou semelhanças em relação à normativa estabelecida para os indicadores.

O fato de ambas as distribuidoras apresentarem níveis de exigência idênticos ou superiores ao Prodist pode ser um indicativo de que os limites impostos pelo Prodist deveriam passar por uma revisão, desde que esse fato também seja observado em outras concessionárias no Brasil.

Além disso, percebe-se ao comparar os resultados encontrados, uma certa semelhança no nível de exigência entre as distribuidoras. Contudo, para a Flutuação de Tensão, os estudos da Cemig apresentaram maior nível de exigência ao comparado com a CPFL Energia, visto que consideraram valores com maior margem de segurança para os limites dos indicadores. Ainda vale destacar que a Cemig não apresenta em seus estudos nível de exigência relacionado à Tensão em Regime Permanente, enquanto a CPFL Energia mostra um nível de exigência idêntico ao do Prodist.

Por fim, vale destacar a importância e a necessidade dos documentos próprios das distribuidoras para o melhor controle e regulamentação da qualidade da energia elétrica em suas redes de distribuição, o que permite garantir parâmetros mais exigentes que os exigidos pelas normas nacionais em relação aos índices de Qualidade do Produto, encontrado no Módulo 8 do Prodist (2021).

Referências

1. ANEEL. Aneel divulga desempenho e ranking das distribuidoras sobre fornecimento de energia em 2021. [S. l.], 15 mar. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2022/aneel-divulga-desempenho-e-ranking-das-distribuidoras-sobre-fornecimento-de-energia-em-2021>. Acesso em: 8 ago. 2022.
2. ANEEL. Resolução Normativa Nº 956. 2021. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2021956.html>. Acesso em: 8 DE Agosto DE 2022.
3. CEMIG. Caracterização de Cargas Potencialmente Perturbadoras. Belo Horizonte, 2016. Disponível em: <https://www.cemig.com.br/wp-content/uploads/2020/07/ED-5-57-3.pdf>. Acesso em: 8 de Agosto de 2022.
4. CEMIG. Estudo de Distribuição Critérios e Procedimentos para análise e correção dos impactos devidos à conexão de Cargas e Equipamentos Potencialmente Perturbadores. Belo Horizonte, 2018. Disponível em: <https://www.cemig.com.br/wpcontent/uploads/2022/03/ED-5-58-3.pdf>. Acesso em: 08 de Agosto de 2022.
5. CEMIG. Relatório Sustentabilidade Anual de 2021. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <https://www.cemig.com.br/wp-content/uploads/2022/04/ras-2021.pdf>. Acesso em: 12 ago.2022.
6. CPFL ENERGIA. Requisitos para Conexão de Cargas Potencialmente Perturbadoras ao Sistema Elétrico da CPFL. 2022. Disponível em: <http://sites.cpfl.com.br/documentostecnicos/GED-10099.pdf>. Acesso em: 08 de Agosto de 2022.
7. IEEE. Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems, [S. l.], 27 mar. 2014.
8. OLESKOVICZ, M. Qualidade da Energia Elétrica. São Carlos, SP: EESC Departamento de Engenharia Elétrica Laboratório de Sistemas de Energia Elétrica – LSEE, 2006.
9. Popa, G.N. Electric Power Quality through Analysis and Experiment. *Energies* 2022, 15, 7947. DOI 10.3390/en1521794.

10. PRODIST. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional. **2021**. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2021956_2_7.pdf>. Acesso em: 08 de Agosto de 2022.
11. Romanova, V.; Khromov, S.; Suslov, K. Ensuring the reliability of power supply systems by improving the quality of electrical energy. AIP Conf. Proc. **2023**. DOI 10.1063/5.0117210.