

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS - CAMPUS PALMAS
CURSO DE GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

THIAGO MENESES LOPES

ANÁLISE METODOLÓGICA DE INDICADORES DE CONFORMIDADE DE TENSÃO

PALMAS - TO
2022

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS - CAMPUS PALMAS
CURSO DE GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

THIAGO MENESES LOPES

ANÁLISE METODOLÓGICA DE INDICADORES DE CONFORMIDADE DE TENSÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Palmas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Me. Felipe T. Bittencourt
Coorientador: Prof. Me. Alex M. Vilarindo

PALMAS - TO
2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

L864a Lopes, Thiago Meneses
ANÁLISE METODOLÓGICA DE INDICADORES DE CONFORMIDADE DE TENSÃO / Thiago Meneses Lopes. – Palmas, TO, 2022.
70 p. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Palmas, Palmas, TO, 2022.

Orientador: Me. Felipe Tozzi Bittencourt
Coorientador: Me. Alex Vilarindo Menezes

1. Qualidade de energia elétrica. 2. Indicadores de conformidade de tensão. 3. Algoritmo. I. Bittencourt, Felipe Tozzi. II. Menezes, Alex Vilarindo. III. Título.

CDD 621

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.
Elaborado pelo sistema de geração automatica de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

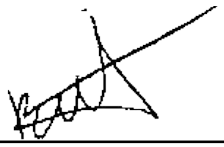
THIAGO MENESES LOPES

ANÁLISE METODOLÓGICA DE INDICADORES DE CONFORMIDADE DE TENSÃO

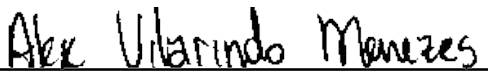
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Palmas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Data de Aprovação:

Banca Examinadora:



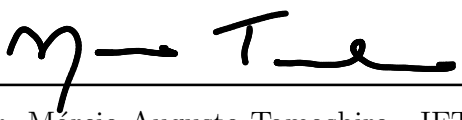
Prof. Me. Felipe Tozzi Bittencourt - IFTO - Palmas
Orientador



Prof. Me. Alex Vilarindo Menezes - UFT - Palmas
Coorientador



Prof. Dr. Valci Ferreira Victor - IFTO - Palmas
Examinador



Prof. Dr. Márcio Augusto Tamashiro - IFTO - Palmas
Examinador

A Deus, minha família e amigos

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, ao qual tudo pertence e quem sustenta todas as coisas. Por meio d'Ele tudo veio acontecer durante toda a graduação. Todo louvor e honra seja dedicado ao autor e mantenedor da vida.

Aos meus pais Willan e Gilciane, que mesmo longe estão sempre a torcer por mim. Em especial agradeço minha mãe, pela insistência desde cedo a dedicação aos estudos e pelo seu esforço fora do comum para prover tudo quanto necessário até essa minha etapa da vida.

Aos meus tios Antônio e Nilsemar, que me tiveram como filho nos últimos anos. Agradeço pelo sustento e todo apoio necessário que precisei durante essa jornada. Sem nenhuma obrigação me deram uma oportunidade que nunca irei me esquecer.

Aos meus primos Alex e Thyala. Em especial Alex e sua esposa Raissa, que me auxiliaram e me deram um grande suporte em todos os momentos necessários. Obrigado por estarem em cada momento dessa jornada, sem vocês o caminho seria bem mais difícil.

Aos amigos de sofrimento (vulgo "jubileiros") Beatriz, Bernardo, Bruno, Ezequiel, Jhones, Isaías e Iago. Agradeço pelo companheirismo, pelo apoio e pela amizade. O que faltou em beleza no grupo sobrou em carisma.

Aos meus irmãos em Cristo Amanda, Weudds, Isabel e Raimundo. Obrigado pelas orações, apoio, revisões e paciência. Em especial a Amanda que em sua experiência me ajudou nas revisões, críticas e estresses com LaTex.

Ao meu professor orientador Me. Felipe Tozzi Bittencourt, pelo auxílo, suporte e orientações necessárias no processo. Agradeço ao meu primo e coorientador Me. Alex Vilarindo Menezes que foi fundamental para a escolha e direcionamento do tema do trabalho, bem como pelo auxílio em muitas demandas durante toda a graduação.

Aos professores que desempenharam de forma primorosa a condução da graduação em todas as sua áreas e também pela dedicação desempenhada durante esse ciclo. Sou grato ao IFTO - Instituto Federal do Tocantins e todos os colaboradores que atuaram de forma direta ou indiretamente em minha formação acadêmica.

"Assim brilhe também a vossa luz diante dos homens, para que vejam as vossas boas obras e glorifiquem a vosso Pai que está nos céus."

Mateus 5:16

RESUMO

O presente trabalho propõe uma metodologia de obtenção de indicadores individuais ligados a tensão elétrica, tendo em vista a carência do assunto no meio acadêmico. A metodologia foi obtida por meio da sintetização do assunto da qualidade da energia elétrica ligada a tensão elétrica tratada nos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica (PRODIST). Para fins de validação da metodologia proposta, fora desenvolvido um algoritmo em linguagem *Python* que seguindo os passos da metodologia proposta no trabalho, fosse capaz de obter os indicadores de conformidade da tensão elétrica de transgressões para tensão precária (DRP) e para tensão crítica (DRC). A obtenção dessa metodologia é válida para que se entenda os processos por trás de análises da qualidade da energia elétrica, que são obtidos por meio de analisadores de energia elétrica homologados. Por meio de dados de tensão criados e manipulados, obteve-se resultados que valida a metodologia proposta, tendo em vista que os dados de entrada foram manipulados para que se pudesse comparar a atuação do algoritmo em seus resultados finais.

Palavras-Chave: Algoritmo. DRP. DRC. Qualidade de Energia elétrica. PRODIST.

ABSTRACT

The present work proposes a methodology for obtaining individual indicators linked to electric voltage, because of the lack of this subject in the academic environment. The methodology was obtained by synthesizing the subject of electric power quality linked to electric voltage treated in the Electric Power Distribution Procedures (PRODIST). For validation of the proposed methodology, an algorithm was developed in Python language that following the steps of the methodology proposed in the work, was able to obtain the indicators of conformity of the electric voltage of transgressions for precarious voltage (DRP) and critical voltage (DRC). Obtaining this methodology is valid for understanding the processes behind power quality analyses, which are obtained through approved power analyzers. Through created and manipulated voltage data, results that validate the proposed methodology was obtained, considering that the input data was manipulated so that one could compare the algorithm's performance in its final results.

Keywords: Algorithm. DRP. DRC. Power Quality. PRODIST.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Pontos de conexão em tensão nominal inferiores a 1 kV 21
Figura 2 – Digitalização de um sinal analógico 25
Figura 3 – Sinal convertido com diferentes taxas de amostragem 26
Figura 4 – Exemplo de um sinal quantizado 26
Figura 5 – Valor Eficaz 27
Figura 6 – Duas senoides 28
Figura 7 – Fluxograma de aquisição dos índices DRC e DRP 31
Figura 8 – Janela 15 ciclos de dados RMS 32
Figura 9 – Janela de integralização de 10 minutos 33
Figura 10 – Expurgo de janela inválida 34
Figura 11 – Visão geral das leituras válidas 36
Figura 12 – Amostras por ciclo 37
Figura 13 – Distribuição normal ou Gaussiana 38
Figura 14 – Dicionário *Python* 40
Figura 15 – Gráfico nível de tensão x janela válida - 1ª simulação 43
Figura 16 – Histograma leituras válidas - 1ª simulação 43
Figura 17 – Gráfico nível de tensão x janela válida - 2ª simulação 45
Figura 18 – Histograma leituras válidas - 2ª simulação 45
Figura 19 – Gráfico nível de tensão x janela válida - 3ª simulação 47
Figura 20 – Histograma leituras válidas - 3ª simulação 48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Projeção do consumo de energia elétrica na rede (GWh), 2021-2025 . . 14
Tabela 2 – Pontos de conexão em tensão nominal inferiores a 1 kV 21
Tabela 3 – Classificação das Variações de Tensão de Curta Duração 23
Tabela 4 – Dados de entrada da 1ª simulação 42
Tabela 5 – Dados de entrada da 2ª simulação 44
Tabela 6 – Dados de entrada da 3ª simulação 46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
DRC	Duração Relativa da Transgressão de Tensão Crítica
DRP	Duração Relativa da Transgressão de Tensão Precária
EUSD	Encargo de Uso do Sistema de Distribuição
IEC	*International Electrotechnical Comission*
IFTO	Instituto Federal do Tocantins
NLC	Número de Leituras situadas nos níveis Críticos
NLP	Número de Leituras situadas nos níveis Precários
ONS	Operador Nacional do Sistema
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica
QEE	Qualidade de Energia Elétrica
RMS	*Root Mean Square*
SDMT	Sistema de distribuição de média tensão
SDAT	Sistema de distribuição de alta tensão
TA	Tensão de Atendimento
TL	Tensão de Leitura
TN	Tensão Nominal
VTCD	Variação de Tensão de Curta Duração

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 14
1.1 Problema de Pesquisa 15
1.2 Justificativa 16
1.3 Objetivos 17
1.3.1 Objetivo geral 17
1.3.2 Objetivos Específicos 17
1.4 Estrutura do Trabalho 17

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 18
2.1 Qualidade de energia 18
2.2 PRODIST - Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional 19
2.2.1 Tensão em regime permanente 20
2.2.1.1 Classificação das leituras 20
2.2.1.2 DRC e DRP 21
2.2.2 Variação de tensão de curta duração 22
2.2.3 Medição 23
2.3 Analógico para o digital 24
2.3.1 Amostragem 25
2.3.2 Quantização 26
2.3.3 Valor Eficaz 27

3 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO 30
3.1 Procedimentos Metodológicos 30
3.2 Metodologia de obtenção de DRP e DRC 31
3.2.1 Captura de dados da leitura 32
3.2.2 Conversão analógico-digital do sinal 32
3.2.3 Leitura dos dados RMS 32
3.2.4 Criação da janela de integralização 33
3.2.5 Identificação de ocorrências de VTCD 33
3.2.6 Tratamento de ocorrências de interrupções 34
3.2.7 Validação da janela de agregação 34
3.2.8 Tratamento da janela válida 35
3.2.9 Ciclo final de processamento 35
3.2.10 Cálculo final dos índices de conformidade de tensão 36
3.3 Desenvolvimento do algoritmo de programação 36

3.3.1 Definição dos parâmetros iniciais do algoritmo **37**
3.3.2 Criação das janelas de dados **37**
3.3.3 Ciclo de análise de cada janela de 10 minutos **39**
3.3.4 Relatório da simulação **41**

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES **42**
4.1 1ª Simulação **42**
4.2 2ª Simulação **44**
4.3 3ª Simulação **46**

5 CONCLUSÃO **49**

REFERÊNCIAS **50**

APÊNDICE A – CÓDIGO DESENVOLVIDO EM *PYTHON* **55**

APÊNDICE B – RELATÓRIO FINAL **68**
B.1 Relatório 1ª simulação **68**
B.2 Relatório 2ª simulação **69**
B.3 Relatório 3ª simulação **70**

1 INTRODUÇÃO

Nações emergentes e desenvolvidas têm como fator predominante o uso crescente de energia elétrica, de forma que o consumo é diretamente ligado ao desenvolvimento tecnológico da região (SAITO, 2020). Na Tabela 1, proveniente do estudo de projeção de demanda de energia elétrica levantado pelo Operador Nacional do Sistema (EPE; ONS; CCEE, 2021), observa-se que pela característica do maior desenvolvimento da região sudeste esta requer uma maior projeção de consumo de energia elétrica.

Tabela 1 – Projeção do consumo de energia elétrica na rede (GWh), 2021-2025

Consumo Total	2020	2021	2022	2023	2024	2025	Δ% ao ano
	472.700	496.109	510.392	528.814	547.679	567.190	3.7
Residencial	146.650	149.290	151.941	157.615	163.371	169.259	2,9
Industrial	166.195	180.689	185.309	190.777	196.217	201.761	4,0
Comercial	81.994	86.038	89.687	93.322	97.168	101.236	4,3
Outras classes	77.862	80.092	83.455	87.099	90.923	94.934	4,0
Norte	35.407	37.581	38.731	39.950	41.481	42.882	3,9
Nordeste	73.430	78.015	80.496	83.722	87.077	90.544	4,3
Sudeste/CO	275.956	288.350	296.242	306.625	316.920	327.746	3,5
Sul	87.906	92.163	94.924	98.518	102.201	106.018	3,8

Fonte: EPE, ONS, CCEE (2021, p. 13)

A energia elétrica é um serviço imprescindível ao progresso tecnológico. Somado a isso, quanto à competitividade dos setores da indústria e serviços, a qualidade do serviço é constituída como um fator crucial para seu desenvolvimento (OLESKOVICZ, 2007).

Em suma, energia elétrica, de acordo com Dulgan et al. (2002), é a relação entre corrente e tensão. Como a corrente fica a cargo da própria necessidade da carga, a tensão é usada como referência do critério de controle de qualidade da energia elétrica (QEE). Tal grandeza é tratada como qualidade do produto no módulo 8 dos PRODIST (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica) – documento elaborado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) para "estabelecer os procedimentos relativos à qualidade da energia elétrica - QEE, abordando a qualidade do produto,a qualidade do serviço prestado e a qualidade do tratamento de reclamações" (ANEEL, 2021).

É possível observar na história da energia elétrica que a preocupação quanto à sua qualidade é recente, sobretudo relativo as últimas duas décadas, como pondera Oleskovicz (2007). O autor ainda considera que essa preocupação está ligada a alteração da natureza de cargas consumidoras e da forma como a energia é utilizada hoje.

Alinhado à eletrônica de potência, cargas não lineares provenientes de equipamen-

tos modernos foram instalados nos consumidores finais. Tais cargas, por suas condições mais precisas e mais eficientes, demandam uma QEE cada vez maior (KAGAN; ROBBA; SCHIMIDT, 2009).

Dugan et al (2002) esclarece que "qualidade de energia, como qualidade de outros bens e serviçoes, é difícil de se quantificar. Não existe uma definição única aceita da qualidade da energia" (Dugan et al, 2002, p.5, tradução nossa)[1].

Apesar disso, independente do usuário final que utilizará a energia elétrica, problemas ligados à QEE ocasionam prejuízos consideráveis. Por esse motivo, consumidores industriais, residenciais e comerciais estão cada vez mais atentos a seus direitos como consumidores de energia, o que torna mais imperativo o aumento na QEE fornecida, visto que os distúrbios ligados a ela possuem, a longo ou curto prazo, implicações econômicas e legais evidentes (BOTTURA, 2010).

A partir dessa compreensão, de que a QEE é cada vez mais patente e seu estudo deve ser continuamente aprofundado, surgiu o interesse por essa pesquisa, que se concentrará em explicar, de forma metodológica, o processo de aquisição de indicadores individuais de qualidade da tensão elétrica[2], seguindo os critérios do módulo 8 do PRODIST, para fins de avaliação dos distúrbios ligados à QEE[3]. O intuito é esclarecer como tais indicadores são calculados e tratados, facilitando, assim, o acesso a compreensão do mesmo.

1.1 Problema de Pesquisa

A qualidade do fornecimento da energia elétrica, como avanço tecnológico, é um dos pilares da relação entre quem oferta energia e quem a usufrui. Essa qualidade está diretamente relacionada aos níveis de tensão. O acesso aos níveis de tensão é um direito concedido ao consumidor. A ANEEL, segundo a resolução 505/2001, possibilita ao consumidor o requerimento da análise de sua tensão de atendimento sempre que julgar necessário.

Diante do acesso aos níveis de tensão e a normas vigentes com relação ao assunto estabelecido pelo PRODIST, há ainda a dificuldade da clareza da metodologia por trás da QEE ligada a tensão. Os índices de conformidade da tensão são regidos e estabelecidos pelo módulo 8 do PRODIST, mas não é elucidado como tais índices são calculados ou como é o processo de obtenção dos mesmos. Assim sendo, tal metodologia é de grande importância, pois por meio dela se explica como se dá o funcionamento dos analisadores

[1] "Power quality, like quality in other goods and services, is difficult to quantify. There is no single accepted of definition of quality power."

[2] Para efeitos de simplificação, o termo a ser utilizado ao longo do trabalho será apenas "tensão", uma vez que o tema em evidência claramente aponta para o parâmetro físico "tensão elétrica".

[3] No presente trabalho, a QEE está ligada diretamente à qualidade da tensão e a condição da tensão elétrica se dará sempre em regime permanente.

de qualidade energia elétrica, bem como esclarece temáticas concernentes a qualidade da tensão fornecida.

Diante dessas resoluções, como fundamentar uma base confiável que esclareça o caminho para se obter os índices de conformidade da tensão?

1.2 Justificativa

Com a disseminação da tecnologia e o seu avanço, há cada vez mais a presença de equipamentos de natureza elétrica. Com esse avanço, a necessidade de melhoria na qualidade da energia elétrica se faz cada vez mais necessária.

Valores desajustados de tensão podem causar inúmeros problemas para os usuários, seja a longo ou curto prazo. A legislação e órgãos competentes que atuam junto à QEE estabelecem critérios e normatizam parâmetros que autenticam a qualidade da energia, parâmetros que são normatizados por normas estrangeiras e abordadas a nível nacional pela ANEEL, por meio do PRODIST.

Com isso, índices quanto à qualidade da tensão ficam confusos ou mesmo dúbios. Tais índices não são apenas importantes para os usuários, mas também para as concessionárias, tendo em vista que o mau funcionamento ligado à energia elétrica é um fator determinante no nível de satisfação do consumidor. A satisfação ligada ao serviço energético é um ponto importante da relação de quem fornece a energia e quem usufruí.

Esses índices de conformidade de tensão são expressos nos mais básicos relatórios dos analisadores de qualidade de energia elétrica, e podem ser solicitados na concessionária local caso ocorra inadequação na energia. O presente trabalho tem por finalidade apresentar uma visão detalhada do módulo 8 do PRODIST, trazendo maior clareza e maior entendimento da metodologia para aquisição, tratamento e processamento desse índices.

Observou-se uma carência na academia da abordagem no assunto deste trabalho, de como tais índices de qualidade da tensão são calculados, de como um pesquisador pode chegar a compreensão holística do assunto. No que tange ao processo mais primário até o produto final, que é o relatório final da qualidade ligada a tensão analisada. Logo, o trabalho servirá como base para pesquisadores da área terem compreensão do processo de aquisição e análise dos indicadores da qualidade da tensão fornecida. Pois como dantes mencionado, tais indicadores carecem de uma abordagem metodológica e clara.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Estabelecer uma metodologia clara e confiável do processo de obtenção de indicadores de qualidade da tensão.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Propor uma metodologia de obtenção dos indicadores de conformidade de tensão, conforme o módulo 8 do PRODIST;
- Desenvolver um algoritmo computacional capaz de simular o processo completo desde a aquisição do dado analógico até a obtenção dos parâmetros de conformidade da tensão.

1.4 Estrutura do Trabalho

O trabalho encontra-se dividido em cinco capítulos. No capitulo 1 está apresentada uma breve introdução, o problema de pesquisa, justificativa e objetivos.

No capítulo 2, é apresentado a fundamentação teórica, que tem por finalidade estabelecer o trabalho, alinhando-o a literaturas existentes sobre o tema e expondo a importância do assunto. Partindo da conceituação da qualidade da energia elétrica condicionada a tensão, logo após são apresentadas as normas vigentes sobre o assunto, suas definições e os métodos de aquisição dos dados.

No capítulo 3, o desenvolvimento do trabalho é elucidado. Apresentando a metodologia passo a passo para obtenção dos índices de qualidade da energia elétrica vinculada à tensão, por meio da explicação de um fluxograma. Ainda neste capítulo é apresentado o algoritmo em linguagem *Python* que valida a metodologia proposta.

No capítulo 4 são discutidos os resultados exportados pelo algoritmo construído. O capítulo 5 é reservado à conclusão do trabalho. Por fim, são incluídos os elementos pós-textuais: referências organizadas alfabeticamente e apêndices.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo estão expostos os fundamentos teóricos que se referem à QEE, norteados pelo PRODIST no seu módulo 8. Esse módulo tem grande importância neste trabalho, dado que determina a qualidade do produto, indica as terminologias, caracteriza os fenômenos, traça os limites de referência e expõe a metodologia de medição, normatizando a tensão em regime permanente e estudos específicos da área de qualidade de energia (ANEEL, 2021).

De início, será fundamentado o tema da qualidade de energia elétrica, abordando a qualidade do produto, estabelecido por seus índices de conformidades de tensão em regime permanente e transitório. Após, está explanado o PRODIST, no que concerne ao módulo 8, sobre a qualidade da energia elétrica, e no que concerne ao módulo 5, quanto aos sistemas de medição e procedimentos de leitura. O presente capítulo fundamentará também o processo inerente à medição dessa natureza, que é o processo de conversão analógico-digital.

A revisão de literatura norteará o trabalho subsequente, devidamente fundamentado e conceituado, o trabalho será validado em seus procedimentos metodológicos.

2.1 Qualidade de energia

Para Mehl (2002), a disponibilidade de energia elétrica representa um crescimento da qualidade de vida das pessoas. Com a implantação e distribuição da energia elétrica, a população dispõe de inúmeros benefícios, correlatos a melhores possibilidades de emprego e produção. A QEE fornecida para o sistema elétrico pode ser um fator decisivo na produção de bens e serviços que servem à população (RIBEIRO, 2020).

O termo QEE, de acordo com Deckmann e Pomilio (2020), virou um jargão no setor elétrico nos últimos anos. Por ser usado *lato-sensu*, muitas são as definições consideradas quando o assunto é tratado. A QEE é melhor definida no presente trabalho como a qualidade da energia ligada ao funcionamento adequado das cargas elétricas, pressupondo tensões mais próximas possíveis de um comportamento senoidal e frequência de 60 Hz (PADILLA, 2008).

Para apresentação do tema, é necessário elucidar que a QEE é inseparável da qualidade do fornecimento, sendo a qualidade de fornecimento a responsável pela adequação da energia que suprirá os equipamentos elétricos ligados à rede elétrica de distribuição (EURELECTRIC, 2002).

Eurelectric (2002) ainda estabelece que os dois componentes principais ligados ao

fornecimento de energia são continuidade e nível de tensão. A continuidade pode ser entendida como a confiabilidade que o usuário pode ter quanto a não interrupção do fornecimento de energia elétrica. Já o nível de tensão é trazido como o grau em que a tensão é mantida em uma determinada faixa.

A acentuada preocupação com a QEE se dá pela recente reformulação que o setor elétrico vem experimentando, que busca implementar a filosofia que energia elétrica deve ser tratada como um produto comercializado. Percebe-se, então, que o consumidor, como destinatário final do serviço, requer as melhores condições de energia elétrica fornecida (DECKMANN; POMILIO, 2020).

Com isso, as operadoras do sistema elétrico, reguladas pela ANEEL, são obrigadas a fornecer detalhes sobre eventos que afetaram a energia distribuída aos consumidores. Nesse sentido, é sustentada a importância do monitoramento e análise da qualidade da energia elétrica (DECKMANN; POMILIO, 2020).

A energia elétrica é um serviço direcionado ao consumidor. A concessionária, portanto, existe pela necessidade primária do consumidor. Por essa hierarquia de processos, é necessário entender que a QEE entregue ao consumidor não é dispensável. Ainda assim, seus padrões e indicadores de conformidade devem ser os mais adequados possíveis, de modo que o consumidor sinta confiança e credibilidade no fornecimento da energia elétrica que está sendo entregue, como resultado de transparência e empatia contratual entre as partes (JANNUZZI, 2007).

A qualidade de energia está completamente ligada à percepção do consumidor. Em seu material, Oleskovicz (2007) argumenta que, para o consumidor residencial, a baixa qualidade de energia está ligada à sua falta, de modo que, se a falta não se estender, a QEE não é implicada.

Por outro lado, em relação ao setor industrial, a pequena falta de energia já é responsável pela inicialização de toda a planta industrial, o que acarreta um relevante prejuízo financeiro, já que uma interrupção ou queda de 30% na tensão fornecida por um curto período já é suficiente para zerar controladores programáveis da indústria, ensejando inúmeras situações indesejáveis. Logo, para os grandes consumidores o principal motivo ligado ao interesse em QEE é seu valor econômico (DULGAN *et al.*, 2012).

2.2 PRODIST - Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional

A ANEEL é uma autarquia sob regime especial, regida pela lei nº 9.427, de 26 de Dezembro de 1996 e vinculada ao Ministério de Minas e Energia, atuando na regulação e fiscalização da produção, transmissão, distribuição e comercialização da energia elétrica.

Os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica do Sistema Elétrica Nacional foram elaborados pela ANEEL em conjunto com outros órgãos do setor elétrico nacional, que normatizam e padronizam as atividades técnicas relacionadas ao desempenho dos sistemas de distribuição de energia elétrica (ANEEL, 2021). Ainda, os objetivos do PRODIST, delimitados pela Aneel (2021), são:

> a) garantir que os sistemas de distribuição operem com segurança, eficiência, qualidade e confiabilidade;
> b) propiciar o acesso aos sistemas de distribuição, assegurando tratamento não discriminatório entre agentes;
> c) disciplinar os procedimentos técnicos para as atividades relacionadas ao planejamento da expansão, à operação dos sistemas de distribuição, à medição e à qualidade da energia elétrica;
> d) estabelecer requisitos para os intercâmbios de informações entre os agentes setoriais e entre eles e os consumidores;
> e) assegurar o fluxo de informações adequadas à ANEEL;
> f) disciplinar os requisitos técnicos na interface com a Rede Básica, complementando de forma harmônica os Procedimentos de Rede.

O presente trabalho recorre aos módulos 5 e 8 do PRODIST para sua fundamentação. Em sequência, são apresentados os subitens relativos aos detalhes que nortearão a pesquisa.

2.2.1 Tensão em regime permanente

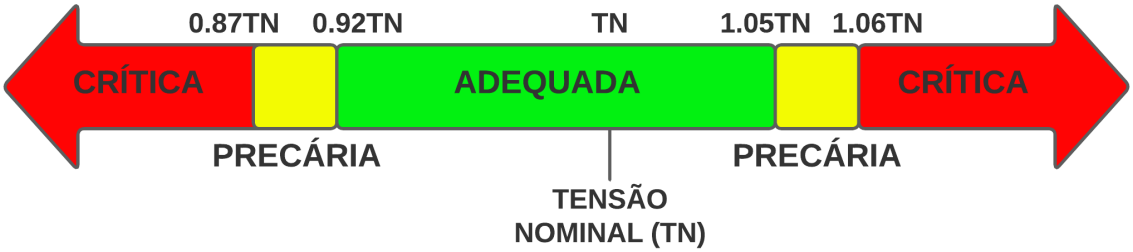
Regime permanente diz respeito à condição, em uma janela que compreende dez minutos, que a tensão não sofre perturbação capaz de invalidar a janela de leitura (GRANDI, SIQUEIRA, 2012).

A distribuidora de energia fica responsável não apenas por fornecer a tensão elétrica, mas também por acompanhar todo o sistema de distribuição, dotando-se de técnicas modernas para garantir, preventivamente, que a tensão em regime permanente se mantenha nos padrões adequados (ANEEL, 2021). A nível de transmissão e distribuição, fica a cargo de órgãos de fiscalização e da concessionária as incumbências acima, tendo em vista que o sistema elétrico está constantemente sujeito a variação de tensão (OLESKOVICZ, 2007).

2.2.1.1 Classificação das leituras

Em consideração à normativa regida pela ANEEL (2021) em seu módulo 8, a expressão “conformidade de tensão” leva à compreensão de que a tensão obtida por medição apropriada, no ponto de conexão, compara os níveis de tensão medidos com a referência e os classifica como adequados, precários e críticos. A classificação pode ser vista na Figura 1.

Figura 1 – Pontos de conexão em tensão nominal inferiores a 1 kV



Fonte: Autoral

Como estabelece a ANEEL (2021), os valores de tensão obtidos na medição devem ser comparados com a tensão referência. Para a indicação genérica da Figura 1, a tensão nominal de referência é a monofásica de 220 V. Tendo como medida o ponto de conexão, toda leitura fora do padrão adequado configura-se como inconformidade e, portanto, é considerada precária ou crítica. De forma genérica, para tensões abaixo de 1 kV, a Tabela 2 apresentada define os limites de tensão.

Tabela 2 – Pontos de conexão em tensão nominal inferiores a 1 kV

Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de Variação da Tensão de Leitura (TL) em Relação à Tensão Nominal (TN)
Adequada	0,92TN≤TL≤1,05TN
Precária	0,87TN≤TL<0,92TN ou 1,05TN<TL≤1,06TN
Crítica	TL<0,87TN ou TL>1,06TN

2.2.1.2 DRC e DRP

Para fins de avaliação da tensão em regime permanente, indicadores individuais de Duração Relativa da Transgressão de Tensão Crítica (DRC) e Duração Relativa da Transgressão Precária (DRP) são estabelecidos. Tais indicadores expressam, por meio de percentuais, a duração relativa de tensão crítica e precária da unidade consumidora analisada (FONSECA, 2019). Os indicadores individuais são obtidos por um conjunto de leituras que compreendam um registro de 1008 leituras válidas, obtidos em intervalos consecutivos de 10 minutos, que ao fim compreendem um período de 168 horas ou 7 dias de medição (ANEEL, 2021).

Após a obtenção do conjunto de leituras válidas, os indicadores individuais DRC (2.1) e DRP (2.2) são calculados de acordo com as seguintes expressões:

$$DRC = \frac{nlc}{100} \cdot 100\,[\%] \tag{2.1}$$

$$DRP = \frac{nlp}{100} \cdot 100\,[\%] \tag{2.2}$$

Onde:
nlp - número de leituras situadas nos níveis precários.
nlc - número de leituras situadas nos níveis críticos.

Com as Equações 2.1 e 2.2, calculam-se a porcentagem de ocorrência dos indicadores individuais. A ANEEL estabelece os limites dos indicadores: para o indicador DRP, o limite é de 3%; para o indicador DRC é de $0,5\%$ (ANEEL, 2021).

Caso na medição seja constatado que os limites foram excedidos, a ANEEL garante que o consumidor deve ser compensado. O cálculo da compensação é regido pela Equação 2.3 (ANEEL, 2021):

$$Valor = \left[\left(\frac{DRP - DRP_{limite}}{100}\right) \cdot k_1 + \left(\frac{DRC - DRC_{limite}}{100}\right) \cdot k_2\right] \cdot EUSD \tag{2.3}$$

Sendo:
$k_1 = 0$, se DRP $\leq DRP_{limite}$;
$k_1 = 3$, se DRP $> DRP_{limite}$;
$k_2 = 0$, se DRC $\leq DRC_{limite}$;
$k_2 = 7$, para consumidores atendidos em baixa tensão, se DRC $> DRC_{limite}$;
$k_2 = 5$, para consumidores atendidos em média tensão, DRC $> DRC_{limite}$;
$k_2 = 3$, para consumidores atendidos em alta tensão, DRC $> DRC_{limite}$;
DRP = valor do DRP expresso em %, apurado na última medição;
$DRP_{limite} = 3\%$;
DRC = valor do DRC expresso em %, apurado na última medição;
$DRC_{limite} = 0,5\%$;
EUSD = valor do encargo de uso do sistema de distribuição correspondente ao mês de referência da última medição.

2.2.2 Variação de tensão de curta duração

Variações de Tensão de Curta Duração (VTCD) são desvios significativos de amplitude do valor eficaz da tensão, compreendidos em um intervalo de tempo igual ou superior a 16,67 ms (1 ciclo) e inferior a 3 minutos (ANEEL, 2021).

De acordo com Dulgan et al. (2002), a condição de VTCD pode se estabelecer por conta de faltas no sistema elétrico. Dependendo do local da falta e do comportamento dos dispositivos de proteção da rede, diferentes eventos de tensão de pequena duração podem acontecer.

A amplitude da VTCD é definida pelo valor extremo do valor eficaz da tensão em relação à tensão de referência do sistema, enquanto durar o evento (MAIA, 2011). Maia

(2011) pondera ainda que, a duração do evento se dá desde o momento que a tensão eficaz cruza determinado limite até o instante que o valor eficaz da tensão volta a cruzar esse limite.

A VTCD é ainda subdividida em variação momentânea e temporária de tensão, no que diz respeito à duração da variação. E em interrupção, afundamento e elevação, no que diz respeito à amplitude da tensão. Sendo a variação momentânea caracterizada por eventos que ocorrem entre 16,67 ms (1 ciclo) até três segundos e a variação temporária de eventos que ocorrem entre três segundos e três minutos.

Tabela 3 – Classificação das Variações de Tensão de Curta Duração

Classificação	**Denominação**	**Duração da Variação**	**Amplitude da tensão (valor eficaz) em relação à tensão de referência**
Variação Momentânea de Tensão	Interrupção Momentânea de Tensão	Inferior ou igual a três segundos	Inferior a 0,1 p.u
	Afundamento Momentâneo de Tensão	Superior ou igual a um ciclo e inferior ou igual a três 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 três segundos	Superior a 1,1 p.u
Variação Temporária de Tensão	Interrupção Temporária de Tensão	Superior a três segundos e inferior a três minutos	Inferior a 0,1 p.u
	Afundamento Temporário de Tensão	Superior a três segundos e inferior a três minutos	Superior ou igual a 0,1 e inferior a 0,9 p.u
	Elevação Temporária de Tensão	Superior a três segundos e inferior a três minutos	Superior a 1,1 p.u

Fonte: ANEEL (2021, p. 20)

2.2.3 Medição

Para obtenção dos indicadores quanto à conformidade da tensão, a medição deve seguir os critérios estabelecidos pela ANEEL. O conjunto de leituras deve abranger registros de 1008 leituras válidas, obtidas em intervalos consecutivos de 10 minutos cada, à exceção de leituras que apresentem variação temporária de tensão ou interrupções de longa duração, que devem ter sua janela de 10 minutos expurgada e substituída pela próxima janela, em que não ocorram tais eventos (ANEEL, 2021). Vale ressaltar que as variações momentâneas de tensão tem o expurgo não obrigatório, ficando facultativo o expurgo da janela com tais eventos. No presente trabalho, no que tange o algoritmo computacional proposto, as leituras de variações momentâneas não foram expurgadas.

A medição da tensão em regime permanente é regida pelos critérios de medição e

são tidas nas seguintes modalidades (ANEEL, 2021):

> a) eventual, por reclamação do consumidor ou por determinação da ANEEL;
> b) amostral, por determinação da ANEEL, de acordo com sorteio realizado para cada trimestre;
> c) permanente, por meio do sistema de medição de unidades consumidoras de BT com funcionalidades adicionais ou para os casos em que o acessante conectado ao Sistema de distribuição de média tensão (SDMT) ou ao Sistema de distribuição de alta tensão (SDAT) optar por medidor de qualidade da energia elétrica, conforme critérios e procedimentos estabelecidos nesta Seção e no Módulo 5.

A distribuidora de energia elétrica deve ainda informar, por meio de comunicação auditável, se a unidade consumidora passará a ter seus níveis de tensão monitorados permanentemente, com critérios baseados no módulo 8 do PRODIST, expondo o direito de compensação caso haja violação dos limites dos indicadores DRC e DRP (ANEEL, 2021).

Por fim, até o ano de 2030, para medição em regime permanente, instrumentos de medição com até 1% de precisão poderão ser usados, e os valores eficazes podem ser calculados em janelas sucessivas, janelas essas que compreenderão uma sequência de 12 a 15 ciclos (ANEEL, 2021).

2.3 Analógico para o digital

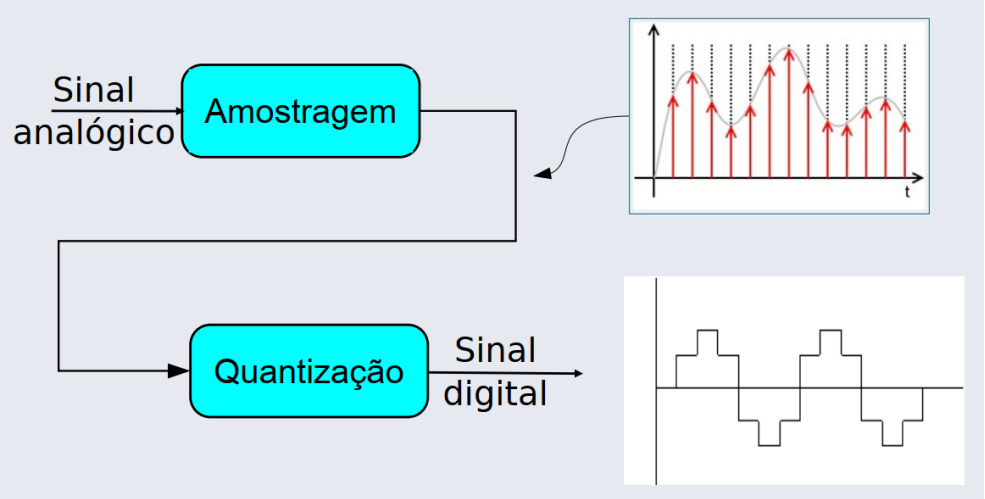
Para que seja esclarecido processos subsequentes da qualidade da tensão, faz-se necessário previamente mostrar o processo que envolve a análise da qualidade, que no caso é a transformação do sinal analógico para o sinal digital.

O processo de conversão do sinal, é um processo que o sinal passa a ser representado por um conjunto de dados discretos. Tais amostras são o valor correspondente do sinal original nos instantes determinados, e isso é feito de forma que o sinal original possa ser reconstruído com exatidão (ABRANTES, 2004).

A razão de se converter o sinal é primeiramente por conta que o sinal analógico encontra mais dificuldades de processamento que o sinal digital, sendo que o sinal digital é mais facilmente manipulável e mantém a informação do sinal com uma maior precisão (J.TOCCI et al., 2011).

No processo de conversão, o sinal ao ser digitalizado passa por duas etapas básicas que são: amostragem e quantização (LATHI, 2007). Na figura abaixo, Ynoguti (2022) ilustra sinteticamente o processo envolvido.

Figura 2 – Digitalização de um sinal analógico



Fonte: Ynoguti (2022).

2.3.1 Amostragem

Nessa etapa o sinal passa por um processo de transformação, onde o sinal analógico amostrado periodicamente é convertido em um sinal discreto (LIMA, 2016).

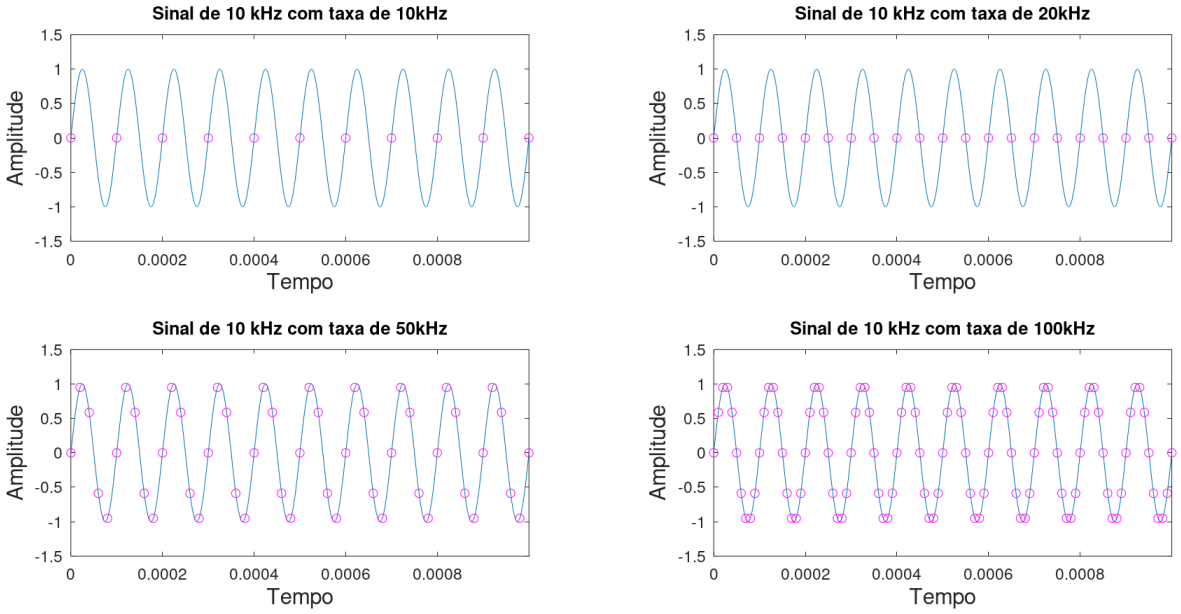
Nesse sentido, o processo de conversão deve obedecer o teorema da amostragem. Segundo esse teorema, que também pode ser chamado de teorema de Nyquist–Shannon (1998), o sinal analógico pode ser recuperado se a frequência de amostragem for pelo menos duas vezes maior que a frequência mais alta N presente no sinal analógico, sendo N a frequência de Nyquist, representada pela Equação (2.4) (DANTAS; FONSECA; SILVA, 2014):

$$\omega_s \geq 2 \cdot \omega_N \tag{2.4}$$

Se o teorema não for respeitado ocorre o que se chama de efeito *aliasing* (sobreposição de amostras), o que torna a recuperação do sinal impossível, pois frequências originalmente altas no espectro do sinal aparecem em regiões de mais baixas frequências (OPPENHEIM, 2010)

Na Figura 3 é exemplificado um sinal restituído com diferentes taxas de amostragem. Observa-se que quanto maior a taxa de amostragem mais fidedigno será o sinal que está sendo processado.

Figura 3 – Sinal convertido com diferentes taxas de amostragem

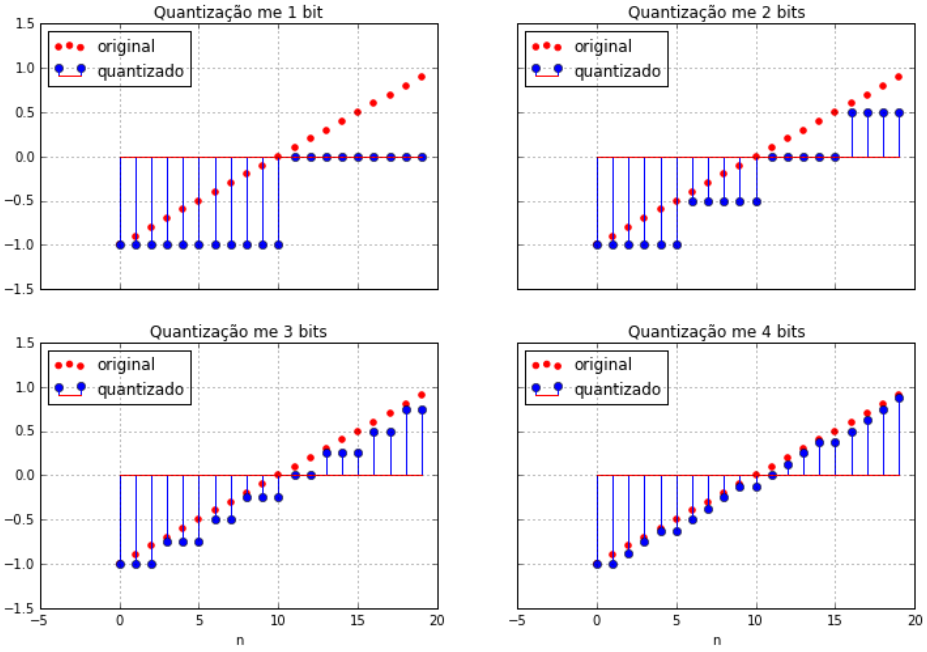


Fonte: Autoral

2.3.2 Quantização

A quantização é o processo de conversão do sinal discreto em sinal digital, com uma representação finita de bits segundo Oppenheim (2010). Sendo assim, a quantização é uma aproximação do sinal, sendo que essa aproximação é definida pelo número de resolução de bits do conversor.

Figura 4 – Exemplo de um sinal quantizado



Fonte: Sanches (2017)

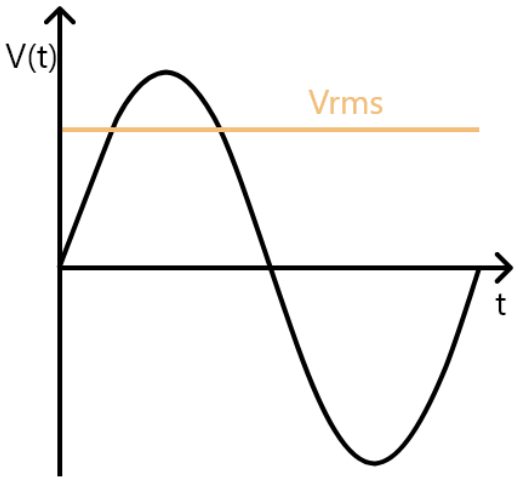
Como visto na Figura 4, o nível de precisão do sinal quantizado depende do número de *bits* do conversor A/D. Quanto maior for o número de *bits* mais fidedigno será a conversão do sinal, e menor será o erro de quantização, que é a diferença do valor real do sinal e seu valor quantizado. Os conversores que possuem n *bits*, terão 2^n possíveis de valores quantizados de amostras. Assim um conversor de 4 *bits*, terá $2^4 = 16$ níveis possíveis; se tiver 3 *bits* terá $2^3 = 8$ e se tiver 2 *bits*, terá $2^2 = 4$ níveis possíveis (SILVEIRA, 2019).

2.3.3 Valor Eficaz

Nesta seção, vamos abordar, de forma breve, para embasamento dessa pesquisa, a definição de valor eficaz e como podemos calculá-lo.

O valor eficaz de um sinal qualquer, também conhecido como valor RMS (da sigla em inglês, Root Mean Square – Valor quadrático médio), é um valor constante (contínuo) que seria capaz de produzir sobre uma resistência a mesma potência elétrica que o sinal original produziria sobre a mesma resistência (OLIVEIRA, 2021). A RMS pode ser visualizada como na Figura 5.

Figura 5 – Valor Eficaz



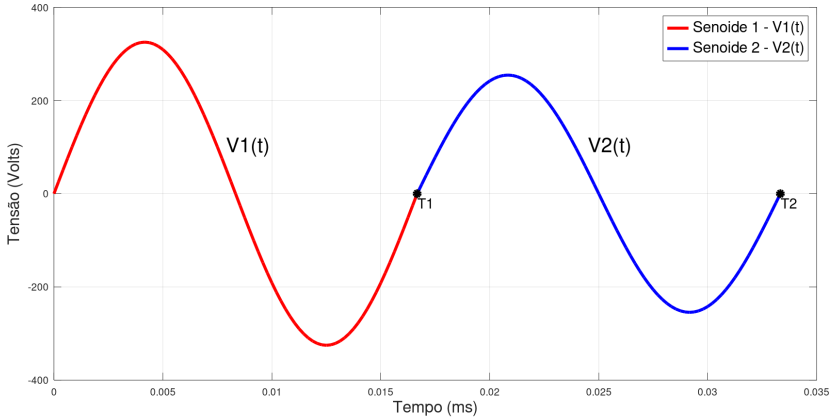
Fonte: Mundo projetado (2018)

Edminister (1991) explica que da corrente i(t) em um resistor puro R resulta uma potência p(t) de valor médio P. Esta mesma potência P poderia ser produzida em R por uma corrente constante I. Diz-se, então, que a corrente i(t) tem um valor efetivo ou eficaz I_{RMS}, equivalente a essa corrente constante I. O mesmo se aplica a função tensão, cujo valor eficaz é V_{RMS}. Portanto, o valor eficaz V_{RMS}, de período T, é dado por:

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T V(t)^2 dt} \tag{2.5}$$

Nakashima (2013) pondera que o valor eficaz ou RMS de um onda senoidal de tensão está ralacionado com o calor dissipado em uma resistência. Ele ainda explica que o valor eficaz representa o valor de um tensão contínua que produz uma igual dissipação de potência que a tensão periódica.

Figura 6 – Duas senoides



Fonte: Autoral

Os passos abaixo demostram a verificação, com objetivo de provar que o valor RMS de um sinal periódico grande pode ser obtido por meio da raiz quadrada da soma quadrática de multiplas RMS divididas pela quantidade de valores de RMS. A validação segue os sinais de exemplos da Figura 6, onde dois sinais senoidais de mesmo período e de diferentes amplitudes são esboçados.

$$
\begin{aligned}
V_{RMS} &= \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T V(t)^2 dt} \\
V_{RMS} &= \sqrt{\frac{1}{T_2 - 0}\int_0^{T_2 - 0} V(t)^2 dt}
\end{aligned}
$$

Como demostrado na imagem é um sinal periódico. O Período fundamental é igual a T, para dois períodos o valor é igual a 2T. Logo, assumimos $T_1 = T$ e $T_2 = 2T$, teremos

$$
\begin{aligned}
V_{RMS} &= \sqrt{\frac{1}{2T}\int_0^{2T} V(t)^2 dt} \\
V_{RMS} &= \sqrt{\frac{1}{2}} * \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^{2T} V(t)^2 dt}
\end{aligned}
$$

Fazendo uso da propriedade da integral. A integral da soma é a soma das integrais:

$$\int_a^c f(x)dx = \int_a^b f(x)dx + \int_b^c f(x)dx$$

Aplicando temos:

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{2}} * \sqrt{\frac{1}{T}\left[\int_0^{T_1} V(t)^2 dt + \int_{T_1}^{T_2} V(t)^2 dt\right]}$$

Se observamos a Equação 2.5, vemos que a equação deduzida acima é a raiz quadrada da soma dos dois sinais de RMS dividido por dois.

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{2}} * \sqrt{V_{1RMS}^2 + V_{2RMS}^2} \Longrightarrow \sqrt{\frac{V_{1RMS}^2 + V_{2RMS}^2}{2}}$$

Agora generalizando, para N valores de RMS, temos:

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{V_{1RMS}^2 + V_{2RMS}^2 + ... + V_{NRMS}^2}{N}} \tag{2.6}$$

Sendo:
V_{RMS} a tensão eficaz;
N a quantidade de valores eficazes (RMS).

3 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Este capítulo trata da metodologia que embasa a análise de indicadores de conformidade da tensão.

3.1 Procedimentos Metodológicos

A metodologia adotada na realização da pesquisa parte do entendimento de que "pesquisa científica é um conjunto de procedimentos sistemáticos, baseados no raciocínio lógico, que tem por objetivo encontrar soluções para os problemas propostos mediante o emprego de métodos científicos"(ANDRADE, 2000, p. 16). Faz-se necessário, então, entender os métodos e técnicas a serem utilizados nessa pesquisa.

A abordagem metodológica utilizada, portanto, inicia-se de caráter qualitativo, uma vez que, como caracteriza Apollinário (2004), a pesquisa lida com fatos, com as variáveis do processo determinadas rigorosamente e sua mensuração determinada pelo próprio método.

O trabalho sendo submetido a uma pesquisa experimental, como tal, o qualifica como quantitativo, pois o mesmo faz por meio dos procedimentos de medição, o teste de hipóteses confrontando com a teoria, a fim de afirmar com convicção, os processos que estabelecem os indicadores de conformidade de tensão.

Quanto ao objetivo, a pesquisa tem por base a forma exploratória. Menezes et al. (2017) aponta que essa categoria de pesquisa ajuda o pesquisador a se a aprofundar em determinado assunto, de forma que, ao final, as conclusões levem a pesquisa a outras abordagens. Como dispõe Gonsalves (2003, p.66),

> [...] é aquela que se caracteriza pelo desenvolvimento e esclarecimento de ideias, com objetivo de fornecer uma visão panorâmica, uma primeira aproximação a um determinado fenômeno que é pouco explorado. Esse tipo de pesquisa também é denominada “pesquisa de base”, pois oferece dados elementares que dão suporte para a realização de estudos mais aprofundados sobre o tema.

O trabalho descreve os processos que originam a obtenção dos indicadores de qualidade da tensão, descrevendo assim os métodos e técnicas para se estabelecer tais indicadores, de forma a aprofundar o estudo da área da QEE.

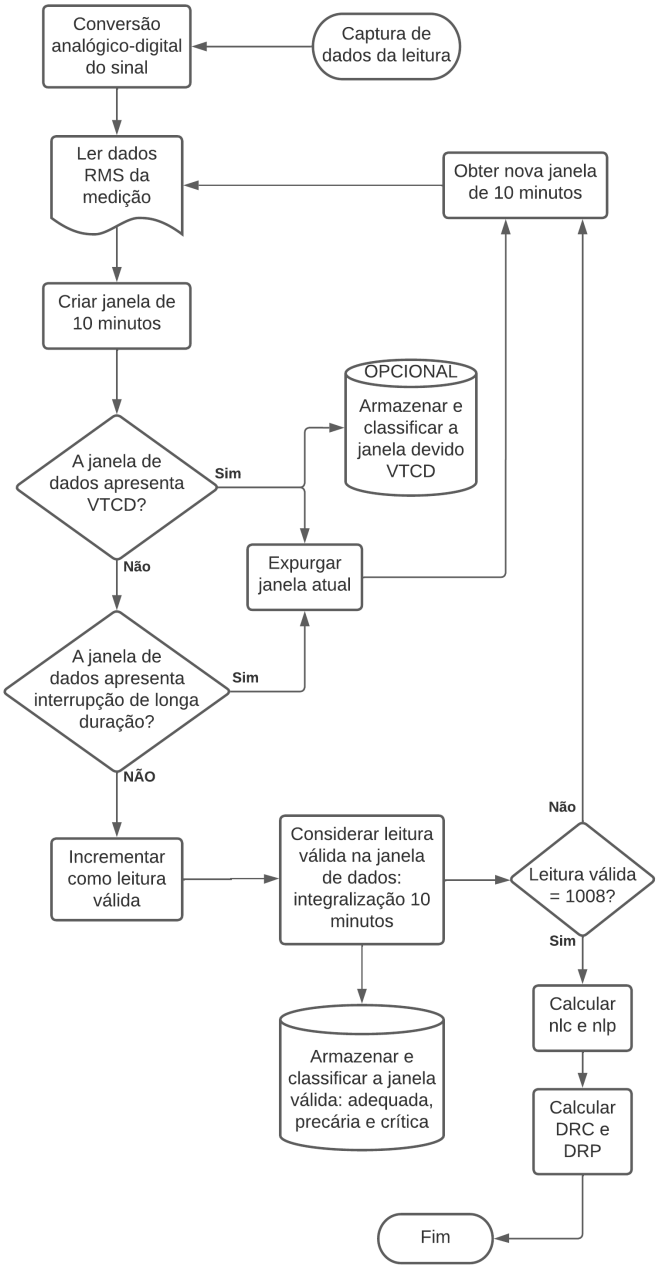
Em perspectiva os tipos dos precedimentos de coleta a pesquisa se enquadra como bibliográfica. Tendo em vista que a se utiliza de fontes como artigos científicos, publicações periódicas e outras fontes (MENEZES et al., 2017). Pondera-se que no processo a fonte deve ser questionada com relação a sua fidedignidade, como elucida Dalberio e Dalberio (2009, p. 167),

> [...] o pesquisador deve tomar cuidado com a fidedignidade e validade científica das informações [sob o risco de] incorrer em possíveis incoerências e contradições causadas por material de baixa credibilidade.

3.2 Metodologia de obtenção de DRP e DRC

O trabalho estabelece os passos necessários para se obter os índices de conformidade da tensão. O fluxograma da Figura 7 mostra, de forma sintetizada, o processo metodológico para se chegar aos índices DRP e DRC. No decorrer do capítulo estão elucidados todos os processos envolvidos.

Figura 7 – Fluxograma de aquisição dos índices DRC e DRP



Fonte: Autoral

O fluxograma apresenta o passo a passo de como se obter os índices DRP e DRC de uma análise de QEE, que é um dos objetivos do trabalho. Os passos envolvidos do fluxograma foram levantados de acordo com o que o PRODIST estabelece em sua documentação. Cada passo do fluxograma é explicado nos subtópicos a seguir.

3.2.1 Captura de dados da leitura

O fluxograma inicia-se com a captura dos dados reais do ponto de análise. Dados que se comportam de forma analógica, sendo o dado na sua forma mais primária.

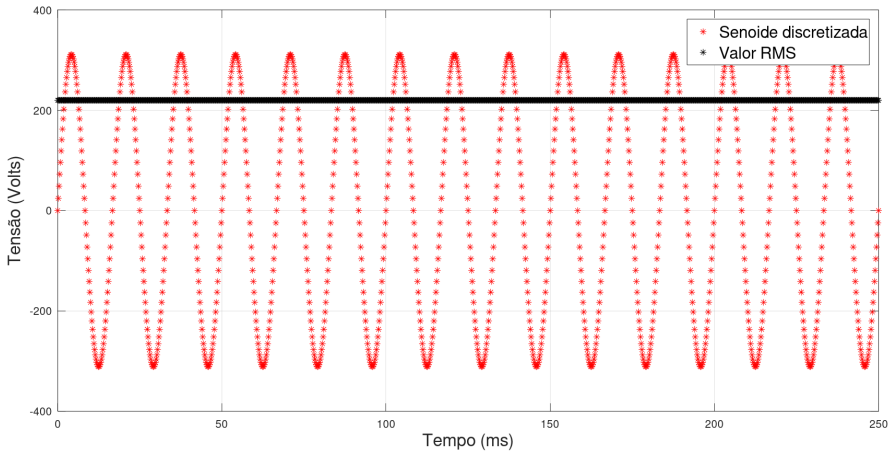
3.2.2 Conversão analógico-digital do sinal

O próximo processo envolvido é o processamento do sinal da tensão elétrica do ponto de medição, que são obtidos por meio de equipamentos que operam segundo o princípio da amostragem digital (ANEEL, 2021). Tais equipamentos devem respeitar normas vigentes da *International Electrotechnical Comission* (IEC) 61000 série 4 ou normas técnicas brasileiras, utilizando método de medição classe A ou S.

3.2.3 Leitura dos dados RMS

De acordo com a norma do PRODIST no seu módulo 5 (ANEEl, 2021), o valor eficaz é calculado por meio de janelas sucessivas de dados discretos, nas quais cada janela compreende 12 a 15 ciclos (0,20 a 0,25 segundos em 60 Hz) de senoides. Neste trabalho, como pode ser visto na Figura 8, as janelas sucessivas são de 15 ciclos ou 0,25 segundos de sinais senoidais de tensão, amplitude 220 V RMS e taxa de amostragem de 80 valores por ciclo.

Figura 8 – Janela 15 ciclos de dados RMS



Fonte: Autoral

Na Figura 8, o sinal em vermelho é a senoide discretizada na medição, consistindo em 80 amostras por cada ciclo, enquanto o sinal em preto é o valor eficaz calculado por meio da Equação 3.1.

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{n} * \sum_{1}^{n} V_{[n]}^2} \tag{3.1}$$

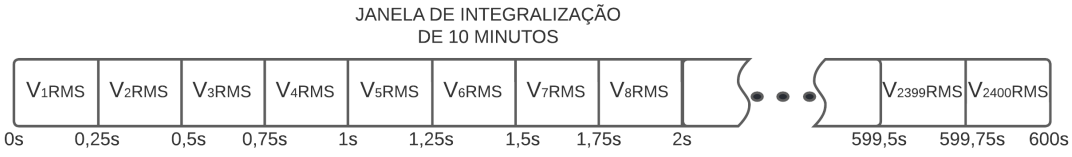
O parâmetro V_{RMS} é a tensão eficaz, n é quantidade de valores discretos da janela de 15 ciclos de senoides e $V_{[n]}$ são os valores discretos. Sendo assim, fazendo-se uso da Equação 3.1 o valor encontrado, demostrado na Figura 8 é de aproximadamente 220 V, considerando n igual a 80 amostras de senoide por ciclo.

3.2.4 Criação da janela de integralização

O próximo passo é a criação da janela de intervalos consecutivos de 10 minutos, de acordo com o item 2.5.1.1 do PRODIST no módulo 8 (ANELL, 2021). Tendo em vista o processo de cálculo do valor eficaz da tensão do subitem anterior, os valores compreendidos na janela de 10 minutos serão valores eficazes de segmentos de 15 ciclos de senoide ou 0,25 segundos, integralizados em 10 minutos.

Como descrito no item 3.2.3 cada valor eficaz de tensão compreende a agregação de valores discretos em 15 ciclos ou 0,25 segundos. Para 10 minutos, os valores agregados de tensão eficaz são de 2400. Na Figura 9 pode-se ver a constituição da janela de integralização de 10 minutos de dados RMS.

Figura 9 – Janela de integralização de 10 minutos



Fonte: Autoral

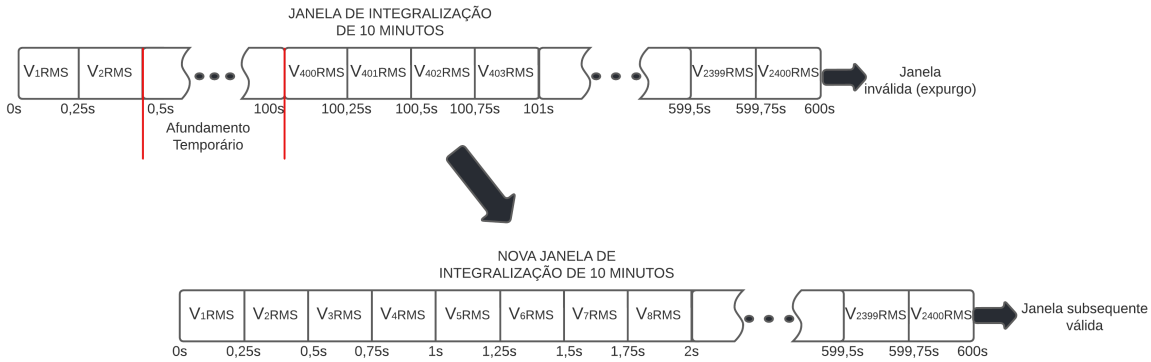
3.2.5 Identificação de ocorrências de VTCD

Seguindo o fluxograma proposto na Figura 7, o próximo passo é a verificação de ocorrência de VTCD dos dados da janela.

Como indicado no índice 9.1.6.2 do módulo 8 do PRODIST, na ocorrência de variações temporárias de tensão ou de interrupções de longa duração, toda a janela de agregação de 10 minutos deve ser expurgada e substituída por outra janela sucessiva que não apresente tais variações, sendo facultativo o expurgo de intervalos que apresentem variações momentâneas de tensão. Tal substituição da janela respeita a condição de aten-

der o valor de 1008 leituras válidas para a medição da qualidade da tensão, ao final da medição.

Figura 10 – Expurgo de janela inválida



Fonte: Autoral

Se a janela de agregação apresentar VTCD do tipo que invalida a janela de 10 minutos, seguindo o fluxograma a janela é expurgada e obtida uma nova janela de integralização de 10 minutos, que pode ser visto na Figura 10. Caso toda a janela de 10 minutos não apresentar qualquer variação que a invalide, a janela passa para o próximo processo.

É também indicada no fluxograma a opção de classificar aquela janela que apresenta VTCD, para fins de posterior análise quanto a natureza do expurgo.

3.2.6 Tratamento de ocorrências de interrupções

Conforme o índice 9.1.6.2 do módulo 8 do PRODIST, se a janela apresentar interrupção de longa duração (maior ou igual a três minutos), a janela também deverá ser expurgada e substituída pela janela sucessiva que não apresente tal interrupção.

Logo, se for identificada uma interrupção que seja de longa duração, o processo de expurgo acontece na janela analisada e assim seguindo o fluxograma da Figura 7, um nova janela de 10 minutos é obtida e o fluxo de análise continua.

3.2.7 Validação da janela de agregação

Após os tratamentos apresentados no itens 3.2.5 e 3.2.6, a janela pode ser classificada como válida. Como o fluxograma elucida, o processo funciona de forma cíclica. Cada janela de agregação passa pelos processos descritos acima de tratamento. Validada a janela, o processo segue para o próximo passo que é o tratamento da janela válida.

3.2.8 Tratamento da janela válida

Depois de classificada como uma janela válida, o próximo passo é a classificação e armazenamento da janela.

Nesse processo, não mais interessam os valores agregados das RMS da tensão, já que os valores agregados são pertinentes apenas para o processo de tratamento de VTCD e interrupções. Sendo assim, é desnecessário o uso dos 2400 valores de RMS de tensão a cada janela de 10 minutos.

Por isso, já que a janela é tida como válida, a janela de agregação pode ser resumida em apenas um valor de RMS, sendo portanto integralizada em um período de 10 minutos, valor que compreende cada janela. Para que seja resumida em um só valor, o cálculo é regido pela Equação 2.6, demostrada na fundamentação teórica do trabalho. Assim o processo é otimizado e o banco de dados é enxugado.

Com o valor único de RMS da janela válida, esta é classificada em adequada, crítica ou precária, de acordo com a Tabela 3.

3.2.9 Ciclo final de processamento

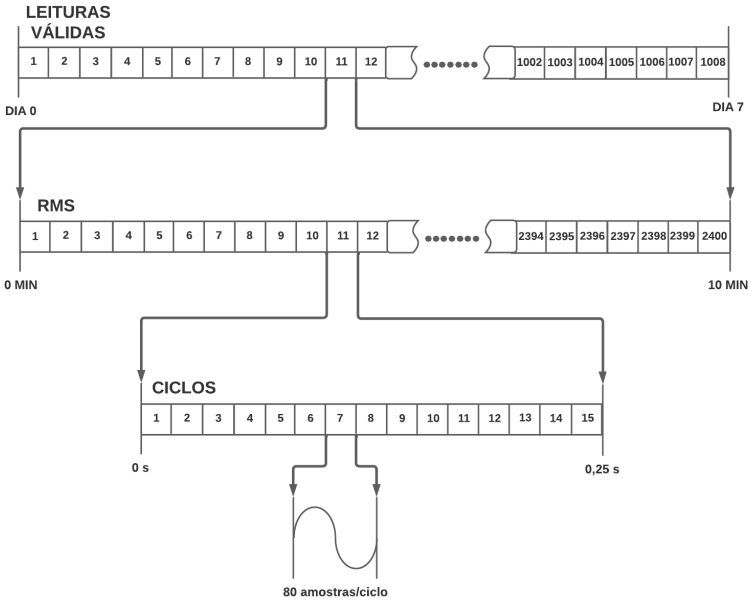
O PRODIST define que deve ser obtida 1008 amostras de janelas válidas para medição completa. Logo, como cada janela tem 10 minutos de duração e multiplicado por 1008 leituras, deve-se ter dados de 168 horas ou sete dias ininterruptos de medição.

As leituras válidas seguem um processo cíclico até que se obtenham as 1008 leituras válidas. No processo do fluxograma da Figura 7 tal verificação é feita a cada ciclo. Se não for atendido o critério de parada, que é quando o número de leituras válidas forem 1008, é obtida uma nova janela de integralização de 10 minutos. Se terminados os sete dias de medição e verificada a presença das 1008 leituras válidas são finalmente calculado os índices individuais de conformidade de tensão.

Considerando 80 amostras por ciclo como na Figura 11. Temos que a cada janela sucessiva de 15 ciclos de senoide o valor eficaz da tensão é calculado. Logo, definimos que cada ciclo de senoide é constituído por 80 valores, multiplicando 80 amostras/ciclo vezes 15 ciclos, temos 1200 amostras utilizadas para o cálculo do valor eficaz.

Como visto no PRODIST módulo 8, as 1008 leituras válidas são necessárias para a análise da qualidade da tensão. Sendo assim, em um cenário ideal de nenhuma leitura inválida, serão necessários sete dias ininterruptos de aquisição de dados do ponto de medição. Como tal cenário é ideal, deve-se considerar pelo menos dez dias de medição, considerando que haverá leituras inválidas.

Figura 11 – Visão geral das leituras válidas



Fonte: Autoral

Ao fim dos sete dias ou 1008 leituras válidas. Tendo em vista que é um valor eficaz a cada 0,25 segundos, a cada janela de 10 minutos 2400 valores eficazes são obtidos, multiplicando por 1008 janelas, no fim da medição serão analisados 2.419.200 valores eficazes.

3.2.10 Cálculo final dos índices de conformidade de tensão

Se alcançado o número de 1008 leituras válidas, são quantificadas as janelas que se enquadraram em tensão precária, crítica e adequada. Tais valores são requisitados do banco de dados que foi levantado no subitem 3.2.8, no qual todas as 1008 leituras foram organizadas em crítica, precária e adequada, de forma sucessiva, a cada ciclo, como pode ser visto no fluxograma da Figura 7.

Tendo o número de ocorrência das transgressões, usando-se das equações 2.1 e 2.2, são calculados os índices de duração das transgressões. Assim, pode ser verificado se é obedecido ou não os limites normativos descritos no item 2.2.1.2 do presente trabalho

3.3 Desenvolvimento do algoritmo de programação

Utilizando a linguagem computacional *Python*, apresenta-se um algoritmo capaz de fazer a análise da qualidade de energia elétrica da tensão. O algoritmo completo pode ser visto no apêndice A do trabalho.

Tal algoritmo tem por finalidade a validação da metologia proposta mostrada no Figura 7 e elucidada na seção 3.2 do trabalho.

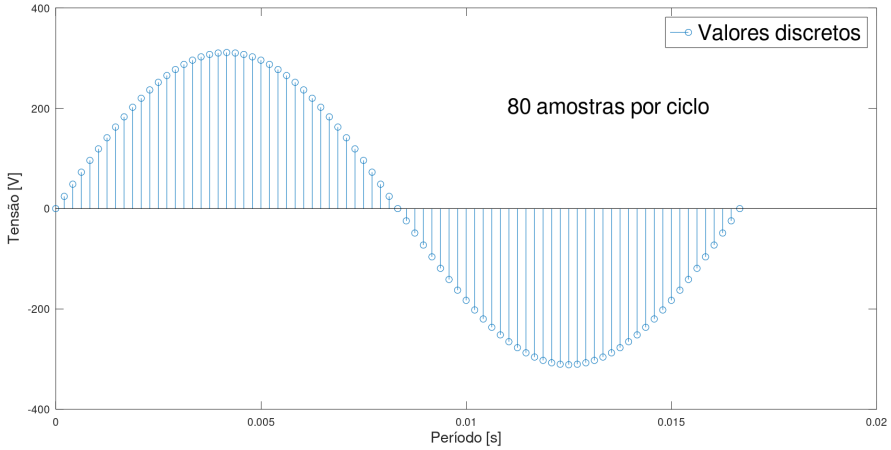
3.3.1 Definição dos parâmetros iniciais do algoritmo

O primeiro processo é a importação das bibliotecas necessárias e o estabelecimento das variáveis globais, conforme pode ser visto nas linhas 1 a 11 do algoritmo no Apêndice A, em seguida variáveis como frequência da rede, número de ciclos por janela, número total de janelas, tensão da rede, tempo de um janela de leitura, amplitude da tensão, média, sigma e número de amostras, são declarados entre a linha 13 e 31 do algoritmo.

O algoritmo primeiramente cria as janela de eventos que serão posteriormente analisados e classificadas. Para se criar tais janelas, os dados obtidos se apresentam de forma discreta com uma taxa de amostragem de 80 valores discretos por ciclo.

O critério da escolha da taxa de amostragem atendeu o critério do PRODIST, que estabelece que a frequência deve respeitar uma faixa que compreende desde a componente fundamental até pelo menos a 40ª harmônica. Da mesma forma deve respeitar a taxa de amostragem do teorema de Nyquist-Shannon (1998). A frequência fundamental é 60 Hz, 40 vezes a fundamental são 2400 Hz, considerando a Equação 2.4 a frequência mínima é de 4800 Hz. Estabelecida a frequência, é justificada a escolha da taxa de 80 amostras por período. Na Figura 12 é demostrado visualmente os valores discretos de um período.

Figura 12 – Amostras por ciclo



Fonte: Autoral

3.3.2 Criação das janelas de dados

Após o processo de definição inicial, o algoritmo se direciona a criar as janelas de dados, com a parametrização do eventos que podem compor um conjunto de leitura real.

Para criação dessas janelas, o algoritmo cria um vetor preestabelecido de janelas com intuito de diminuir o esforço computacional, o número de janelas analisadas é declarado na linha 12 do algoritmo no qual pode ser visto um número um pouco superior ao valor de 1008 leituras, para que no processo de análise possa ser verificada se a janela

enquadra-se com válida ou inválida, em um processo contínuo até que se obtenha 1008 leituras tidas como válidas.

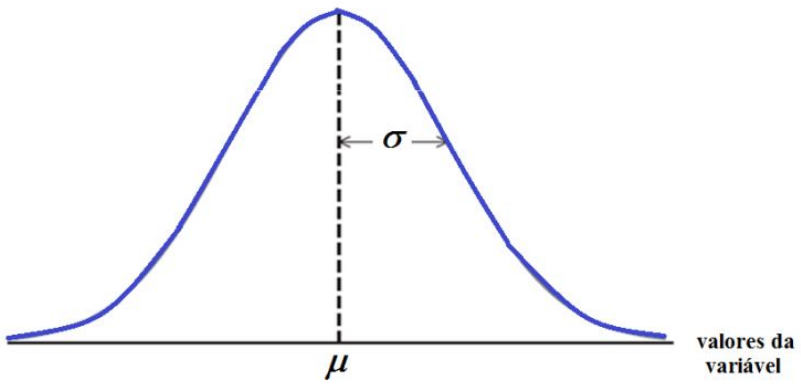
Entre as linhas 59 a 70 uma função cria um vetor contendo o valor eficaz de cada agrupamento de 15 ciclos de senoide com taxa de amostragem de 80 amostras por ciclo, agrupamento este estabelecido pelo PRODIST no módulo 5, a função retorna o número total de janelas de 10 minutos da análise. Na linha 72 do algoritmo o vetor total é declarado como "vetor_rms_janela". Por exemplo em um conjunto de 1300 janelas de 10 minutos, o vetor conterá 3.120.800 valores eficazes de tensão. O cálculo consiste na multiplicação de 1300 números de janelas de 10 minutos vezes 2400, que é o número de ciclos de senoides de 0,25 segundos em 10 minutos de janela.

Depois de criado o vetor são colocados valores com pertubações de amplitude, para simular os dados quanto a eventos que a tensão está condicionada em situações reais. Para se criar tais eventos, os dados do vetor contendo todas as janelas de 10 minutos são multiplicados por um fator que determina a pertubação da amplitude do sinal, a criação dessas pertubações pode ser vista entre as linhas 74 e 118 do algoritmo.

Tais fatores multiplicativos são obtidos por meio de um processo pseudoaleatório. Tal processo consiste em fatiar o vetor total de janelas, que é o vetor "vetor_rms_janela"em determinadas porcentagens, e cada fatia desse valor é associada a valores que se enquadram em crítico, precário ou adequado. O fatiamento e associação dos valores perturbados são visto entre as linhas 74 a 94 do algoritmo. O fatiamento desses valores segue um processo pseudoaletório por meio de uma distribuição estatística chamada distribuição normal ou Gaussiana.

A distribuição popularizada por Karl Gauss, consiste em um processo probabilístico que distribui os valores a partir de uma função de densidade. Tal função só depende de dois valores que são média e desvio padrão (REIS, 2017).

Figura 13 – Distribuição normal ou Gaussiana



Fonte: (REIS, 2017)

$$f_X(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{1}{2}(\frac{x-\mu}{\sigma})^2} - \infty < x < \infty \tag{3.2}$$

O Comportamento da distribuição é estabelecido pela Equação 3.2 e pode ser compreendida visualmente pela Figura 13. Onde σ determina o desvio padrão e μ é o valor médio que em que o desvio padrão se baseará.

Cada fatia do vetor "vetor_rms_janela"é associada a uma distribuição Gaussiana diferente. Por exemplo, entre o total de janelas é determinado que 10% esteja como precária, para isso é chamado a função "gauss"em *Python* que pertence a uma biblioteca padrão chamada *random*, a função tem como parâmetros o valor da média μ e o desvio padrão σ. Sendo assim, é escolhido um valor médio que esteja dentro da classificação de precária e um desvio padrão para que distribuição seja pseudoaletória em um determinada faixa de frequência em que o valor médio irá assumir.

Entre as linhas 120 a 131 do algoritmo, é criado um vetor que conterá o valor eficaz de cada uma das 1008 janelas válidas, esse vetor é declarado como "vetor_rms_total_janela". Esse valor eficaz é calculado pela Equação 2.6, sendo assim cada ciclo terá um valor RMS que representa a janela de 10 minutos.

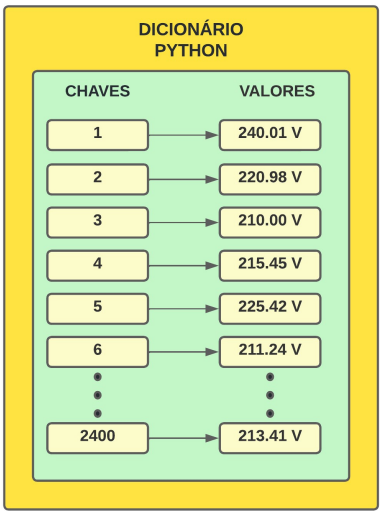
3.3.3 Ciclo de análise de cada janela de 10 minutos

Após ser criado todo o espaço amostral da medição, o algoritmo começa a análise de cada janela de 10 minutos sucessivamente, esse ciclo está entre as linhas 134 a 290 do algoritmo.

Segue-se então um processo cíclico, até se obter o número suficiente de janelas válidas, cada janela de 10 minutos é analisada e classificada de forma individual. O vetor que contém todas as janelas de 10 minutos é fracionado em seções que correspondem uma janela de 10 minutos de dados de tensão.

Cria-se o que em linguagem *Python* chama-se de dicionário, contendo como chave o número correspondente do valor eficaz de tensão de 15 ciclos, que varia de 1 até 2400. E como valor do dicionário o valor eficaz da determinada janela sucessiva de 15 ciclos correspondente. A Figura 14 evidência como um dicionário funciona.

Figura 14 – Dicionário *Python*



Fonte: Autoral

Em sequência, entre as linhas 143 a 160 do algoritmo, cada valor do dicionário é classificado quanto a sua amplitude. Sendo organizado em vetores que correspondem a faixa de valores em afundamento, interrupção, elevação ou como adequados.

Logo após essa classificação, os vetores de interrupção, afundamento e elevação são analisados. Entre as linhas 162 a 180 do algoritmo, cada tipo de classificação é analisado quanto a duração que a amplitude da tensão fica em determinada faixa. Para ser feito isso os valores são analisados de forma sequenciais e divididos em dois vetores, um vetor que contém o tempo em segundos de cada valor eficaz e outro vetor que contém a posição e o valor da amplitude da tensão.

Entre as linhas 177 a 265 do algoritmo, as classificações dos vetores de interrupção, afundamento e elevação, são novamente organizadas de acordo com a duração de cada evento da janela. Os dados relativos a duração dos eventos são armazenados em todo tipo de VTCD que pode ocorrer na janela, organizando em interrupção, afundamento e elevação como temporária ou momentânea. Entre as linhas 266 e 277 cada evento é armazenado em um determinado vetor característico a cada ciclo, sendo que os dados vão se acumulando até se obtenha as 1008 leituras válidas.

No fim do laço *While*, entre as linhas 279 e 290 é verificado a cada ciclo se o valor de janelas válidas foi alcançado, ocorrendo quando não se encontra variação temporária de tensão ou interrupção de longa duração, no presente algoritmo as variações momentâneas não invalidam a janela. Se o número de 1008 leituras válidas for alcançado, a instrução *break* é acionada e o sistema cíclico é interrompido.

3.3.4 Relatório da simulação

Logo após a análise e satisfação do critério de parada, os dados armazenados são organizados e calculados os índices DRP e DRC da medição.

A sintetização dos dados é feita por meio de planilhas, que são gerados entre as linhas 292 a 497 do algoritmo, que organizam e armazenam cada janela de 10 minutos e por fim um relatório final é disponibilizado. O Relatórios finais podem ser vistos no apêndice B.

O relatório final contém os dados indispensáveis em qualquer analisador de qualidade de energia elétrica que avalia a tensão em regime permanente. Contendo o número de eventos de VTCD, em suas duas naturezas como temporária e momentânea. Além da porcentagem de DRP e DRC com relação a 1008 leituras válidas. O relatório ainda revela o número de leitura válidas analisadas e o quanto de janelas de 10 minutos foram expurgadas por conterem VTCD temporária ou interrupção de longa duração. O presente algoritmo desconsidera os eventos momentâneos, pois o PRODIST considera tal evento como facultativo para consideração do expurgo da janela de dados.

O ponto final do algoritmo é a exposição em forma de histograma dos valores em p.u de cada leitura válida, representado pela cor amarela os valores precários, a cor vermelha par os valores críticos e verde para os valores adequados da tensão da janela válida analisada.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo estão apresentados alguns cenários simulados. Tais simulações formam a validação do algoritmo proposto. Cada simulação apresenta uma tabela resumida da característica da entrada dos dados de tensão, um gráfico mostrando os níveis de tensão de cada janela válida de 10 minutos, um histograma mostrando a ocorrência de cada faixa de valores em p.u e uma planilha do relatório final que pode ser vista na íntegra no apêndice B. A análise de todos os recursos que são exportados pelo algoritmo descritos acima é suficiente para validar a metodologia proposta.

4.1 1ª Simulação

Na primeira simulação os dados de entrada, que foram criados e não são dados de medições reais, satisfazem os limites estabelecidos pelo PRODIST no que tange às transgressões de DRP e DRC. O fator multiplicativo, que atuará na criação das transgressões, são estabelecidos na Tabela 4.

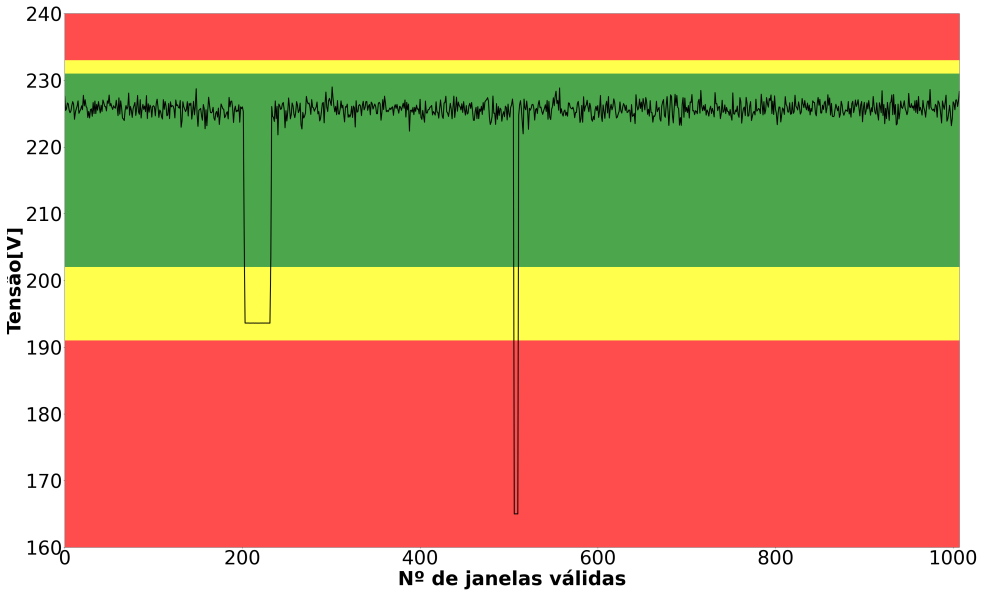
Tabela 4 – Dados de entrada da 1ª simulação

Dados de entrada			
Tipo	**Distribuição Gaussiana**		**%**
	μ	σ	
Adequada	1.00	0.23	20
Precária	0.88	0.001	3
Adequada	1.00	0.23	27
Crítica	0.75	0.001	0.5
Adequada	1.00	0.23	49.5

Fonte: Autoral

Após a criação dos dados de entrada, o algoritmo é processado e então alguns resultados são obtidos. O Comportamento do nível de tensão de cada leitura válida por ser visto no gráfico da Figura 15. Observa-se do gráfico que há duas seções de dados fora da zona adequada. Tais seções representam as ocorrências de DRP e DRC.

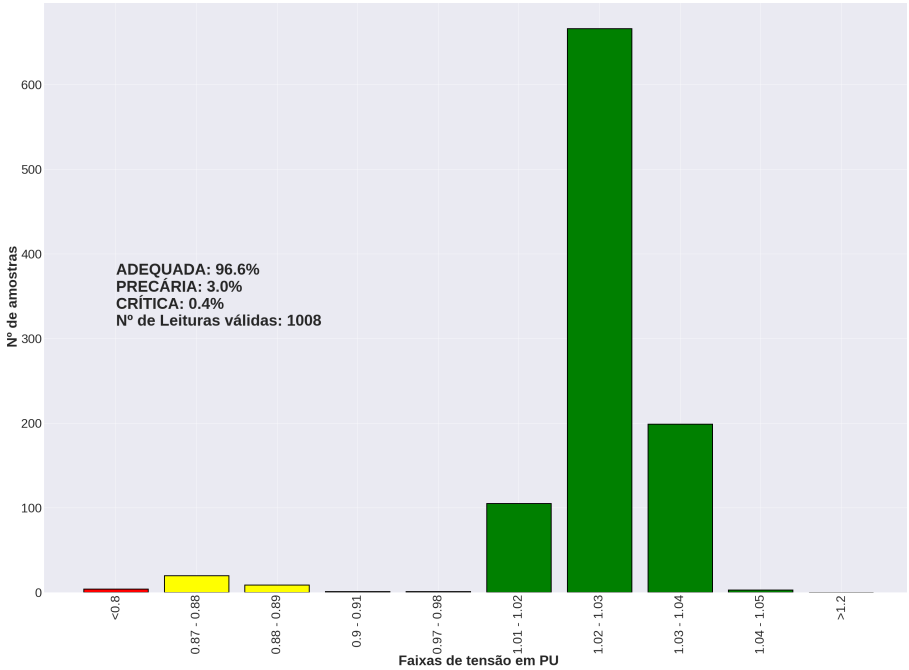
Figura 15 – Gráfico nível de tensão x janela válida - 1ª simulação



Fonte: Autoral

As faixas em vermelho representam os valores de tensão no estado crítico, as faixas em amarelo representam os valores precários e a faixa em verde representa os valores contidos na faixa adequada. O histograma de leituras válidas da figura 16, pode ser visto na porcentagem dessas transgressões e das leituras adequadas.

Figura 16 – Histograma leituras válidas - 1ª simulação



Fonte: Autoral

Observa-se que pelo histograma da Figura 16 que os valores predominantemente

ficaram na zona verde. Outras barras quase desprezíveis em amarelo indica as poucas ocorrências de valores precários e uma barra de valores abaixo de 0,8 p.u indica os valores críticos. A legenda no histograma indica o percentual de ocorrência de cada faixa.

No apêndice B no item B.1 pode ser visto o relatório resumido da simulação. O relatório apresenta que nesta primeira simulação duas janelas foram expurgadas. O DRP representou 3%, enquanto o DRC representou 0,4% das janelas válidas.

Analisando o relatório observa-se que o algoritmo atuou de forma satisfatória. Tendo em vista que a diferença de 0.1% dos valores críticos, se dá por conta da atuação da distribuição probabilística, na qual gera valores pseudoaleatórios que podem divergir levemente.

4.2 2ª Simulação

Na segunda simulação foram criados dados de entrada com mais variações no nível de tensão, no intuito de saber o comportamento do algoritmo diante dessas transgressões. A Tabela 5 resume a alocação dos dados de entrada.

Tabela 5 – Dados de entrada da 2ª simulação

Dados de entrada			
Tipo	**Distribuição Gaussiana**		**%**
	μ	σ	
Adequada	1	0.23	5
Precária	0.9	0.01	10
Adequada	1	0.23	10
Crítica	0.8	0.01	3
Adequada	1	0.23	10
Adequada	0.96	0.05	17
Crítica	0.8	0.01	3
Precária	1.055	0.001	5
Crítica	1.15	0.23	2
Adequada	1	0.23	35

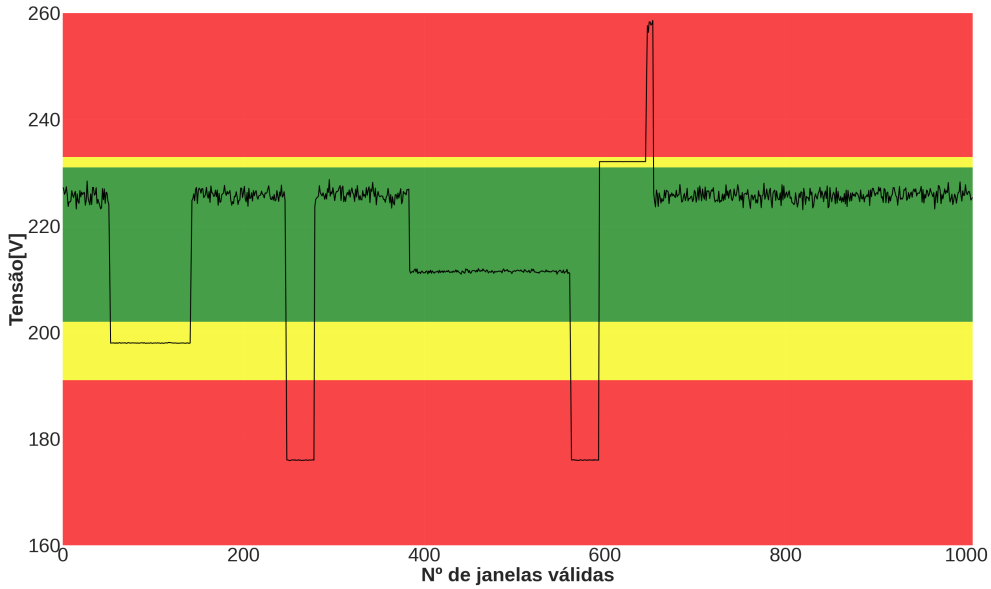
Fonte: Autoral

A escolha dos dados se deu de forma heurística. Distribuindo os dados de tensão discreto de entrada em 77% dos valores no nível adequado, 15% no nível precário e 8% no nível crítico. É válido ressaltar que isso é apenas a delimitação da faixa da média da distribuição probabilística demostrada pelo simbolo "μ", sendo que os valores variam de forma pseudoaleatória de acordo com o desvio padrão simbolizado pelo "σ", quanto maior o desvio padrão maior a chance do valor se afastar do valor da média escolhido.

Logo após a criação dos dados de entrada o algoritmo é processado e então o gráfico

da Figura 17 é gerado. Onde visualmente observamos o comportamento do nível de tensão das leituras válidas, ou seja depois do tratamento e classificação do algoritmo.

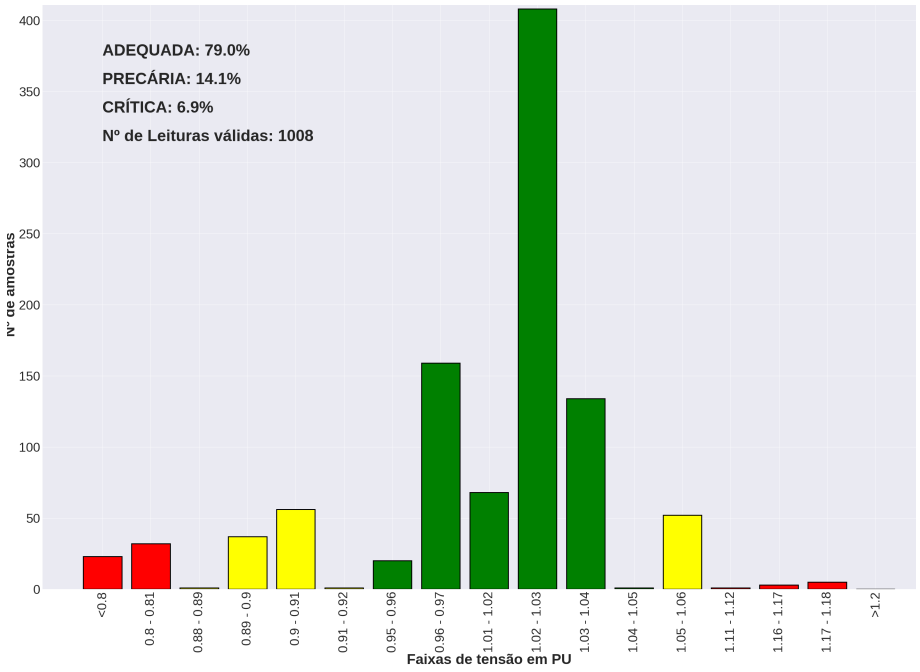
Figura 17 – Gráfico nível de tensão x janela válida - 2ª simulação



Fonte: Autoral

Observa-se que os níveis de tensão seguem as proporções dos dados de entrada, sendo substituídas apenas as janelas que apresentam critérios de expurgo. No histograma da Figura 18, visualiza-se a distribuição dos valores em p.u pelo número de ocorrências.

Figura 18 – Histograma leituras válidas - 2ª simulação



Fonte: Autoral

Observa-se que o histograma da Figura 18 apresenta bem mais barras de valores do que o histograma da primeira simulação, mostrado na Figura 16. Fica evidente que os valores são bem mais variados, diante dos dados de entrada dessa segunda simulação, vista na Tabela 5. No histograma verifica-se que o valor de janelas válidas na faixa adequada são de 79%, na faixa precária a porcentagem é de 14.1% e crítica é de 6.9%.

O relatório resumido da segunda simulação é apresentado no apêndice B no item B.2. A simulação apresenta 32 janelas expurgadas, devido aos eventos temporários presentes. No relatório é apresentado o número total de todos os eventos de VTCD que a segunda simulação apresenta, bem como a porcentagem dos indicadores individuais de 14.1% de DRP e 6.9% de DRC, valores estes que ultrapassam os limites estabelecidos pelo PRODIST no seu módulo 8.

A análise do relatório os dados de janelas válidas apresentam valores bem próximos dos dados de entrada, sendo que as divergências se dão por conta dos expurgos das janelas inválidas.

4.3 3ª Simulação

Na terceira simulação foram criados dados com níveis de tensão bem flutuantes, assim como na segunda simulação. Não obedecendo os limites de DRP e DRC. A diferença da escolha dessa simulação é pela presença de valores críticos abaixo de 0,1 p.u, que configura como interrupção, que juntamente com VTCD temporárias invalida a janela de leitura. A Tabela 6 traz o resumo dos dados criados, com os valores em p.u.

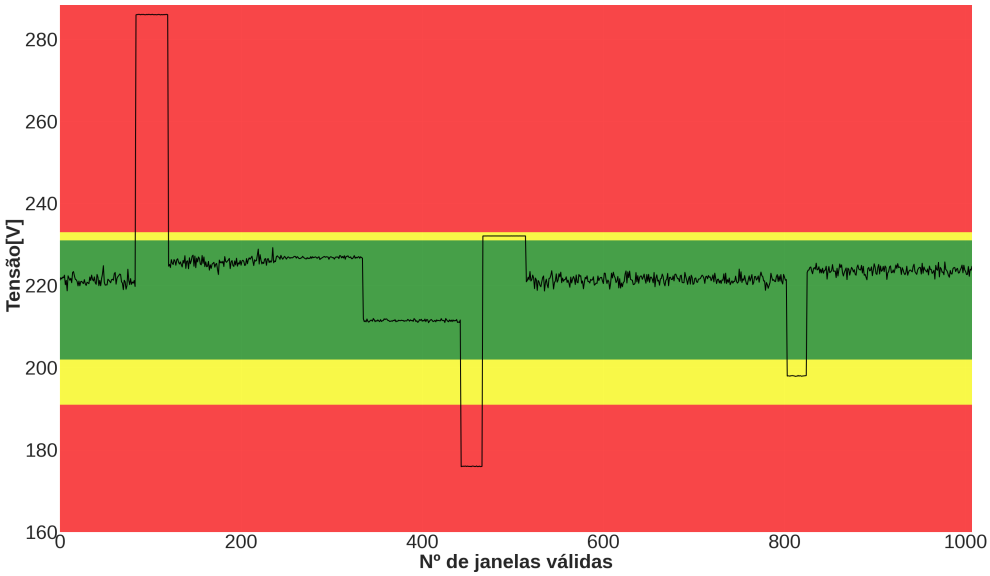
Tabela 6 – Dados de entrada da 3ª simulação

Dados de entrada			
Tipo	**Distribuição Gaussiana**		**%**
	μ	σ	
Adequada	0.98	0.23	7
Crítica	1.3	0.01	3
Adequada	1	0.23	10
Adequada	1.03	0.05	8
Crítica	0.05	0.001	3
Adequada	0.96	0.05	9
Crítica	0.8	0.01	2
Precária	1.055	0.001	4
Adequada	0.98	0.23	24
Precária	0.9	0.01	2
Crítica	0.05	0.01	2
Adequada	0.99	0.23	16
Adequada	1	0.23	10

Fonte: Autoral

Após a estipulação dos dados de entrada o algoritmo é processado e é gerado o gráfico da Figura 19.

Figura 19 – Gráfico nível de tensão x janela válida - 3ª simulação



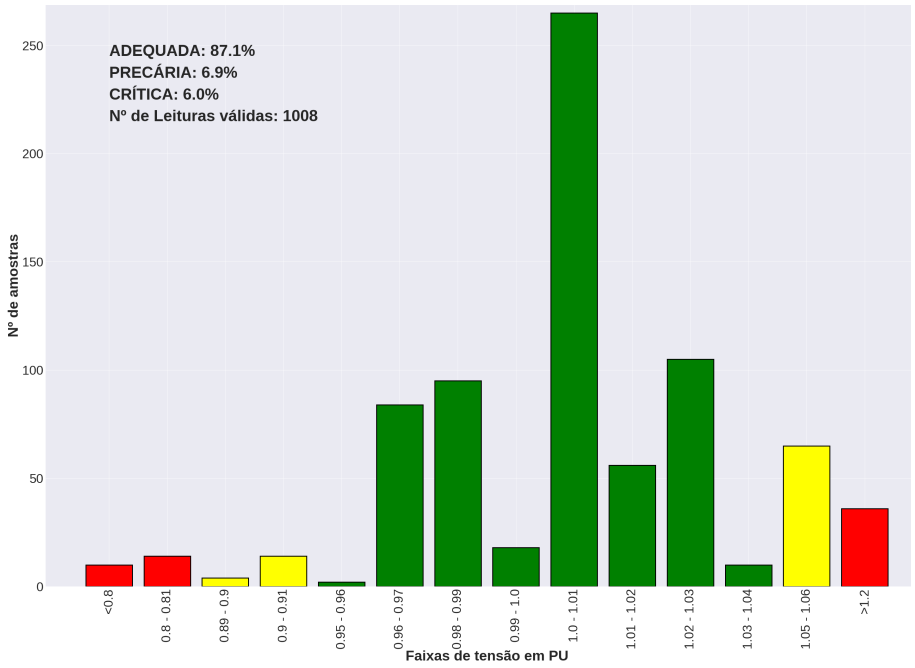
Fonte: Autoral

Como pode ser visto na Figura 19 acima, os níveis de tensão das leituras válidas assumem valores bem discrepantes. Observa-se também que os valores criados de interrupção não são mostrados, tendo em vista que interrupções de longa duração são tratados como leituras inválidas. O algoritmo, portanto, satisfaz a condição do tratamento de interrupções de longa duração, validando assim os resultados.

O histograma da Figura 20 apresenta a distribuição dos valores em p.u dos resultados da terceira simulação. A distribuição dos níveis de tensão, que foram classificados pelo algoritmo, mostrado no histograma da terceira simulação, demonstra visualmente a coerência dos valores classificados, frente aos dados de entrada. Das ocorrências, 87.1% foram classificadas como adequadas, 6.9% como precárias e 6% como crítica.

Os valores do histograma são coerentes em comparação com os dados de entrada. Sendo que as diferenças recai na substituição das janelas inválidas por janelas subsequentes, que afeta ligeiramente a porcentagem de cada faixa de classificação do nível de tensão.

Figura 20 – Histograma leituras válidas - 3ª simulação



Fonte: Autoral

O relatório final da simulação 3, pode ser visto integralmente no apêndice B. O relatório informa o expurgo de 63 janelas inválidas, sendo a grande maioria por conta da presença de interrupção de longa duração dos dados de entrada, sendo poucos os expurgos por conta de VTCD temporária. O valor final é de 6.9% para o indicador individual DRP e 6% para o casos de DRC.

5 CONCLUSÃO

O impulsionamento deste trabalho se deu pela carência da tratativa do método de obtenção dos indicadores de qualidade da tensão no meio acadêmico, sendo escasso esse tipo de informação e elucidação do processo de obtenção.

O trabalho teve como principal contribuição a apresentação de uma metodologia para melhor compreensão da obtenção dos índices de conformidade da tensão, conforme módulo 8 do PRODIST (ANEEL).

O algoritmo desenvolvido simulou três cenários possíveis, estabelecendo assim dados que podem ocorrer em medições reais com ou sem distúrbios de tensão. O algoritmo percorreu a filosofia por trás da metodologia proposta e o obteve bons resultados, validando assim os métodos propostos. Criou uma base de dados simulando a realidade e obteve os resultados requeridos, agrupando e classificando as ocorrências de VTCD's, tratando as janelas inválidas por meio de expurgos, obteve as 1008 leituras válidas exigidas pelo PRODIST, sintetizou os resultados por meio de gráficos e relatórios simples e diretos, obteve ao fim de cada simulação os indicadores DRC e DRP, por fim obteve por meio de simulações computacionais os resultados que os medidos de QEE reais demostram.

Logo, o algoritmo simulou o processamento que analisadores de energia fazem na prática. Tais analisadores possuem suas próprias filosofias de processamento, e por conta de ser uma propriedade intelectual das empresas de fabricação, tais formas de processamento e análises não são fornecidos. Dessa forma, viu-se necessário a criação de um algoritmo que cumpra tais análises de forma satisfatória.

A metodologia proposta se propõe, também, a suprir a carência do assunto na literatura correlata. Nesse sentido, serve como fundamentação do assunto, e também abrindo a discussão para futuros trabalhos, que complemente a forma como foi abordado no presente trabalho. Como sugestão para trabalhos futuros, conjuntamente com a metodologia desenvolvida nesse trabalho pode-se estender o estudo em uma aplicação real, com um produto final, sendo assim sugerido o desenvolvimento de um *hardware* de baixo custo para tais fins de verificação da qualidade da tensão como produto final dos usuários.

REFERÊNCIAS

ABRANTES, Sílvio. Introdução às comunicações digitais: amostragem de sinais. Amostragem de sinais. 2004. Disponível em: https://paginas.fe.up.pt/~sam/Tele2/apontamentos/Indice_apontamentos.html. Acesso em: 15 mar. 2022

ANDRADE, Bernardino Carneiro de. **A evolução histórica da resolução das equações do 2º grau**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Matemática Pura, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto, 2000. 116 p. Disponível em: chrome-extension://oemmndcbldboiebfnladdacbdfmadadm/https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/9895/2/3026_TM_01_C.pdf. Acesso em: 12 nov. 2021.

ANEEL. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST**: Módulo 8 – Qualidade da Energia elétrica, Revisão 12, 2021. Disponível em: https://www.aneel.gov/modulo-8. Acesso em: 20 set. 2021.

ANEEL. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST**: Módulo 1 – Introdução, Revisão 10, 2021. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/modulo-1. Aceso em: 20 set. 2021

ANEEL. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST**: Módulo 5 – Sistema de Medição e Procedimentos de Leitura. Revisão 6, 2021. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/modulo-1. Aceso em: 16 out. 2021

APOLLINÁRIO, F. **Dicionário de metodologia científica**: um guia para a Produção do Conhecimento científico. São Paulo: Atlas, 2004.

BOTTURA, Fernando Bambozzi. **Um método alternativo e inteligente para o monitoramento das variações de tensão de curta duração em um sistema de distribuição de energia elétrica**. 84 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010. Disponívelem: http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180500/tce-25082010-110755/. Acesso em: 22 nov. 2021.

DALBERIO, Maria Célia Borges; DALBERIO, Osvaldo.**Metodologia Científi-**

fica: desafios e caminhos. 2. ed. São Paulo: Paulus Editora, 2009. 264 p

DANTAS, T. S. S.; FONSECA, R.R.; SILVA, F. V. da. **Determinação da taxa de amostragem e análise do efeito do falseamento dos componentes de frequência de um sinal de identificação**. In: XX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE QUÍMICA, 2014, Florianópolis. p. 1-8. Disponível em: chrome-extension://oemmndcbldboiebfnladdacbdfmadadm/http://pdf.blucher.com.br.s3.amazonaws.com/chemicalengineeringproceedings/cobeq2014/1428-19358-152912.pdf. Acesso em: 25 nov. 2021.

DECKMANN, Sigmar Maurer; POMILIO, José Antenor. **Avaliação da Qualidade da Energia Elétrica**. 2020. Apostila dos cursos de pós-graduação em Engenharia Elétrica na Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Estadual de Campinas, Unicamp/FEEC/DSCE. Disponível em: chrome-extension://oemmndcbldboiebfnladdacbdfmadadm/https://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/pdffiles/qualidade/a1.pdf. Acesso em: 16 nov. 2021.

DULGAN, Roger C. et al. **Eletrical Power Systems Quality**. 2. ed. Nova Iorque: McGraw-Hill Educatio, 2002. 576 p.

EDMINISTER, J. **Circuitos Elétricos**. 2 ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 1991. (Coleção Schaum)

EURELECTRIC (Bélgica) (org.). **Power Quality in European Electricity Supply Networks**. 2002. Disponível em: http://patricioconcha.ubb.cl/eureka/pq_in_europe.pdf. Acesso em: 1 nov. 2021.

FONSECA, Matheus Mendes. **Proposta de um medidor de tensão em regime permanente com tecnologia IOT para consumidores com níveis de tensão de 127/220 Volts**. 74 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Faculdade Doctum de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2019. Disponível em: http://dspace.doctum.edu.br:8080/xmlui/handle/123456789/2082. Acesso em: 22 out. 2021.

GONSALVES, E. P. **Iniciação à pesquisa científica**. 3. ed. Campinas: Alínea, 2003.

GRANDI, André Luís; SIQUEIRA, Maria Jovita. Modelo de relatório de quali-

dade da energia elétrica atendendo aos Procedimentos de Distribuição (Prodist). **O Setor Elétrico**, n. 81, p. 60-67, out. 2012. Disponível em: chrome-extension://oemmndcbldboiebfnladdacbdfmadadm/http://www.osetoreletrico.com.br/wp-content/uploads/2012/11/Ed81_fasc_distribuicao_cap9.pdf. Acesso em: 11 nov. 2021.

J.TOCCI, Ronald et al. Sistemas digitais: princípios e aplicações. 11. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011. 817 p.

JANNUZZI, Antônio Cezar. **Regulação da Qualidade de Energia Elétrica sob o foco do consumidor**. 216 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, 2007. Disponível em: https://repositorio.unb.br/handle/10482/2712. Acesso em: 15 out. 2021.

KAGAN, N.; ROBBA, E. J.; SCHIMIDT, H. P. **Estimação de Indicadores de Qualidade da Energia Elétrica**. 1 ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2009.

LATHI, Bhagawandas Pannalal. Sinais e sistemas lineares. 2. ed. Porto: Bookman, 2007. 855 p.

LIMA, Manoel Eusebio de. **Conversão Digital Analógico e Analógico Digital**. Recife, 2016. 45 slides, color. Disponível em: https://www.cin.ufpe.br/~es238/arquivos/aulas/aula17_conversores_adda.pdf. Acesso em: 15 out. 2021.

MAIA, Reinaldo Moreira. **Caracterização das variações de tensão de curta duração e seus impactos em uma planta da indústria alimentícia**. 85 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-8U4HHF/1/disserta__o_reinaldo.pdf. Acesso em: 14 set. 2021.

MEHL, Ewaldo L. M. **Qualidade da Energia Elétrica**. Curitiba, UFPR, p. 1-8. 2002. Disponível em: chrome-extension://oemmndcbldboiebfnladdacbdfmadadm/http://www.eletrica.ufpr.br/mehl/downloads/qualidade-energia.pdf. Acesso em: 13 nov. 2021.

MENEZES, Afonso Henrique Novaes et al. **Metodologia Científica Teoria e aplicação na Educação a Distância.** Petrolina: Fundação Universidade Federal do Vale do São Francisco, 2017.

83 p. Disponível em:https://portais.univasf.edu.br/noticias/univasf-publica-livro-digital-sobre-metodologia-cientifica-voltada-para\-educacao-a-distancia/livro-de-metodologia-cientifica.pdf/view. Acesso em: 20 set. 2021

NAKASHIMA, K. **Valor médio e eficaz**. Universidade Federal de Itajubá. Instituto de Engenharia de Sistemas e Tecnologias de Informação. Itajubá: UNIFEI/IESTI, 2013. Disponível em: http://professor.ufabc.edu.br/~jose.azcue/Circuitos%20Eletricos%201/rms.pdf. Acesso em: 08 maio de 2022

OLESKOVICZ, M. **Apostila do curso de qualidade da Energia Elétrica**. EESC – USP, São carlos – SP, 2007.

OLIVEIRA, Thiago. **VALOR EFICAZ (RMS) – SIGNIFICADO E FORMAS DE CALCULAR**.2021. Disponível em: https://eltgeral.com.br/valor-eficaz-rms-significado-e-formas-de-calcular/#comments.Acesso em: 08 mar. 2022.

OPPENHEIM, Alan Victor.**Sinais e sistemas.** São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2010. 592 p. EPE; ONS; CCEE (Brasil). Ministério de Minas e Energia. **2ª Revisão Quadrimestral das Projeções da demanda de energia elétrica do Sistema Interligado Nacional**: 2021 - 2025. Rio de Janeiro, 2021. (Estudos da Demanda). Disponível em: chrome-extension://oemmndcbldboiebfnladdacbdfmadadm/http://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/NT%202%C2%AA%20Revisa%CC%83o%20Quadrimestral%202021-2025_VFF.pdf. Acesso em: 25 nov. 2021.

PADILLA, Julian Villelia. Qualidade de Energia Elétrica. **O Setor Elétrico**, p. 93, 2008.

RIBEIRO, L. T. et al. **Power Quality**: A Comparative Study of the Quality of Electric Power and Real Trends. European Academic Research. 2020, vol. 3. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/348425704_Power_Quality_A_Comparative_Study_of_the_Quality_of_Electric_Power_and_Real_Trends. Acesso em: 18 nov. 2021

SANCHES, Ivandro.**Processamento do Sinal de Voz**. São Bernardo do Campo, 2017. 57 slides, color. Disponível em:https://fei.edu.br/~isanches/verao/curso_de_verao_2017.pdf. Acesso em: 04 jun. 2022.

SILVEIRA, Felippe Vanroo. **Estudo Comparativo da Eficácia de Remoção de Ruído em Sinais de Eletrocardiograma Utilizando Diferentes Filtros Digitais**.2019. 92 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Eletrônica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/197067/TCC_Felippe_Vanroo_Silveira.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 05 abr. 2022.

SAITO, Yan Solto. **Simulações de variações de tensão de curta duração para estudos de Qualidade de Energia**. 57 f. TCC (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10031147.pdf. Acesso em: 11 out. 2021.

REIS, Edna Afonso (comp.). **Introdução à Bioestatística Gaussiana – Turma Nutrição:** aula 7: distribuição normal (gaussiana). Aula 7: Distribuição Normal (Gaussiana). 2017. Disponível em:http://www.est.ufmg.br/~edna/bionutri/NUT-Aula07.pdf.Acessoem:25abr.2021.

YNOGUTI, Carlos Alberto.**Processamento Digital de Sinais Conversão A/D e D/A.**Disponível em:file:///C:/Users/User/Downloads/Digitalizacao.pdf.Acesso em: 07 abr. 2022.

APÊNDICE A – CÓDIGO DESENVOLVIDO EM *PYTHON*

```python
from random import gauss
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
import xlsxwriter
import openpyxl
from openpyxl import Workbook
from openpyxl import load_workbook
import pandas as pd
import math as m
import random

n_janelas = 1200 #Número de janelas de 10 minutos
frequencia = 60 # Frequência da rede elétrica
periodo = 1 / frequencia # Período do sinal
janela = 15 # ciclos
tempo = 600 # Em segundos da janela
amostras = 80 # Número de amostras de valores discretos
tensao = 220 # Tensão elétrica da rede
amplitude = tensao * m.sqrt(2) # Amplitude do sinal da rede elétrica
media = 1
sigma = 0.01
sigma_1 = 0.001
sigma_2 = 0.02
sigma_3 = 0.07
sigma_4 = 0.05
media_1 = 1
media_2 = 0.89
media_3 = 1.05
media_4 = 1.13
media_5 = 0.09

data_janela = []
t = list(np.arange(0, tempo, periodo / amostras)) # Lista contento o n
    úmero total de amostras discretas
nums = []
u = []
interacoes = 0

vetor_vtcd_momen_final = [] # Vetor contendo o nº de VTCD momentâneas
    de cada leitura
vetor_vtcd_temporaria_final = [] # Vetor contendo o nº de VTCD temporá
    rias de cada leitura
vetor_longa_final = []
```

```
final_ava_janela = []
vetor_vtcd_momen_interrupcao_final = []
vetor_vtcd_temp_interrupacao_final = []
vetor_vtcd_longa_interrupcao_final = []# Não e VTCD
vetor_vtcd_momen_afundamento_final = []
vetor_vtcd_temp_afundamento_final = []
vetor_vtcd_longa_afundamento_final = []# Não e VTCD
vetor_vtcd_momen_elevacao_final = []
vetor_vtcd_temp_elevacao_final = []
vetor_vtcd_longa_elevacao_final = [] # Não e VTCD
vetor_rms_total_janela_final = []
vetor_rms_total_janela_valida = []
vetor_precaria_total = []
vetor_critica_total = []
vetor_adequada = []
cont_val = 0
cont_inval = 0

data_janela = [amplitude*m.sin(2 * m.pi * frequencia * t[x]) for x in
    range(len(t))]

def somatoria_RMS():
rms_janela = []
# Dicionário que divide o vetor dos valores discretos "data_janela",
    em 2400 chaves, contendo em cada chave o valor discreto 15 ciclos
    vezes o nº de amostras por ciclo
dict_janela = {z: data_janela[(janela*amostras) * z:(janela*amostras)
    * z + (janela*amostras)] for z in range(int(tempo*4))}

# Inserção de um vetor (rms_janela) para adição dos valores RMS dos
    valores discretos do dicionário de valores discretos de tensão (
    dict_janela)
for y in range(len(dict_janela)):
rms_janela.append(m.sqrt(sum([dict_janela[y][x] ** 2 for x in range(
    len(dict_janela[y]))]) / len(dict_janela[y])))

return rms_janela*n_janelas

vetor_rms_janela = somatoria_RMS()

cont = 0
for v in vetor_rms_janela:
if cont < (len(vetor_rms_janela) * 0.2):
nums.append(gauss(1, 0.01)) # 20% adequada (220)
elif cont >= (len(vetor_rms_janela) * 0.2) and cont < (len(
    vetor_rms_janela) * 0.22):
nums.append(gauss(0.89, 0.02)) # 2% Precária (195.8)
```

```
80 elif cont >= (len(vetor_rms_janela) * 0.22) and cont < (len(
      vetor_rms_janela) * 0.28):
81 nums.append(gauss(1.056, 0.001)) # 6% Precária (231)
82 elif cont >= (len(vetor_rms_janela) * 0.28) and cont < (len(
      vetor_rms_janela) * 0.58):
83 nums.append(gauss(1,0.01)) # 30% Adequada (220)
84 elif cont >= (len(vetor_rms_janela) * 0.58) and cont < (len(
      vetor_rms_janela) * 0.60):
85 nums.append(gauss(0.09,0.01)) # 2% Crítica (19.8)
86 elif cont >= (len(vetor_rms_janela) * 0.60) and cont < (len(
      vetor_rms_janela) * 0.75):
87 nums.append(gauss(1.1,0.08)) # 15% Crítica (242)
88 elif cont >= (len(vetor_rms_janela) * 0.75) and cont < (len(
      vetor_rms_janela) * 1):
89 nums.append(gauss(1.1,0.08)) # 25% Adequada (220)
90 cont += 1
91
92 normal = 0
93 afundamento = 0
94 elevação = 0
95 interrupção = 0
96 g = []
97 for k in range(len(vetor_rms_janela)):
98 g.append(nums[k]*vetor_rms_janela[k])
99 if 198 <= g[k] <= 242:
100 normal += 1
101 elif 22 <= g[k] < 198:
102 afundamento += 1
103 elif g[k] > 242:
104 elevação += 1
105 elif g[k] < 22:
106 interrupção += 1
107
108 print(f"Normal: {100*normal/len(vetor_rms_janela):.0f}%")
109 print(f"Afundamento: {100*afundamento/len(vetor_rms_janela):.0f}%")
110 print(f"Elevação: {100*elevação/len(vetor_rms_janela):.0f}%")
111 print(f"Interrupção: {100*interrupção/len(vetor_rms_janela):.0f}%")
112 print("**********")
113
114 vetor_rms_janela = g
115
116 def rms_janela(vetor):
117 p = []
118 rms_janela_total = []
119 for x in vetor:
120 p.append(x**2)
121
```

```
for y in range(n_janelas):
s = p[y*tempo*4:(y+1)*tempo*4]
rms_janela_total.append(m.sqrt(sum(s)/(tempo*4)))
return rms_janela_total

vetor_rms_total_janela = rms_janela(vetor_rms_janela)

vetor_critica_total = [x for x in vetor_rms_total_janela if x < 191 or x > 233]
vetor_precaria_total = [x for x in vetor_rms_total_janela if 191 <= x < 202 or 231 < x <= 233]
vetor_adequada = [x for x in vetor_rms_total_janela if 202 <= x < 231]

while True: # loop leitura de cada janela de 10 minutos

dict_rms_janela = {elemento: vetor_rms_janela[(interacoes*(tempo*4)) + elemento] for elemento in range(int(tempo*4))}
vetor_vtcd_interrupcao = []
vetor_vtcd_afundamento = []
vetor_vtcd_elevacao = []
vetor_vtcd_adequada = []
aux = -1

for value in dict_rms_janela.values():
# Interrupção: caso ocorra neste "if", o indice e o valor da RMS é aglutinada no vetor de interrupções
if value < tensao*0.1:
aux += 1
vetor_vtcd_interrupcao.append([aux, value])

# Afundamento: caso ocorra neste "elif", o indice e o valor da RMS é aglutinada no vetor de afundamento
elif tensao*0.1 <= value < tensao*0.9:
aux += 1
vetor_vtcd_afundamento.append([aux, value])

# Elevação: caso ocorra neste "elif", o indice e o valor da RMS é aglutinada no vetor de elevação
elif value > tensao*1.1:
aux += 1
vetor_vtcd_elevacao.append([aux, value])
else:
aux += 1
vetor_vtcd_adequada.append([aux, value])

def VTCD(vetor_vtcd):
vetor_resultante = []
```

```
vetor_num = []
start = 0
# Laço para arranjar a lista "vetor_num" com valores dos vetores sequenciais de determinado evento, de acordo com o argumento da função " def VTCD()"
for i in range(1, len(vetor_vtcd)):
if vetor_vtcd[i][0] != vetor_vtcd[i - 1][0] + 1:
vetor_num.append(vetor_vtcd[start:i])
start = i
vetor_num.append(vetor_vtcd[start:])
# Laço para arranjar a quantidade de minutos de cada evento. A multiplicação por "0.25" é necessária para ajustar os ocorrencias em grupos de segundos
for i in range(len(vetor_num)):
vetor_resultante.append(len(vetor_num[i])*0.25)
return vetor_resultante, vetor_num

vetor_inter_de_tempo_interrupcao, vetor_inter_tempo_valor_interrup = VTCD(vetor_vtcd_interrupcao)
vetor_inter_de_tempo_afundamento, vetor_inter_tempo_valor_afundamento = VTCD(vetor_vtcd_afundamento)
vetor_inter_de_tempo_elevacao, vetor_inter_tempo_valor_elevacao = VTCD(vetor_vtcd_elevacao)
vetor_inter_de_tempo_adequada,vetor_inter_tempo_valor_adequa = VTCD(vetor_vtcd_adequada)
# módulo de organização dos vetores de ocorrências de cada evento, VTCD ou não.
# Interrupção
vetor_vtcd_IMT = []
vetor_vtcd_ITT = []
vetor_interrup_longa = []
# Afundamento
vetor_vtcd_AMT = []
vetor_vtcd_ATT = []
vetor_vtcd_afundamento_longa = []
# Elevação
vetor_vtcd_EMT = []
vetor_vtcd_ETT = []
vetor_vtcd_elevacao_longa = []
# Vetores momentâneos e temporários - VTCD
vetor_vtcd_momen = []
vetor_vtcd_temporaria = []
vetor_longa = []

for i in vetor_inter_de_tempo_interrupcao: # Laço p/ analsie VTCD quanto a duração
res1 =[]
```

```
res2 =[]
res3 =[]
y = []
if 0<i<=3: # Seção de aquisição de Interrupções Momentâneas (menor que 3 segundos)
for y in range(len(vetor_inter_tempo_valor_interrup[vetor_inter_de_tempo_interrupcao.index(i)])):
res1.append(vetor_inter_tempo_valor_interrup[vetor_inter_de_tempo_interrupcao.index(i)][y][1])
vetor_vtcd_IMT.append([i,max(res1),min(res1)])
vetor_vtcd_momen.append(vetor_vtcd_IMT)

if 3<i<=180: # Seção de aquisição de Interrupções Temporária (maior que 3 e menor que 180 segundos)
for y in range(len(vetor_inter_tempo_valor_interrup[vetor_inter_de_tempo_interrupcao.index(i)])):
res2.append(vetor_inter_tempo_valor_interrup[vetor_inter_de_tempo_interrupcao.index(i)][y][1])
vetor_vtcd_ITT.append([i,max(res2),min(res2)])
vetor_vtcd_temporaria.append(vetor_vtcd_ITT)

if i>180: # Seção de aquisição de Interrupções longas (maior que 180 segundos)
for y in range(len(vetor_inter_tempo_valor_interrup[vetor_inter_de_tempo_interrupcao.index(i)])):
res3.append(vetor_inter_tempo_valor_interrup[vetor_inter_de_tempo_interrupcao.index(i)][y][1])
vetor_interrup_longa.append([i,max(res3),min(res3)])
vetor_longa.append(vetor_interrup_longa)

# Laço de aglutinação dos valores em afundamento. Classificando em vetores de VTCD momentâneo ou temporária
for i in vetor_inter_de_tempo_afundamento:
res =[]
y = []
if 0<i<=3: # Seção de aquisição de Afundações momentâneas (menor que 3 segundos)
for y in range(len(vetor_inter_tempo_valor_afundamento[vetor_inter_de_tempo_afundamento.index(i)])):
res.append(vetor_inter_tempo_valor_afundamento[vetor_inter_de_tempo_afundamento.index(i)][y][1])
vetor_vtcd_AMT.append([i,max(res),min(res)])
vetor_vtcd_momen.append(vetor_vtcd_AMT)

if 3<i<=180: # Seção de aquisição de Afundamentos Temporários (maior que 3 e menor que 180 segundos)
for y in range(len(vetor_inter_tempo_valor_afundamento[
```

```
    vetor_inter_de_tempo_afundamento.index(i)])):
233 res.append(vetor_inter_tempo_valor_afundamento[
    vetor_inter_de_tempo_afundamento.index(i)][y][1])
234 vetor_vtcd_ATT.append([i,max(res),min(res)])
235 vetor_vtcd_temporaria.append(vetor_vtcd_ATT)
236
237 if i>180: # Seção de aquisição de Afundamentos longas (maior que 180
    segundos)
238 for y in range(len(vetor_inter_tempo_valor_afundamento[
    vetor_inter_de_tempo_afundamento.index(i)])):
239 res.append(vetor_inter_tempo_valor_afundamento[
    vetor_inter_de_tempo_afundamento.index(i)][y][1])
240 vetor_vtcd_afundamento_longa.append([i,max(res),min(res)])
241 vetor_longa.append(vetor_vtcd_afundamento_longa)
242
243 # Laço de aglutinação dos valores em elevação. Classificando em
    vetores de VTCD momentâneo ou temporária
244 for i in vetor_inter_de_tempo_elevacao:
245 res =[]
246 y = []
247 if 0<i<=3: # Seção de aquisição de Elevações momentâneas (menor que 3
    segundos)
248 for y in range(len(vetor_inter_tempo_valor_elevacao[
    vetor_inter_de_tempo_elevacao.index(i)])):
249 res.append(vetor_inter_tempo_valor_elevacao[
    vetor_inter_de_tempo_elevacao.index(i)][y][1])
250 vetor_vtcd_EMT.append([i,max(res),min(res)])
251 vetor_vtcd_momen.append(vetor_vtcd_EMT)
252
253 if 3<i<=180: # Seção de aquisição de Elevações Temporários (maior que
    3 e menor que 180 segundos)
254 for y in range(len(vetor_inter_tempo_valor_elevacao[
    vetor_inter_de_tempo_elevacao.index(i)])):
255 res.append(vetor_inter_tempo_valor_elevacao[
    vetor_inter_de_tempo_elevacao.index(i)][y][1])
256 vetor_vtcd_ETT.append([i,max(res),min(res)])
257 vetor_vtcd_temporaria.append(vetor_vtcd_ETT)
258
259 if i>180: # Seção de aquisição de Elevações longas (maior que 180
    segundos)
260 for y in range(len(vetor_inter_tempo_valor_elevacao[
    vetor_inter_de_tempo_elevacao.index(i)])):
261 res.append(vetor_inter_tempo_valor_elevacao[
    vetor_inter_de_tempo_elevacao.index(i)][y][1])
262 vetor_vtcd_elevacao_longa.append([i,max(res),min(res)])
263 vetor_longa.append(vetor_vtcd_elevacao_longa)
264
```

```
vetor_vtcd_momen_final.append(len(vetor_vtcd_momen))
vetor_vtcd_temporaria_final.append(len(vetor_vtcd_temporaria))
vetor_longa_final.append(len(vetor_longa))
vetor_vtcd_temp_interrupacao_final.append(len(vetor_vtcd_ITT))
vetor_vtcd_momen_interrupcao_final.append(len(vetor_vtcd_IMT))
vetor_vtcd_longa_interrupcao_final.append(len(vetor_interrup_longa))
vetor_vtcd_temp_afundamento_final.append(len(vetor_vtcd_ATT))
vetor_vtcd_momen_afundamento_final.append(len(vetor_vtcd_AMT))
vetor_vtcd_longa_afundamento_final.append(len(
    vetor_vtcd_afundamento_longa))
vetor_vtcd_temp_elevacao_final.append(len(vetor_vtcd_ETT))
vetor_vtcd_momen_elevacao_final.append(len(vetor_vtcd_EMT))
vetor_vtcd_longa_elevacao_final.append(len(vetor_vtcd_elevacao_longa))

if len(vetor_vtcd_temporaria) == 0 and len(vetor_interrup_longa) == 0:
ava_janela = "Válida"
cont_val += 1
else:
ava_janela = "Inválida"
cont_inval += 1

final_ava_janela.append(ava_janela)
interacoes+=1

if cont_val == 1008:
break
# ========== Gerar relatório em CSV =========
workbook  = xlsxwriter.Workbook('/content/drive/MyDrive/TCC/relatorio2
    .xlsx')
worksheet1 = workbook.add_worksheet('Dados')
worksheet2 = workbook.add_worksheet('Relatório final')
path1 = r'/content/drive/MyDrive/TCC/relatorio2.xlsx'
ws1 = load_workbook(path1)
wr1 = ws1['Dados']

header_format = workbook.add_format({
  'border': 1,
  'bold': False,
  'text_wrap': True,
  'align': 'center',
  'valign': 'vcenter'})

merge_head_format = workbook.add_format({
  'bold': 1,
  'border': 1,
  'align': 'center',
  'valign': 'vcenter',
```

```
  'font_size':14})

cell_format = workbook.add_format({'align': 'center',
  'valign': 'vcenter',
  'bold': 1,
  'border': 1})

cell_format_1 = workbook.add_format({'align': 'center',
  'valign': 'vcenter',
  'bold': False,
  'border': 1})

lista_cab = ['A','B','C','D','E','F','G','H','I','J','K','L']

for x in range(len(lista_cab)):
worksheet1.set_column(f'{lista_cab[x]}:{lista_cab[x]}', 15)
worksheet1.set_column('A:A', 3)
worksheet1.set_column('B:B', 10)

heading1 = 'Nº'
heading2 = 'JANELA'
heading3 = 'Interrupção Temporária'
heading4 = 'Interrupção Momentânea'
heading5 = 'Interrupção Longa Duração'
heading6 = 'Afundamento Temporária'
heading7 = 'Afundamento Momentânea'
heading8 = 'Elevação Temporária'
heading9 = 'Elevação Momentânea'
heading10 = 'VALOR EFICAZ DA JANELA'

lista_heading = [heading1,heading2,heading3,
heading4,heading5,heading6,
heading7,heading8,
heading9,heading10]

for x in range(len(lista_heading)):
worksheet1.write(f'{lista_cab[x]}1',lista_heading[x],header_format)


valores_hist = []
secoes = [round(0.8+0.01*x, 2) for x in range(41)]
vetor_hist_faixa =[]
cores = []

for x in range(n_janelas):
if wr1[f'B{x+2}'].value == 'Válida':
vetor_rms_total_janela_valida.append(wr1[f'J{x+2}'].value)
```

```
357
358 for t in range(40):
359 vetor_hist_faixa.append(f'{secoes[t]} - {secoes[t+1]}')
360 worksheet1.write(f'L{3+t}',f'{secoes[t]} - {secoes[t+1]}' ,
    header_format)
361
362 for x in range(8):
363 worksheet1.write(f'N{2+x}:N{2+x}','red',header_format) # Cor das
    barras crítica
364 for x in range(5):
365 worksheet1.write(f'N{10+x}:N{x+14}','yellow',header_format) # Cor das
    barras precaria
366 for x in range(13):
367 worksheet1.write(f'N{x+15}:N{x+26}','green',header_format) # Cor das
    barras adequada
368 worksheet1.write('N27:N28','yellow',header_format) # Cor das barras
    precaria
369 for x in range(16):
370 worksheet1.write(f'N{x+28}:N{x+43}','red',header_format) # Cor das
    barras crítica
371 worksheet1.write('L2','<0.8',header_format)
372 worksheet1.write('L43','>1.2',header_format)
373
374 for g in vetor_rms_total_janela_valida:
375 if g/tensao < 0.8:
376 o = [f'<0.8', g/tensao]
377 valores_hist.append(o)
378 for y in range(40):
379 if secoes[y] <= g/tensao <= secoes[y+1]:
380 o = [f'{secoes[y]} - {secoes[y+1]}', g/tensao]
381 valores_hist.append(o)
382 if g/tensao > 1.2:
383 o = [f'> 1.2', g/tensao]
384 valores_hist.append(o)
385 valores_hist.sort()
386
387 for x in range(interacoes):
388 worksheet1.write(f'A{x+2}',x+1)
389 worksheet1.write(f'B{x+2}',final_ava_janela[x])
390 worksheet1.write(f'C{x+2}',vetor_vtcd_temp_interrupacao_final[x])
391 worksheet1.write(f'D{x+2}',vetor_vtcd_momen_interrupcao_final[x])
392 worksheet1.write(f'E{x+2}',vetor_vtcd_longa_interrupcao_final[x])
393 worksheet1.write(f'F{x+2}',vetor_vtcd_temp_afundamento_final[x])
394 worksheet1.write(f'G{x+2}',vetor_vtcd_momen_afundamento_final[x])
395 worksheet1.write(f'H{x+2}',vetor_vtcd_temp_elevacao_final[x])
396 worksheet1.write(f'I{x+2}',vetor_vtcd_momen_elevacao_final[x])
397 worksheet1.write(f'J{x+2}',vetor_rms_total_janela[x])
```

```
398
399 worksheet2.set_column('J:J', 10)
400 heading21 = 'RELATÓRIO FINAL - AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ENERGIA'
401 worksheet2.set_row(0, 30)
402 worksheet2.set_row(1, 21)
403 worksheet2.merge_range('A1:O1', heading21, merge_head_format)
404 worksheet2.merge_range('A2:C2', 'Tensão nominal: 220 V',cell_format)
405 worksheet2.merge_range('K2:O2', 'Classificações',cell_format)
406 worksheet2.merge_range('A6:C6', f'Nº de leituras válidas: {cont_val}',
    cell_format)
407 worksheet2.write('J3', 'Crítica',cell_format)
408 worksheet2.merge_range('J4:J5', 'Precária', cell_format)
409 worksheet2.write('J6', 'Adequada', cell_format)
410 worksheet2.merge_range('K3:O3', 'Abaixo de 191V e superior a 233 V',
    cell_format_1)
411 worksheet2.merge_range('K4:O4', 'Inferior: acima de 191 V e abaixo de
    202 V ', cell_format_1)
412 worksheet2.merge_range('K5:O5', 'Superior: acima de 231 V e abaixo de
    233 V ', cell_format_1)
413 worksheet2.merge_range('K6:O6', 'Acima de 202 V e abaixo de 231 V ',
    cell_format_1)
414
415 try:
416 worksheet2.merge_range('A4:C4', f'DRP {len(vetor_precaria_total)/1008
    :.02%}', cell_format)
417 worksheet2.merge_range('A5:C5', f'DRC {len(vetor_critica_total)/1008
    :.0%}', cell_format)
418 except ZeroDivisionError:
419 worksheet2.merge_range('A4:C4', 'ERRO', cell_format)
420 worksheet2.merge_range('A5:C5', 'ERRO', cell_format)
421
422 worksheet2.merge_range('D2:I2', " VTCD's", cell_format)
423 worksheet2.merge_range('A3:C3','Nº de transgressões', cell_format)
424 worksheet2.merge_range('F3:G3','Momentâneo', cell_format)
425 worksheet2.merge_range('H3:I3','Temporário', cell_format)
426 worksheet2.merge_range('D4:E4','Interrupção', cell_format)
427 worksheet2.merge_range('D5:E5','Afundamento', cell_format)
428 worksheet2.merge_range('D6:E6','Elevação', cell_format)
429 worksheet2.merge_range('A7:C7',f'Nº de leituras expurgadas: {
    interacoes-cont_val}', cell_format)
430
431 worksheet2.merge_range('F4:G4',f'{sum(
    vetor_vtcd_momen_interrupcao_final)}', cell_format)
432 worksheet2.merge_range('F5:G5',f'{sum(
    vetor_vtcd_momen_afundamento_final)}', cell_format)
433 worksheet2.merge_range('F6:G6',f'{sum(vetor_vtcd_momen_elevacao_final)
    }', cell_format)
```

```
434 worksheet2.merge_range('H4:I4',f'{sum(
        vetor_vtcd_temp_interrupacao_final)}', cell_format)
435 worksheet2.merge_range('H5:I5',f'{sum(
        vetor_vtcd_temp_afundamento_final)}', cell_format)
436 worksheet2.merge_range('H6:I6',f'{sum(vetor_vtcd_temp_elevacao_final)}
        ', cell_format)
437
438 z = []
439 z_1 = []
440 z_2 = []
441 cores = []
442 for x in range(40):
443 worksheet1.write(f'M{x+3}', None)
444
445 for x in range(len(valores_hist)):
446 for y in range(40):
447 if valores_hist[x][0] == wr1[f'L{y+3}'].value:
448 z.append(1)
449 worksheet1.write(f'M{y+3}',sum(z),cell_format)
450
451 f = []
452 e = []
453 vetor_histo = []
454 for x in range(40):
455 if wr1[f'M{x+3}'].value != None:
456 f.append(wr1[f'M{x+3}'].value)
457 e.append(wr1[f'L{x+3}'].value)
458 cores.append(wr1[f'N{x+3}'].value)
459
460 for x in range(len(valores_hist)):
461 if valores_hist[x][0] == '<0.8':
462 z_1.append(1)
463 worksheet1.write('M2',sum(z_1),cell_format)
464 if valores_hist[x][0] == '>1.2':
465 z_2.append(1)
466 worksheet1.write('M43',sum(z_2),cell_format)
467
468 for x in range(len(f)):
469 if f[x] != f[0]:
470 vetor_histo.append(abs(f[x]-f[x-1]))
471 else:
472 vetor_histo.append(f[x])
473
474 f.insert(0,sum(z_1))
475 vetor_histo.insert(0,sum(z_1))
476 e.insert(0,'<0.8')
477 cores.insert(0,'red')
```

```
e.append('>1.2')
f.append(sum(z_2))
cores.append('red')
vetor_histo.append(sum(z_2))

for x in range(42):
for y in range(len(e)):
if wr1[f'L{x+2}'].value == e[y]:
worksheet1.write(f'M{x+2}',vetor_histo[y],cell_format)

workbook.close()

fig = plt.figure()
plt.bar(e,vetor_histo,color=cores, edgecolor='black')
plt.text(0.001, 385,f'ADEQUADA: {len(vetor_adequada)/cont_val:.01%}',
    fontsize=30,fontweight='bold')
plt.text(0.001, 365,f'PRECÁRIA: {len(vetor_precaria_total)/cont_val
    :.01%}',fontsize= 30,fontweight='bold')
plt.text(0.001, 345,f'CRÍTICA: {len(vetor_critica_total)/cont_val
    :.01%}',fontsize=30,fontweight='bold')
plt.text(0.001, 325,f'Nº de Leituras válidas: {cont_val}',fontsize=30,
    fontweight='bold')
plt.tick_params(labelsize=40)
plt.xticks(rotation=90)
plt.ylabel("Nº de amostras",fontsize=45,fontweight='bold')
plt.xlabel("Faixas de tensão em PU",fontsize=45,fontweight='bold')
plt.style.use('default')
fig.set_size_inches(50, 33)
plt.savefig('/content/drive/MyDrive/TCC/peso-histograma.png')
```

APÊNDICE B – RELATÓRIO FINAL

B.1 Relatório 1ª simulação

RELATÓRIO FINAL - AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ENERGIA					
Tensão nominal: 220 V	VTCD's			Classificações	
Nº de transgressões		Momentâneo	Temporário	Crítica	Abaixo de 191 V e superior a 233 V
DRP 3.0%	Interrupção	119	0	Precária	Inferior: acima de 191 V e abaixo de 202 V
DRC 0.4%	Afundamento	519799	1		Superior: acima de 231 V e abaixo de 233 V
Nº de leituras válidas: 1008	Elevação	520125	1	Adequada	Acima de 202 V e abaixo de 231 V
Nº de Leituras expurgadas: 2					

B.2 Relatório 2ª simulação

RELATÓRIO FINAL - AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ENERGIA					
Tensão nominal: 220 V	VTCD's				Classificações
Nº de transgressões		Momentâneo	Temporário	Crítica	Abaixo de 191 V e superior a 233 V
DRP 14.1%	Interrupção	62	0	Precária	Inferior: acima de 191 V e abaixo de 202 V
DRC 6.9%	Afundamento	442473	21		Superior: acima de 231 V e abaixo de 233 V
Nº de leituras válidas: 1008	Elevação	342869	21	Adequada	Acima de 202 V e abaixo de 231 V
Nº de Leituras expurgadas: 32					

B.3 Relatório 3ª simulação

RELATÓRIO FINAL - AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ENERGIA					
Tensão nominal: 220 V	VTCD's				Classificações
Nº de transgressões		Momentâneo	Temporário	Crítica	Abaixo de 191 V e superior a 233 V
DRP 6.9%	Interrupção	103	1	Precária	Inferior: acima de 191 V e abaixo de 202 V
DRC 6.0%	Afundamento	426513	6		Superior: acima de 231 V e abaixo de 233 V
Nº de leituras válidas: 1008	Elevação	383433	1	Adequada	Acima de 202 V e abaixo de 231 V
Nº de Leituras expurgadas: 63					