

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

MARIANA PEREIRA DA SILVA

Análise e Avaliação da Qualidade de Energia Elétrica em Data Centers

Ilha Solteira

Análise e Avaliação da Qualidade de Energia Elétrica em *Data Centers*

Trabalho de graduação apresentado à
Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira –
Unesp como parte dos requisitos para
obtenção do título de engenheira eletricista.

Carlos Antonio Alves
Orientador

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

Silva, Mariana Pereira da.

S586a Análise e avaliação da qualidade de energia elétrica em data centers /
Mariana Pereira da Silva. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2023
53 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Elétrica) -
Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2023

Orientador: Carlos Antonio Alves

Inclui bibliografia

1. Transitórios elétricos. 2. Sistema de energia elétrica. 3. Distúrbios

Raiane da Silva Santos
Raiane da Silva Santos

Supervisora Técnica de Seção
Seção Técnica de Referência, Atendimento ao usuário e Documentação
Biblioteca, Arquivo, Documentação e Informação

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE GRADUAÇÃO

Aos vinte e sete dias do mês de abril do ano de dois mil e vinte e três, a discente **Mariana Pereira da Silva**, matriculada sob o nº 141052988, tendo como banca examinadora o seu orientador, o Prof. Dr. Carlos Antonio Alves, o M.e Lucas do Carmo Yamaguti e o M.e Rodrigo Daltin, apresentou o Trabalho de Graduação intitulado "**Análise e Avaliação da Qualidade de Energia Elétrica em Data Centers**", obtendo a nota NOVE (9.0) e conceito APROVADA.

Carla G

Prof. Dr. Carlos Antonio Alves

- Orientador -

Mariana Silva

Mariana Pereira da Silva

- Discente -

Lucas do Carmo Yamaguti

Doutorando Lucas do Carmo Yamaguti

- Membro da Banca -

Rodrigo Daltin

Doutorando Rodrigo Serra Daltin

- Membro da Banca -

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha querida mãe que por muitas vezes acreditou mais em mim do que eu mesmo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha mãe, que sempre esteve do meu lado e me encorajou a não desistir, mesmo quando tudo parecia acabado.

Ao meu pai, pois sem sua ajuda eu não teria conseguido sair de casa para cursar minha faculdade.

Ao Carlos, meu orientador, pela paciência e toda sabedoria nessa etapa final.

Aos meus amigos, que nunca saíram do meu lado em todos esses anos, durante dias e noites infindáveis de estudos e incentivos.

Aos meus colegas de trabalho, que me auxiliaram para que eu conseguisse escrever cada palavra contida neste texto.

E por último, mas não menos importante, ao meu amor que me encorajou de todas as formas para chegar até ao fim.

*“Lembre-se que as pessoas podem tirar tudo de você,
menos o seu conhecimento”.*

Albert Einstein

RESUMO

A qualidade de energia é um dos assuntos mais recorrentes e que representam a preocupação de empresas de energia elétrica e consumidores sendo estes os mais afetados quando a falha nessa qualidade acontece. O número de pesquisas nessa área alavancou à medida que a quantidade de equipamentos e instalações mais sensíveis a distúrbios elétricos, sejam eles causados pela rede do próprio consumidor ou pela rede elétrica em si, aumentaram. Tais distúrbios podem acarretar inúmeros problemas para as instalações elétricas, interrompendo processos e danificando equipamentos o que gera impactos econômicos. Este trabalho aborda os principais distúrbios elétricos observados durante o ano de 2021 em uma instalação de *Data Center*, sua identificação por meio de medidores de qualidade e possíveis correções. Embora a preocupação com esses eventos seja um fator a se levar em conta, os resultados exemplificam que a energia entregue pela concessionária ao *Data Center* observado foi dentro da norma durante a maior parte do tempo no período observado, sendo predominante os eventos de afundamento de tensão na rede.

Palavras-chave: transitórios elétricos; sistema de energia elétrica; distúrbios elétricos.

ABSTRACT

Power quality is one of the most recurring issues and represents a real concern of electric power companies and consumers, which are the most affected when a quality failure occurs. The number of researches in this area increased as the amount of equipment and installations became more sensitive to electrical disturbances, whether caused by the consumer's own network or by the electrical grid itself. Such disturbances can cause numerous problems for the electrical installations, interrupting processes, damaging equipment and parts, which may cause economic impacts. This paper addresses the main electrical disturbances observed during the year 2021 in a Data Center facility, their identification through quality meters and possible corrections. Although the concern with these events is a factor to be taken into account, the results exemplify that the energy delivered by the concessionaire to the Data Center observed was within the norm for most of the time in the observed period, being predominant the events of voltage sinking in the network.

Keywords: electrical transitory; electric power systems; electrical disturbances.

LISTA DE SIGLA E ABREVIATURAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and AirConditioning Engineers</i>
ATS	<i>Automatic Transfer Switch</i>
BT	Baixa Tensão
CPD	Centro de Processamento de Dados
DC	<i>Data Center</i>
DRC	Duração Relativa da transgressão para tensão Crítica
DRP	Duração Relativa da transgressão para tensão Precária
FD%	Fator de Desequilíbrio de Tensão
P _{LT}	<i>Long Term Probability</i>
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
P _{ST}	<i>Short Term Possibility</i>
PU	Por unidade
QEE	Qualidade de Energia Elétrica
QTA	Quadro de Transferência Automática
SIN	Sistema Interligado Nacional
TI	Tecnologia da informação
TL	Tensão de Leitura
TN	Tensão Nominal
UPS	<i>Uninterruptible Power Supply</i>
V-	Magnitude Da Tensão Eficaz De Sequência Negativa
V+	Magnitude Da Tensão Eficaz De Sequência Positiva.
V _{ab}	Tensão de linha “ab”
V _{bc}	Tensão de linha “bc”
V _{ca}	Tensão de linha “ca”
VTCD	Variações De Tensão De Curta Duração

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama unifilar simplificado de um <i>Data Center</i>	16
Figura 2 - Diagrama de blocos de uma UPS	17
Figura 3 - Consumo de um DC.....	21
Figura 4 - Interrupção momentânea de tensão	28
Figura 5 - Afundamento de tensão momentâneo	29
Figura 6 - Elevação de tensão momentânea.....	29
Figura 7 – Perda da vida útil do motor em razão do desequilíbrio	33
Figura 8 - Analisador de qualidade <i>Janitza</i> 512 - PRO	38
Figura 9 - Analisador PSL PQube	39
Figura 10 - Ligação do analisador PQube	40

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Terminologia da flutuação da tensão	25
Quadro 2 - Limites para flutuação de tensão.....	25
Quadro 3 – Classificação das Variações de Tensão de Curta Duração.....	26
Quadro 4 - Limites de Tensão de Leitura Em Relação a Tensão Nominal.....	27
Quadro 5 - Limites para o desequilíbrio de tensão.....	31
Quadro 6 - Limites para valores de frequência.....	34
Quadro 7 - Categorias e características dos distúrbios elétricos.....	34
Quadro 8 - Categorias e características dos distúrbios elétricos.....	35
Quadro 9 - Comparativos entre analisadores.....	39
Quadro 10 - Indicação dos valores de frequência experimentais.....	43
Quadro 11 – Indicação dos valores máximos e mínimos de tensão fase-neutro práticos	43
Quadro 12 - Indicação dos valores de tensão fase-fase experimentais	44
Quadro 13 – Indicação dos valores de flutuações de longa duração (Plt) experimentais	45
Quadro 14 - Indicação dos valores de desequilíbrio de tensão práticos	45
Quadro 15 - Indicação dos valores de afundamento de tensão no período de doze meses.....	46
Quadro 16 - Indicação dos valores de elevação de tensão no ano de 2021	47

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1. Objetivo	18
2. QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA.....	19
2.1. Revisão da literatura	19
2.2. Relevância da qualidade da energia elétrica.....	20
2.3. Importância da qualidade de energia em <i>Data Centers</i>	21
2.4. Distúrbios Elétricos.....	22
3. DISTÚRBIOS ELÉTRICOS RELACIONADOS A QUALIDADE DA ENERGIA ...	24
3.1. Flutuação de Tensão.....	24
3.2. Variação De Curta Duração	25
3.3. Interrupção de tensão	27
3.4. Afundamento de tensão (<i>Sag</i>)	28
3.5. Elevação de tensão (<i>Swell</i>).....	29
3.6. Desequilíbrio De Tensões	30
3.7. Consequências das tensões desequilibradas	32
3.8. Variação de Frequência	33
3.9. Resumo dos Distúrbios Elétricos	34
4. MEDIDORES DE QUALIDADE DE ENERGIA	36
4.1. Importância da medição da qualidade de energia.....	36
4.2. Analisador da Qualidade de Energia <i>Janitza</i> UMG 512 – PRO	37
4.3. Analisador da Qualidade de Energia PSL PQube	38
4.4. Considerações	41
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	42
5.1. Resultados das medições	42
5.2. Frequência	42
5.3. Variações da tensão de alimentação entre fase e neutro	43
5.4. Variações da tensão alimentação entre fase e fase.....	43
5.5. Efeito Flicker	44
5.6. Desequilíbrio de Tensão	45
5.7. Interrupções	45
5.8. Afundamento de tensão (<i>Sag</i>)	45
5.9. Elevação de tensão (<i>Swell</i>).....	47
6. CONCLUSÃO	49

1. INTRODUÇÃO

A preocupação com a qualidade de energia elétrica vem sendo tratada pelas empresas de energia elétrica e consumidores desde a década de 1980, sendo esses os principais causadores e, ao mesmo tempo, os que mais sofrem com problemas causados pela falta de uma energia elétrica com qualidade (DUGAN et al., 2002). As pesquisas nessa área vêm se intensificando à medida que aumenta o número de consumidores conectando dispositivos sensíveis a distúrbios de energia em sistemas de distribuição (DUGAN, 2002), sendo que a maioria dos problemas que surgem nos sistemas elétricos é causada pela excessiva distorção das correntes ou tensões junto ao consumidor final (ALDABÓ, 2001).

A análise de qualidade será feita em *Data Centers* (DC), que consistem em grandes instalações físicas de servidores, equipamentos de armazenamento e processamento de dados, dispositivos de segurança, sensores entre outros tipos de equipamentos de monitoramento. Devido à alta demanda de serviços de armazenamento e processamento de dados, esse tipo de ambiente se tornou fundamental no suporte não só de grandes empresas, mas também para pessoas físicas. Sendo assim, torna-se crucial que o funcionamento de tais locais não seja prejudicado por uma falta de energia no sistema de distribuição ou falhas em equipamentos essenciais, que garantem a redundância do sistema, assim como a refrigeração desses ambientes.

Até meados de 1990, *Data Centers* eram conhecidos como CPD, Centro de Processamento de Dados, o termo mais recente é utilizado para se referir a locais onde existe uma alta densidade de cargas críticas de (Tecnologia da Informação) TI. O design de DC mais modernos exige uma infraestrutura mais significativa para comportar tanto *hardware*, quanto *software*. Isso inclui subsistemas de energia, fontes ininterruptas de alimentação, sistemas de refrigeração, sistemas de combate a incêndio, geradores, além das conexões cabiais internas e externas (FACCIONI FILHO, 2016). A norma mais usada para o layout dessas instalações é ANSI/TIA-942-A (*Telecommunications Infrastructure for Data Centers*), trata-se de um padrão de qualidade que representa um consenso no que diz respeito à construção e *design* de DC (ANSI/TIA-942-B).

Esse padrão de layout pode seguir diferentes fins dependendo do tipo de serviço e a funcionalidade para a qual o DC foi construído, sendo assim por possuírem

características distintas esses ambientes podem ser diferenciados, basicamente, em 3 tipos (MARIN, 2013):

I. *Enterprise*: mais popular no mercado, utilizado por apenas um cliente comumente localizado no mesmo local da empresa, que cuida de sua própria operação. O principal fator de escolha de um *Data Center* do tipo *enterprise* é o custo de instalação, manutenção e operação.

II. *Colocation*: com infraestrutura própria, desde instalação elétrica até sistema de refrigeração, o cliente é responsável apenas pela operação e instalação dos sistemas e equipamentos. Com características tipicamente maiores que os outros tipos de DC, esses ambientes costumam ser compartilhados, por isso a segurança é um diferencial, tornando o acesso às salas de TI mais rígidos.

III. *Internet*: esse tipo é baseado em nuvem, ou seja, o ambiente do DC oferece o serviço gerenciamento das operações, manutenção e instalação ao cliente, que apenas acessa seus dados através da internet. Esses ambientes possuem alta densidade de equipamentos de TI, uma vez que possuem vários clientes, o que torna esse tipo de DC muito confiável, pois é preciso assegurar total disponibilidade da infraestrutura aos clientes, garantindo isso através do aumento na redundância de sistemas.

Além dos tipos, existe outra classificação para um DC, uma iniciativa da *Uptime Institute* estipula níveis (*Tiers*) (UPTIMEINSTITUTE, 2022), levando como base redundância e tolerância a falhas, sendo esta a capacidade que o DC tem de continuar em operação mesmo que haja falhas na distribuição. Os níveis são classificados da seguinte forma:

- ***Tier I*:** DC sem alimentação redundante para atender a carga, isso diminui a confiabilidade da instalação uma vez que deixa os equipamentos expostos a qualquer distúrbio da rede elétrica
- ***Tier II*:** DC com componentes redundantes, que possui um único caminho para alimentação da carga. Essa configuração deixa a instalação suscetível a distúrbios da rede elétrica, a falhas no ramo de alimentação e indisponibilidade de serviço quando alguma manutenção exigir o desligamento do DC.
- ***Tier III*:** DC com componentes redundantes e vários ramos de alimentação para a carga crítica, sendo que cada ramo alimenta a carga individualmente, outra característica desse *tier* é a ocorrência simultânea de operação e manutenção, ou

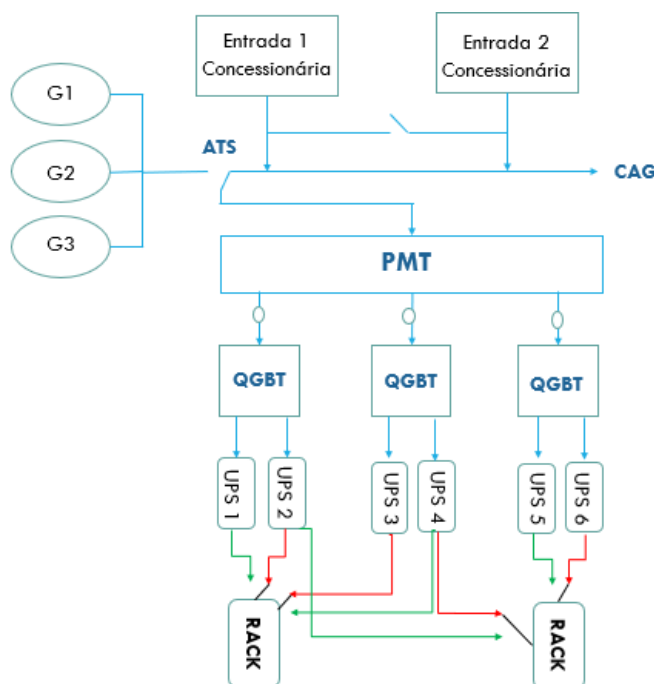
seja, o DC continua com seu funcionamento normal enquanto manutenções preventivas ocorrem nos equipamentos.

- **Tier IV:** DC com componentes redundantes e vários ramos de alimentação que chegam, simultaneamente, aos equipamentos de TI, que por sua vez possuem fontes de alimentação redundante, o que caracteriza esse *tier* pela capacidade de recuperação quando há distúrbios na rede elétrica da concessionária. Nesse nível a carga crítica não é afetada por falhas e qualquer componente pode ser removido do sistema sem que haja qualquer indisponibilidade de serviço.

Outro sistema tão importante e crítico quanto a energia de um DC é o sistema de refrigeração. Os dispositivos que processam dados necessitam de determinada temperatura e umidade para funcionarem da maneira correta, a ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Airconditioning Engineers*), entidade norte americana conhecida pela normatização para climatização sugere de 18 °C a 27 °C para temperatura de entrada nesses equipamentos com umidade de 60%, ou seja, essa ventilação que irá mantê-los nas condições ideais de funcionamento (HERRLIN, 2010) (ASHRAE TC 9.9, 2011).

Na Figura 1 é exemplificado o esquemático unifilar da estrutura de um *Data Center* básico

Figura 1 - Diagrama unifilar simplificado de um *Data Center*

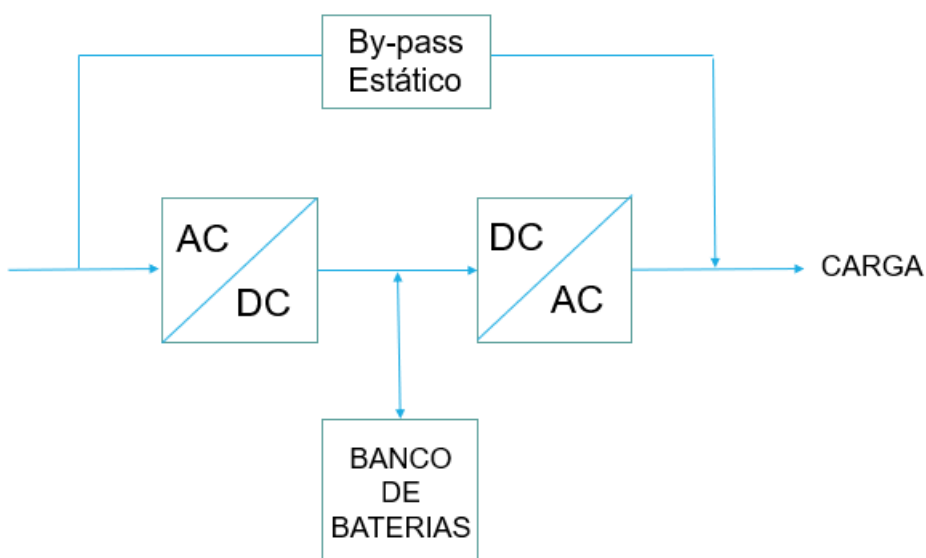


Fonte: Elaborado pela autora

Pela Figura 1 define-se G1, G2 e G3 como gerador 1, gerador 2 e gerador 3 sendo estes responsáveis por assumir a carga total do *Data Center* quando a entrada da Concessionária 1 ou 2 entra em falha, ocasionada ou não por algum distúrbio elétrico na rede de distribuição ou por manutenções, sejam estas programadas ou não. Após a queda da concessionária os Painéis de Média Tensão (PMT), os Quadros Gerais de Baixa Tensão (QGBT) ficam desenergizados e a Central de Água Gelada (CAG) perdem sua fonte de alimentação primária, estes três sistemas podem ficar sem energia até que G1, G2 e G3 assumam toda a carga.

O tempo que os geradores demoraram para entra na barra de alimentação, o que mantém os equipamentos críticos ligados é do Sistema de Energia Ininterrupta (UPS - *Uninterruptible Power Supply*), uma bateria que garante energia ininterrupta até que os geradores possam sincronizar tensão e frequência para assumir a carga. A Figura 2 exemplifica o esquemático de uma UPS em blocos.

Figura 2 - Diagrama de blocos de uma UPS



Fonte: elabora pela autora, 2023

Pela Figura 2, observa-se que a energia elétrica é retificada antes de carregar o banco de baterias e novamente retorna para sua forma senoidal, após passar pelo inversor, antes de chegar de fato a carga. O sistema de *by-pass* é utilizado quando a UPS precisa passar pelas manutenções preventivas de modo a se evitar qualquer falha durante sua operação.

Todas as medidas e decisões adotadas dentro de um DC são tomadas a fim de se evitar indisponibilidade de sistemas e total entrega a seus clientes, o que torna de vital importância a qualidade de energia elétrica. Uma maneira de monitorar os distúrbios da rede é através de medidores de qualidade de energia, localizados na entrada dos DC. Existem no mercado vários fabricantes diferentes, com funções, especificações e preços diferentes. Os modelos analisados neste trabalho são: PSL PQube AC monitor e *Janitza* UMG 512-PRO, com aferição definida pela norma IEC 61000-4-30 e utilizada como referência pela ANEEL (Pomilio, 2020).

Os principais causadores das interferências na qualidade de energia de uma rede elétrica são abordados neste texto, trazendo maior ênfase para distúrbios de tensão e corrente e como são classificados de acordo com os efeitos causados pelos mesmos. Também serão tratadas as consequências dos problemas de baixa qualidade de energia para uma instalação de *Data Center* e uma comparação de equipamentos que fazem a análise da qualidade da energia elétrica e podem identificar alguns tipos de falhas.

1.1. Objetivo

Este trabalho realizará a análise e avaliação da qualidade de energia elétrica na entrada de um *Data Center* com o uso de um medidor de qualidade de energia PSL PQube AC monitor e um medidor *Janitza* UMG 512-PRO. Tal análise visa permitir uma avaliação das condições da instalação elétrica, da tensão fornecida pela concessionária e a corrente de diversas cargas, possibilitando a identificação da qualidade geral da energia elétrica. Além do mais, detalhar como cada efeito se propaga e fazer uma avaliação prática de cada um dos medidores.

2. QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA

2.1. Revisão da literatura

Existem várias definições para qualidade de energia elétrica (QEE), uma tensão com sua forma de onda puramente senoidal e com amplitude definida sem alterações de frequência pode ser uma das definições para a qualidade da tensão. Quando, para esta mesma forma de onda, a severidade e a frequência com que os desvios ocorrem em sua amplitude e em sua forma, também se tornam parâmetros para classificar a energia elétrica como de boa qualidade (ROCHA, 2016). Outro conceito define que a QEE são o conjunto de características necessárias que a energia elétrica distribuída deve atender, tais características abrangem não apenas sinais constantes, como frequência e amplitude, mas também sua forma de onda. No que se refere a amplitude é desejável que esta se mantenha estável ao longo do tempo, sem flutuações. Além disso a frequência também é vital para a QEE pois instabilidades significativas prejudicam o sistema. (POLL, 2013).

Uma definição mais abrangente que convém ser citada, determina que a QEE é uma medida de quão bem a energia está sendo consumida pelo usuário final, sendo que as características observadas para tal definição englobam continuidade de distribuição e conformidade com os limites pré-estabelecidos pelas normas. (POMILIO, 2020).

Afirmar que uma instalação tem uma qualidade de energia ruim implica que as ondas de tensão e de corrente têm alterações o suficiente para prejudicar o funcionamento e diminuir a vida útil de aparelhos, observa-se cada vez mais em aplicações industriais ou até mesmo no que tange ao consumidor final equipamentos mais sensíveis as condições de operação do sistema de energia elétrica (ROCHA, 2016, POMILIO, 2020).

Atualmente os documentos do PRODIST organizados pela ANEEL, normatizam e padronizam as atividades técnicas relacionadas à QEE no Brasil, com a participação dos agentes de distribuição e outras instituições e associações do Setor Elétrico Nacional. Os principais objetivos do PRODIST – Módulo 8 são:

- Definir os procedimentos no âmbito da qualidade do fornecimento de energia elétrica na distribuição, referente à qualidades do produto, do serviço e comercial

- Definir os fenômenos que afetam a qualidade de energia, estabelecendo indicadores, limites e valores de referência
- Determinar fenômenos que afetam a continuidade do fornecimento de energia elétrica, normatizando metodologias de indicadores dessa continuidade.

Em relação aos fenômenos da qualidade de energia, o Módulo 8 define indicadores, seus valores de referência e limites, metodologia de medição, gestão das reclamações e estudos específicos de qualidade para fins de acesso aos sistemas de distribuição (ANEEL, 2021).

Além disso, é importante lembrar que as normas de operação variam de um país para outro, as definições e objetivos supracitados, assim como os indicadores que serão discutidos neste texto refletem a realidade brasileira, uma vez que dependendo da característica das fontes primárias de um país para outro, não existe critério único que defina a qualidade da energia elétrica.

2.2. Relevância da qualidade da energia elétrica

A importância da qualidade se exemplifica no aumento do número de equipamentos eletrônicos extremamente sensíveis à rede (AGALAR and KAPLAN, 2018). Outra razão pela qual há esse grande interesse é a questão econômica, a indústria segue no caminho da modernização de equipamentos e automação de processos. Isto significa que as etapas de produção são controladas por máquinas mais sensíveis a parâmetros da rede, que requerem mais tempo para religar quando interrupções ocorrem na distribuição parando linhas de produção e acarretando prejuízos à indústria (DUGAN et al., 2002). Existem outros estudos apontando que a baixa qualidade na energia elétrica está diretamente ligada a questões econômicas. Estimava-se, há vinte anos, que a indústria manufatureira americana desembolsou em média 10 bilhões de dólares a eventos associados com interrupção no processo de fabricação. E no mercado europeu os valores chegariam a 1.5 do PIB para eventos similares (POMILIO, 2020).

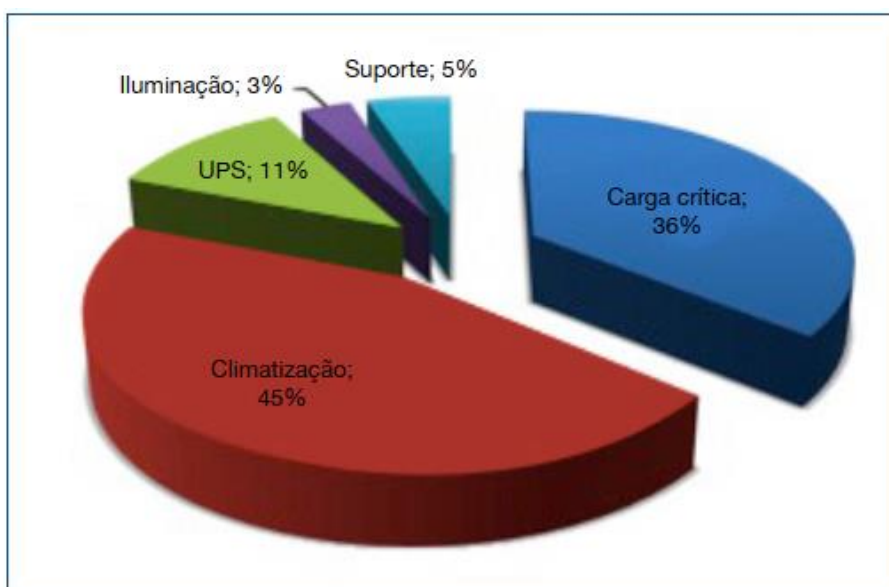
Outro exemplo que implica em gastos é a entrada de geradores à diesel quando a rede elétrica alimentando o DC oscila, na tentativa de proteger a carga crítica esses equipamentos respondem o mais rápido possível para garantir continuidade no fornecimento de energia elétrica à carga abaixo deles (FACCIONI, 2016).

Não somente da concessionária é a responsabilidade por manter a QEE, o usuário também tem influência no sistema elétrico quando utiliza cargas não lineares, Sistema de Energia Ininterrupta (UPS - *Uninterruptible Power Supply*), computadores que geram distorções na corrente e por consequência afetando a tensão e propagando a baixa qualidade por toda a instalação. Os parâmetros satisfatórios estabelecidos por agências reguladoras se atêm a qualidade do produto, ou seja, forma de onda, amplitude, distorção, número de interrupções e sua duração (ROCHA, 2016).

2.3. Importância da qualidade de energia em *Data Centers*

Os *Data Centers*, independentemente de seu tamanho, são um dos maiores consumidores de energia devido a quantidade massiva de equipamento de TI que estes possuem, sendo esta carga responsável por metade da alimentação elétrica no DC, deixando cargas mecânicas com 45% e os demais sistemas com o restante da energia não utilizada (FACCIONI, 2016). A Figura 3 representa as distribuições dos principais sistemas presentes em um DC.

Figura 3 - Consumo de um DC



Fonte: (FACCIONI, 2016).

Os percentuais de consumos podem variar, mas como se pode observar na Figura 3 os sistemas que mais consomem energia são as cargas de TI e o sistema de refrigeração. A fonte primária que supre essa demanda são as concessionárias de

energia, uma vez que manter um DC operando sob geradores é inviável devido ao custo elevado do diesel, sendo assim é imprescindível que a energia disponibilizada pelas concessionárias seja o mais limpa possível (FACCIONI, 2016).

2.4. Distúrbios Elétricos

A norma do IEEE 1159 define o conceito dos distúrbios elétricos que influenciam na QEE, evitando ambiguidade nos conceitos uma vez que existe uma grande variedade de fenômenos eletromagnéticos no sistema elétrico, alguns deles são variação de tensão de curta duração (VTCD), flutuação de tensão, regime permanente transitórios, desequilíbrios, variação de frequência (IEEE 1159, 2009).

Saber identificar esses problemas facilita na escolha do medidor de qualidade mais apropriado para instalação, assim como a remediação para o problema causado por esses distúrbios. Um erro nessa escolha pode acarretar gastos financeiros desnecessários (ROCHA 2016).

O mecanismo mais usado, principalmente em DCs, para evitar a indisponibilidade da energia elétrica ou impedir que as oscilações da rede cheguem na carga é o UPS sustentado por bancos de bateria. Uma UPS consiste em um retificador que carrega o banco de baterias e um inversor de frequência, que disponibiliza tensão alternada para a carga (ROCHA, 2016).

Como os distúrbios da rede tem duração variada, a UPS pode manter a energia na carga por minutos, horas ou até segundos, dependendo da capacidade da bateria, até que o gerador entre em operação. Normalmente, apenas as cargas críticas do DC são conectadas a esses sistemas. O dispositivo responsável por essa transição concessionária – UPS/geradores é a ATS/QTA (*Automatic Transfer Switch* ou Quadro de Transferência Automática), uma vez sendo alimentada pela concessionária, quando ocorre qualquer interrupção na fonte principal, a ATS comuta a alimentação para geradores (FACCIONI, 2016).

Cada um desses fenômenos mencionados anteriormente serão abordados nos próximos capítulos deste texto a fim de esclarecer e exemplificar, para alguns efeitos, os danos causados em equipamentos instalados no DC, tendo por base as definições e parâmetros estabelecidos no PRODIST 2021 e IEEE 1159, 2009. Para a composição dos indicadores apresentados neste texto, a ANEEL (2021), no Módulo 8 do PRODIST propõe um registro de 1008 (mil e oito) leituras válidas obtidas em

intervalos consecutivos de 10 (dez) minutos cada. Os parâmetros, como nível de tensão a ser detectado, devem ser da ordem de 200 ms (12 ciclos a de 60 Hz), ou seja, a cada 200 ms essa grandeza é observada, sendo que este valor é agregado em intervalos consecutivos de 3 segundos, o que resulta em 15 amostras. Os valores obtidos deste agregamento de 15 amostras são representados por sua média quadrática, que novamente são agregados para o intervalo de 10 minutos, totalizando em um dia (1440 minutos) 144 amostras que na semana serão as 1008 leituras válidas citadas anteriormente (POMILIO, 2020).

3. DISTÚRBIOS ELÉTRICOS RELACIONADOS A QUALIDADE DA ENERGIA

O termo qualidade de energia diz respeito a uma grande variedade de fenômenos eletromagnéticos. As recomendações da norma IEEE 1159-2009 definem com precisão o conceito de cada um desses eventos, bem como os parâmetros dentro dos quais é permitido que uma grandeza elétrica varie. Os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrica Brasileiro – PRODIST, Módulo 8 também qualifica alguns dos fenômenos expostos neste texto (PRODIST, IEEE)

Conhecer, definir e exemplificar as diferenças entre um distúrbio elétrico e outro é de suma importância para que a resolução daquele problema seja feita de forma eficaz, pois a resolução para uma interrupção de tensão é diferente da solução para um transitório oscilatório, mudança na condição de regime permanente no sinal de tensão e/ou corrente oscilando na frequência natural do sistema. Os equipamentos de correção são fabricados para resolver o problema específico para o qual o eles foram fabricados, o erro nessa aquisição pode acarretar prejuízos financeiros além de não resolver os problemas da instalação (ROCHA, 2016).

As características mencionadas neste texto para a consideração quanto a qualidade do produto são: flutuação de tensão, variação de curta duração, interrupção de tensão, afundamento de tensão (*sag*), elevação de tensão (*swell*), desequilíbrio de tensões. Cada um desses eventos serão abordados nos tópicos seguintes levando em consideração sua consequência para a operação em um DC.

3.1. Flutuação de Tensão

Flutuações de tensão são variações aleatórias no valor eficaz e de pico da tensão, sendo que sua amplitude não ultrapassa um valor específico de 95% a 105% do tesão nominal, essas flutuações podem ser percebidas por usuários finais atendidos pela rede de em Baixa Tensão (BT) na alteração da intensidade do brilho da iluminação (efeito Flicker) uma vez que a sensibilidade do olho humano às variações luminosas é baixa, esse fenômeno se limita na faixa de frequência de 0 à 30 Hz. Apesar de se tratar de um efeito visual, ficou demonstrado que as variações luminosas podem atingir o sistema nervoso central e provocar disfunções neurológicas, além de estresse mental, perda de concentração entre outras consequências (Pomilio, 2020).

O indicador de severidade P_{ST} (*Short Term Probability*) representa a flutuação associada a um período contínuo de 10 minutos, para flutuação por períodos contínuos de 2 horas tem-se o indicador P_{LT} (*Long Term Probability*), já o último indicador P_{ST} 95% demonstra que a grandeza analisada, a flutuação, estará em conformidade com a norma se ultrapassar os limites apenas por 5% do tempo de observação. (POMILIO, 2020).

A terminologia aplicada a esta sensação pode ser observada no Quadro 1 (ANEEL, 2021).

Quadro 1 - Terminologia da flutuação da tensão

Identificação de Grandeza	Símbolo
Severidade de Flutuação de Curta Duração	P_{ST}
Severidade de Flutuação de Longa Duração	P_{LT}
Valor do Indicador P_{ST} acima de 5% das leituras válidas	$P_{ST95\%}$

Fonte: PRODIST, 2021

O limite máximo desejado a ser observado no sistema de distribuição para instalações elétricas de baixa tensão (BT) no que diz respeito ao desempenho perante as flutuações de tensão determinados pelo PRODIST é apresentado no Quadro 2 (ANEEL, 2021).

Quadro 2 - Limites para flutuação de tensão

Indicador	Tensão nominal (V_n)		
	$V_n < 2,3 \text{ kV}$	$2,3 \text{ kV} \leq V_n < 69 \text{ kV}$	$69 \text{ kV} \leq V_n < 230 \text{ kV}$
$P_{st95\%}$	1,0 pu	1,5 pu	2,0 pu

Fonte: PRODIST, 2021

O sistema pu se refere a por unidade e é utilizado para facilitar parâmetros de cálculo, é uma quantidade normalizada através de um valor base, ou seja, a condição nominal será 1 pu correspondente a 100% (ROBBA, 2000).

3.2. Variação De Curta Duração

Variações na tensão de curta duração (VTCD) são oscilações significativas no

valor eficaz da tensão em um intervalo de tempo menor que três minutos e são quase sempre causadas por condições de falha, cargas pesadas sendo ligadas que demandam correntes de partida elevadas. Dependendo da localização e das condições da rede a falha pode causar distúrbios temporários como aumento de tensão (*swells*), afundamento de tensão (*sags*) ou a interrupção da tensão (IEEE 1159, 2009). Independentemente da localização dessas falhas na rede a duração dessa condição será considerada momentânea quando sua duração for igual ou inferior a três segundos, e se passar desse tempo até três minutos a falha se torna temporária (PRODIST – Módulo 8). Já para o caso da interrupção de energia elétrica, as cargas devem suportar interrupções completas da tensão da rede durante intervalos de até meio ciclo.

O Módulo 8 do PRODIST, define os dois tipos de VTCD, afundamento e elevação da tensão, condicionando que para se caracterizar um afundamento o valor eficaz de tensão em relação a tensão de referência deve ser superior ou igual a 0,1 pu e inferior a 0,9 pu e para elevação da tensão a razão tem que ser superior a 1,1 pu. O Quadro 3 a seguir classifica as variações na tensão de acordo com sua duração e valor eficaz em relação a tensão eficaz de base.

Quadro 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: PRODIST, 2021

Não existe norma que delimita a frequência com que as VTCDs podem acontecer, pois a principal razão de sua origem está em eventos que não podem ser previstos ou mitigados como por exemplos, eventos climáticos ou manobras de carga que fogem ao controle do operador e até do consumidor.

Dois índices definem os limites para a tensão em regime permanente inferior a 1 kV, o índice de Duração Relativa da transgressão para tensão Precária (DRP) e para tensão Crítica (DRC). Novamente o conjunto de leituras que geram os indicadores individuais é de 1008 leituras tomadas em intervalos de 10 minutos.

As grandezas nlp e nlc representam, respectivamente, o maior valor entre as fases nas faixas precária e crítica observado nas 1008 leituras. Portanto, os índices são definidos matematicamente conforme as Equações 1 e 2.

$$DRP = \frac{nlp}{1008} 100 \% \quad (1)$$

$$DRC = \frac{nlc}{1008} 100\% \quad (2)$$

. O limite do indicador DRP é de 3% e para o indicador DRC 0.5% (PRODIST, 2021). No Quadro 4 pode-se observar os limites para variação da tensão de leitura (TL) em relação à tensão nominal (TN).

Quadro 4 - Limites de Tensão de Leitura Em Relação a Tensão Nominal

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

Fonte: PRODIST, 2021

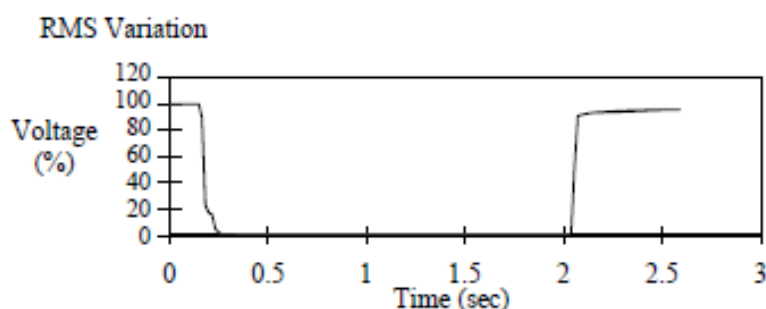
3.3. Interrupção de tensão

Uma interrupção são eventos caracterizados pelo corte da tensão ou da corrente de carga para menos de 0.1 pu por um período inferior a um minuto. Interrupções podem ser causadas por diversos motivos sendo alguns deles o clima, por meio de

descargas atmosféricas, que geram frentes de ondas maiores que a capacidade de proteção do sistema, mau funcionamento do equipamento elétrico ou operações na linha de transmissão (ROCHA, 2016, MEHL, 2011).

Algumas vezes interrupções são precedidas de subtensão na rede, detalhada no capítulo posterior, devido a falha na fonte do sistema esse rebaixamento ocorre entre o tempo em que a falta se inicia até o acionamento dos dispositivos de proteção. Embora o tempo de duração deste distúrbio seja de um modo geral curto, inferior a trinta segundos, essas paradas acabam gerando impactos nos sistemas de proteção, bem como a preocupação com a indisponibilidade dos serviços (ROCHA, 2016). Na Figura 4 pode-se observar uma interrupção momentânea, na qual a tensão vai a zero por aproximadamente 2 segundos.

Figura 4 - Interrupção momentânea de tensão



Fonte: IEEE, 2009

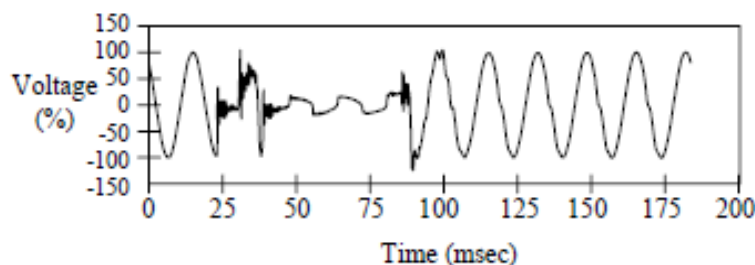
A fim de se evitar indisponibilidade do sistema de alimentação, muitas infraestruturas de DC têm como proteção as UPSes, baseadas em banco de baterias, para manter a carga crítica energizada durante o tempo de falha. A energia armazenada nas baterias passa por um inversor DC/AC e segue para as cargas, a autonomia de uma UPS depende do tempo em que a energia da rede ficar indisponível, da carga que esta terá que suportar até a entrada dos geradores de emergência, o que pode levar alguns segundos.

3.4. Afundamento de tensão (*Sag*)

Afundamento de tensão é a diminuição da tensão RMS para um nível entre 0.1 e 0.9 pu por durações de tempo que variam por menos de um minuto. Esse tipo de evento é tipicamente causado pela inserção de grandes motores no sistema elétrico

ou mesmo a corrente de inrush de geradores. A Figura 5 mostra o afundamento de tensão de tensão de uma rede.

Figura 5 - Afundamento de tensão momentâneo



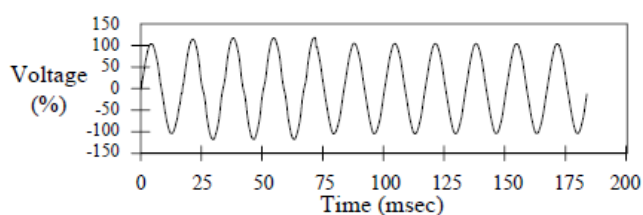
Fonte: IEEE, 2009

Caso o rebaixamento da tensão na rede exceda a duração de um minuto sustentando a tensão entre valores, tipicamente, de 0,8 pu a 0,9 pu o fenômeno é chamado de subtensão (*undervoltage*). Um fator que pode causar subtensão são circuitos com sobrecarga (IEEE, 2009), essa situação pode ser observada em um DC se as cargas forem distribuídas de maneira displicente nos painéis de distribuição, como também na entrada dos geradores durante as falhas ou mesmo pela realização de testes com carga.

3.5. Elevação de tensão (*Swell*)

Elevação de tensão é o aumento no valor RMS da tensão acima de 1,1 pu por tempos de até 1 minuto de duração, sendo que normalmente os valores variam entre 1,1 pu e 1,2. Como no afundamento de tensão, as elevações de tensão estão associadas com falta no sistema elétrico de distribuição, porém se trata de um fenômeno menos comum que os afundamentos (DUGAN, 2002). Causados principalmente pela retirada de grandes cargas da rede. A Figura 6 mostra a elevação de tensão em uma rede.

Figura 6 - Elevação de tensão momentânea



Fonte: IEEE, 2009

Elevações de tensão podem ser caracterizadas por sua magnitude e duração. A gravidade desse fenômeno depende de onde ocorreu o fenômeno, da impedância do sistema e aterramento. Perto da subestação, em um sistema com bom aterramento, não há aumento de tensão nas fases que não foram afetadas pelo evento, isso se explica, pois, o transformador está, normalmente, conectado em delta-estrela proporcionando um caminho para a corrente (IEEE, 2009).

Para elevações acima 1,1 pu por durações maiores que um minuto o fenômeno é chamado de sobretensão (*overvoltage*), tendo como causa o desligamento de cargas ou ligação de bancos de capacitores para compensação de reativo (ROCHA, 2016).

3.6. Desequilíbrio De Tensões

Em sistemas trifásicos equilibrados é necessário que a potência seja dividida igualmente entre as três fases deste sistema, e para isso cada fase deve atender às seguintes condições: cada elemento da fase deve ter as mesmas características elétricas e magnéticas, assim como tensões, amplitudes e defasagens iguais, denominada como a separação de 120° elétricos (ou $2\pi/3$ radianos) entre cada uma de suas fases, com sinal positivo para a tensão adiantada e negativo para a tensão atrasada. As condições previamente propostas podem ser observadas matematicamente pelas Equações 3, 4 e 5.

$$V_a(t) = V \cdot \text{sen}(2\pi ft + \theta) \quad (3)$$

$$V_b(t) = V \cdot \text{sen}(2\pi ft + \theta - \frac{2\pi}{3}) \quad (4)$$

$$V_c(t) = V \cdot \text{sen}(2\pi ft + \theta + \frac{2\pi}{3}) \quad (5)$$

Em que V_a, V_b, V_c são definidos como tensões de fase, ou seja, a medida entre qualquer terminal do gerador ou carga e o centro-estrela, ponto central comum, conhecido como ponto neutro ou ponto de aterramento (ROBBA, 2000). Desequilíbrio de tensão é qualquer diferença observada nas amplitudes (V) ou nos ângulos ($2\pi/3$) entre as tensões de fase em um sistema trifásico, geralmente causadas pela distribuição desigual de cargas por fase (TEODORO, 2005). A definição para desequilíbrio de tensão também se aplica à corrente, o que impede o sistema de

operar de maneira adequada (ANEEL, 2021, ALVES, 2018). A determinação do PRODIST regulamenta que o valor de referência nos barramentos do sistema elétrico deve ser igual ou inferior a 2%. O fator de desequilíbrio é encontrado através da razão entre os módulos da sequência negativa e da sequência positiva, definidas pela ordem na qual as tensões passam por um ponto máximo (ROBBA, 2000) matematicamente o desequilíbrio de tensão é representado pela Equação 6.

$$FD \% = \left| \frac{V_-}{V_+} \right| * 100 \quad (6)$$

O método de cálculo usado na Equação 6, também definido pela na norma do IEEE, 2009, é tido como preferencial pois representa diretamente o fenômeno de interesse sem aproximações. A desvantagem desse método, e por consequência a motivação para que a Equação 6 tivesse outra equivalente, é que aparelhos de medição não determinam sequência de fase da tensão que estão medindo.

A Equação 7 apresentada a seguir supre essa necessidade, uma vez usa somente os valores absolutos medidos.

$$FD\% = 100 \sqrt{\frac{1-\sqrt{3}-6\beta}{1+\sqrt{3}-6\beta}} [\%] \quad (7)$$

Sendo β definido pela Equação 8 a seguir.

$$\beta = \frac{V_{ab}^4 + V_{bc}^4 + V_{ca}^4}{(V_{av}^2 + V_{bc}^2 + V_{ac}^2)^2} \quad (8)$$

Sendo V_{ab}, V_{bc}, V_{ac} definidos como tensões linha, ou seja a medida entre quaisquer dois terminais do gerador ou da carga (fase-fase) (ROBBA, 2000). Os limites para o fator de desequilíbrio de tensão FD95% estão apresentados no Quadro 5 a seguir:

Quadro 5 - Limites para o desequilíbrio de tensão

Indicador	Tensão nominal (V_n)	
	$V_n < 2,3 \text{ kV}$	$2,3 \text{ kV} \leq V_n < 230 \text{ kV}$
FD95%	3,0%	2,0%

Fonte: PRODIST, 2021

O cálculo de FD com base nas medições dos valores absolutos das tensões de linha, representado na Equação 8, foi definido pela CIGRÉ *Congress Internationale des Grand Réseaux Électrique a Haute Tension* - Conselho Internacional de Grandes Sistemas Elétricos) depois que a ONS baseou-se em estudos comparativos com limites diferentes recomendados por outras normas internacionais. O cálculo do CIGRÉ foi o que mais se aproximou da definição formal vista na Equação 6 (POMILIO, 2020, TEODORO, 2005).

3.7. Consequências das tensões desequilibradas

O desequilíbrio pode ser prejudicial no sistema elétrico, diminuindo a capacidade de transmissão de energia através da sequência positiva, aquecimentos adicionais, interferindo na operação de motores de indução, causando um fluxo magnético oposto ao fluxo principal, reduzindo sua eficiência, redução do conjugado disponível e diminuição da vida útil dos equipamentos (IEEE, 2009). Motores de indução trifásico são mais afetados por esse desequilíbrio, uma vez que seu desempenho depende da potência exigida pela carga em um determinado instante assim como a qualidade da rede de distribuição, fatores que podem prejudicar seu desempenho em relação a velocidade, rendimento, conjugado desenvolvido, perdas e elevação de temperatura (TEODORO, 2005).

Motores de indução podem ser utilizados para rotacionar o diesel nos tanque de alimentação responsáveis pelo abastecimento dos geradores empregados no DC, o funcionamento correto sistema de diesel é imprescindível para que o gerador tenha uma maior autonomia utilizando o combustível mais límpido e filtrado possível, diminuindo as chances de indisponibilidade por consequência de um combustível mau manejado pela falha do motor.

Para desequilíbrios de até 1% os fabricantes desses motores garantem a vida útil, a Figura 7 demonstra a perda da vida útil do motor com o aumento do grau de desequilíbrio (ROCHA, 2016).

Figura 7 – Perda da vida útil do motor em razão do desequilíbrio



Fonte: Rocha, 2016

As assimetrias na rede podem ser responsáveis pelo desequilíbrio das tensões, principalmente na distribuição desequilibrada de cargas monofásicas, que de um modo geral são inseridas e retiradas do sistema conforme a necessidade. Não só o consumidor pode influenciar nesse equilíbrio, as linhas de transmissão com suas fases geometricamente distribuídas e diferentes capacitâncias intrínsecas também contribuem.

3.8. Variação de Frequência

Variações de frequência são desvios da frequência aceita como nominal, dependendo da região em que se esteja (60 Hz ou 50 Hz). Estando diretamente relacionada com a velocidade de rotação de geradores no sistema, a frequência depende do balanceamento entre geração e consumo de energia (IEEE, 2009). No Brasil, esses limites são determinados pelo PRODIST, em condições normais de operação o sistema de distribuição e as instalações de geração a esse conectadas devem operar entre 59,9 Hz e 60,1 Hz. Na ocorrência de algum distúrbio no sistema, as instalações de geração devem retornar à frequência em até 30 segundos desde o início do evento.

Caso, para que o retorno ocorra, seja necessário o corte tanto de carga quanto de geração, o Quadro 6 quantifica qual tempo limite a frequência pode variar durante os distúrbios.

Quadro 6 - Limites para valores de frequência

Valores de Frequência	Tempo máximo permitido
Acima de 66 Hz ou abaixo de 56,5 Hz	Não permitido
Acima de 62 Hz	30 segundos
Acima de 63,5 Hz	10 segundos
Abaixo de 58,5 Hz	10 segundos
Abaixo de 57,5 Hz	5 segundos

Fonte: Adaptado de ONS – Submódulo 25.6, 2010

A duração e o tamanho da variação dependem da característica da carga e da resposta do sistema gerador às mudanças de carga na rede. Mudanças instantâneas e pequenas ocorrem continuamente devido a comutação de cargas “locais” muitas vezes nem sendo sentidas pelo sistema de geração (IEEE, 2009).

A ONS surge como órgão que regulador e controlador das operações de geração e transmissão no SIN (Sistema Interligado Nacional), verificando as variações de carga, geração bem como as mudanças topológicas da rede procurando sempre controlar e manter o valor da frequência dentro dos limites estabelecidos no Submódulo 2.8 (ONS, 2010).

3.9. Resumo dos Distúrbios Elétricos

O Quadro 7 ilustra um resumo da maioria das interferências elétricas discutidas neste texto e típico do sistema elétrico.

Quadro 7 - Categorias e características dos distúrbios elétricos

Categoria	Duração	Amplitude de Tensão
Variação de frequência de curta duração		
Instantânea		
Afundamento de tensão	3 s – 1 min	0,1 – 0,9 pu
Elevação de tensão	3 s – 1min	1,1 – 1,2 pu
Interrupção	3s – 1 min	< 0.1 pu
Variação de tensão de longa duração		
Interrupção sustentada	> 1 min	< 0,8 pu
Subtensão	> 1 min	0,8 – 0,9 pu

CONTINUA

Quadro 8 - Categorias e características dos distúrbios elétricos

Sobretensão	> 1 min	1,1 – 1,2 pu
Desequilíbrio de tensão	Regime Permanente	0,5 – 2%
Distorção da forma de onda		
Flutuação de tensão	Intermitente	0,1 – 7%

Fonte: Adaptado IEEE 1159, 2009

4. MEDIDORES DE QUALIDADE DE ENERGIA

De um modo geral os problemas ligados a qualidade de energia são identificados quando algum equipamento deixa de funcionar, lâmpadas cintilando, motores que sofrem vibrações, dispositivos de proteção atuando constantemente, todos esses fatores podem indicar uma pobre QEE. A longo prazo esses problemas podem acarretar tanto prejuízos materiais, quanto problemas para a saúde das pessoas, devido ao incômodo auditivo provocado pelo barulho de vibrações, o incômodo visual devido às variações luminosas.

A fim de se evitar que a descoberta dos problemas ligados a qualidade de energia aconteça de maneira empírica, os medidores de qualidade de energia são utilizados como ferramenta de medição e identificação de quais são os distúrbios que a rede, em que este é instalado, sofre.

No mercado existem inúmeras marcas de medidores de QEE, o que irá definir qual o melhor medidor para um projeto em particular será o objetivo do monitoramento, sendo este desde a simples verificação da tensão entregue para a instalação (IEEE, 2009) ou até estudos mais complexos de monitoramento e acompanhamentos de indisponibilidades do sistema que impactam diretamente no funcionamento de DC com infraestruturas maiores.

Para que o monitoramento tenha os mesmos resultados, dois medidores distintos precisam seguir as normas vigentes sobre a QEE, apresentando, resguardando as devidas precisões, resultados semelhantes neste texto dois deles serão analisados qualitativamente, sendo eles: PSL PQube AC monitor e *Janitza* UMG 512-PRO.

4.1. Importância da medição da qualidade de energia

Existem inúmeras razões e motivações para se monitorar a QEE, a mais relevante é o fator econômico, principalmente se alguma atividade crítica está sendo constantemente afetada pelos fenômenos elétricos (IEEE, 2009).

O pior cenário possível para um DC é a indisponibilidade resultando em impacto para o cliente que contratou aquele serviço, um equipamento afetado por anomalias na rede e por decorrência seu reparo ou substituição que por consequência geram gastos e perda de tempo. A resolução desses problemas pode ser atingida quando, através dos dados obtidos pelos medidores, a tolerância e sensibilidade de uma

máquina possa ser determinada para aquela situação. Isto gera uma referência futura para novos equipamentos que precisam ser inseridos naquela instalação, além de garantir uma maior confiabilidade no funcionamento do equipamento diminuindo problemas que poderiam gerar riscos à saúde e integridade física de pessoas, como operação fora dos parâmetros seguros para máquina ou falhas imprevistas devido ao ambiente (IEEE, 2009).

Outro fator que torna importante o monitoramento da QEE são os relatórios de infraestrutura que uma unidade consumidora pode gerar, incluindo os DC, com dados sobre a qualidade de energia, performance de equipamento, cabeamento, conexões e as características de corrente e tensão em vários pontos da instalação. O monitoramento da energia associado com rondas constantes e checagens em infravermelhos se tornam uma importante fonte de dados para garantir relatórios confiáveis e fiéis à realidade do local.

4.2. Analisador da Qualidade de Energia *Janitza* UMG 512 – PRO

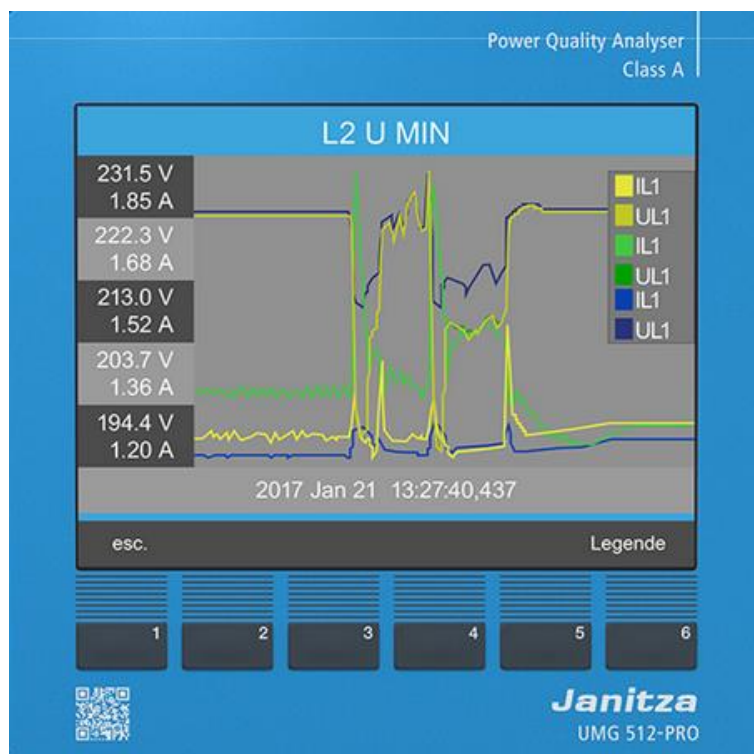
O medidor da *Janitza* tem como característica o monitoramento, registro, análise e documentação de interferências, como harmônicos, desequilíbrio, transientes, quedas e eventos de curta duração de tensão, flutuação, mudanças de fase, potência reativa e variação de frequência. Não requer instalação de *softwares* para receber os dados coletados. O display do medidor permite que o usuário faça configurações de maneira simples, sem uso de computador (ANEXO 2).

Principais características do analisador:

- Medição das sequências positiva, negativa e zero;
- Medição de Flicker
- VTDC (> 10 ms)
- Medição RMS constante
- 512 pontos de medição por período
- Monitoramento de corrente residual
- IHM (Interface Homem Máquina) simples e intuitiva
- Informação disponível via e-mail
- Visualização através de gráficos
- Geração de relatórios

A Figura 8 ilustra a interface do medidor *Janitza 512 – PRO*.

Figura 8 - Analisador de qualidade *Janitza 512 - PRO*



Fonte: *Janitza*, 2022

4.3. Analisador da Qualidade de Energia PSL PQube

O medidor de energia PQube tem como características as medições de qualidade de energia, mostrando os detalhes das formas de onda da energia, como tensão, corrente e frequência. Captura e registra os eventos de interferência, envia e-mail quando algum distúrbio ocorre na rede. Não é necessária a utilização de nenhum *software*, os dados são armazenados no cartão SD (ANEXO1).

Principais características do analisador:

- Memória interna de 16 GB;
- Faixa de medição de corrente de 15 Hz a 440 Hz;
- Comunicação via cabo Ethernet, entrada USB;
- Análise de gráficos por eventos;
- Sensível aos principais distúrbios, flicker, desequilíbrio, frequências etc.

A Figura 9 demonstra a interface do analisador PSL PQube.

Figura 9 - Analisador PSL PQube

Fonte: PQube Manual, 2022

O Quadro 8, que compara ambos os analisadores escolhidos após a análise dos medidores de energia elétrica e suas principais características, obtidas em seus respectivos manuais.

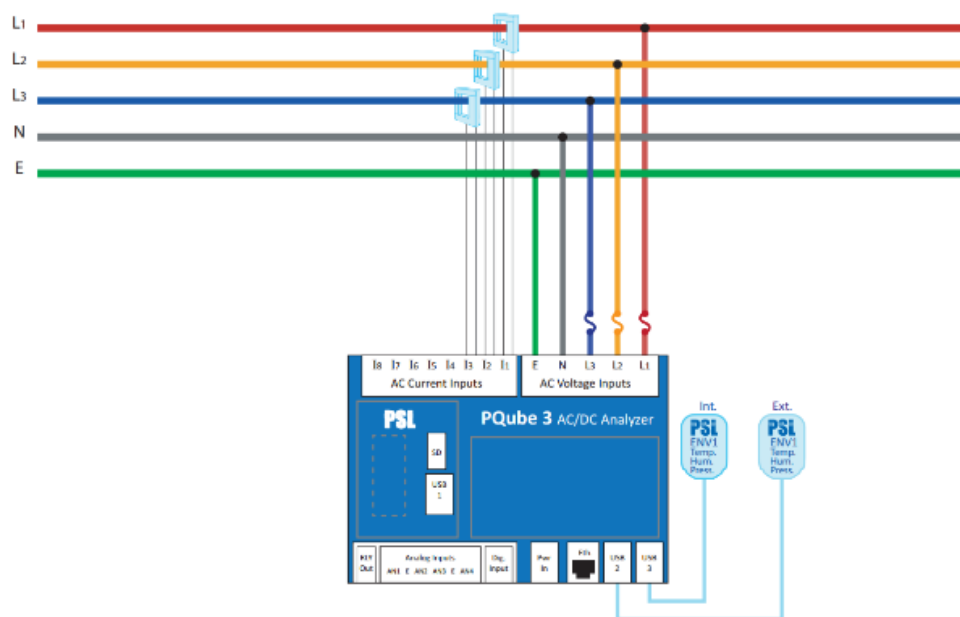
Quadro 9 - Comparativos entre analisadores

Características	Janitza 512 – PRO	PSL PQube
Frequência de amostragem	25,6 kHz/fase	12,8 kHz
Resolução conversor A/D	16 bits	Não especificado
Faixa de medição de tensão	Até 1000 V	Até 1000 V AC e 100 V DC
Faixa de medição de corrente	6000 A	6000 A
Faixa de medição de frequência	15 Hz a 440Hz	40 Hz a 70 Hz e 320 Hz a 56 0Hz
Memória	32 Gb	32 Gb
Alarme	Sim	Sim
Custo	R\$ 32.500,00	R\$ 20.077,00

Fonte: Autora, 2022

Os dados obtidos a seguir foram coletados do analisador de qualidade de energia elétrica da marca Pqube, modelo PSL, instalado em um painel de distribuição de baixa tensão em uma instalação de DC. Por recomendação do fabricante, a instalação foi feita como mostra a Figura 10.

Figura 10 - Ligação do analisador Pqube



Fonte: Pqube manual, 2022

Segundo o PRODIST, as grandezas que serão analisadas podem ser avaliadas por meio de um conjunto de medições feitas de modo apropriado (eventual, amostral ou ininterrupta). As leituras devem ser obtidas por meio de equipamentos de medição que atendam aos seguintes pré-requisitos mínimos:

- Taxa amostral de 16 amostras/ciclo;
- Conversor A/D (analógico/digital) de sinal de tensão de 12 bits;
- Precisão de até 1% da leitura.

As medições eventuais e amostrais deverão compreender o registro de 1008 leituras válidas e obtidas em intervalos de 10 minutos com duração mínima de 168 horas. Para este intervalo de horas é considerado como mês civil quando os dados forem analisados e estudados (PRODIST, 2021). Os manuais de ambos os Analisadores de Qualidade de Energia informam que os equipamentos possuem os padrões de medições em conformidade requerido pela norma.

4.4. Considerações

A metodologia desenvolvida neste trabalho facilitou a obtenção de dados através do analisador da marca PQube, uma vez que a infraestrutura do local encontrava-se funcionando normalmente e sem os problemas que poderiam ser enfrentados durante a instalação.

Objetivo deste texto propunha a análise do medidor *Janitza* 512 PRO de modo que se pudesse fazer a comparação dos dados de ambos, a instalação do analisador *Janitza*, por se tratar de um equipamento novo foi por apenas um período de teste, este foi montado em um painel elétrico não crítico onde os testes poderiam ser realizados, no entanto não foi obtido sucesso. O medidor após a instalação não se comunicou com o usuário via e-mail através do Wi-fi, sendo esta uma configuração crucial para que o monitoramento dos eventos ocorra de maneira instantânea e as ações para mitigar as consequências de tais eventos sejam tomadas de modo que o impacto na infraestrutura e disponibilidade do DC seja nulo ou mínimo.

Uma das soluções proposta, para eliminar o problema, foi que a conexão Wi-fi, até então utilizada para manter a linha de comunicação entre *Janitza* e usuário, fosse feita através de cabo ethernet.

Outra situação com este aparelho em específico foi a qualidade volátil de sua memória interna, como SD cards não são permitidos para armazenamento deste tipo de informação, pois além de se tratar de dados sensíveis pertinentes à empresa e, portanto, confidenciais, qualquer colaborador poderia ter acesso a estas informações se abrisse a frente do painel. Uma alternativa seria colher os dados diretamente do medidor via cabo de rede, proposta esta que seria inviável pois as informações dos eventos seriam observadas apenas quando a medição fosse colhida e não em tempo real, que é o objetivo principal para a instalação destes medidores.

Por se tratar de um teste invasivo, mesmo que realizado em um painel que não atenda carga crítica, após um mês de análise e tentativas para solucionar as dificuldades citadas anteriormente, o analisador não foi usado naquele momento. Desta forma a análise se resume apenas aos dados obtidos pelo PQube.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Durante o ano de 2021 o analisador de qualidade PQube colheu os dados em um painel de distribuição, deixando registrado os valores do período citado. As principais grandezas em análise para o desenvolvimento deste trabalho são:

- I. Frequência;
- II. Variações na tensão de alimentação;
- III. Flicker;
- IV. Variações de tensão;
- V. Interrupções;
- VI. Afundamento de tensão.

A instalação do equipamento foi feita conforme indicado pelo fabricante e exposto na Figura 10. Para o período analisado, entre os dias 01/01/2021 à 31/12/2021, a medição do painel analisado teve por objetivo monitorar a energia que estava sendo entregue a este equipamento. A localização do painel em que os dados foram coletados não pode ser divulgada por se tratar de informações confidenciais que podem gerar quebra de segurança.

Nesse capítulo serão apresentados os dados obtidos através do analisador de energia PQube durante o ano de 2021 e um comparativo dos limites observados com o exposto nas normas vigentes citadas neste texto.

5.1. Resultados das medições

5.2. Frequência

Segundo a ANEEL, a variação da frequência deve estar dentro dos limites inferior de 59,9 Hz e superior de 60,1 Hz, não podendo exceder o valor máximo de 66 Hz e mínimo de 56,5 Hz.

Observando o relatório com dados referentes à frequência, afirma-se que não houve ocorrências extremas na variação da frequência para o período de 2021, os números coletados podem ser observados no Quadro 9.

Quadro 10 - Indicação dos valores de frequência experimentais

Frequência exigida 95% do tempo	PQube	Resultado
Mínima: 59,9 Hz	Mínima: 59,90 Hz	Dentro da norma
Máxima: 60,1 Hz	Máxima: 60,08 Hz	Dentro da norma
Frequência exigida 100% do tempo	PQube	Resultado
Mínima: 56,5 Hz	Mínima: 59,75 Hz	Dentro da norma
Máxima: 66 Hz	Máxima: 60,21 Hz	Dentro da norma

Fonte: Elaborado pela autora, 2022

5.3. Variações da tensão de alimentação entre fase e neutro

A tensão Fase-Neutro (F-N) considerada base é 277 V, a ANEEL limita a variação dessa tensão entre 0.9 pu e 1.1 pu. O valor de limite inferior máximo para o qual a tensão pode chegar, por menos de um minuto sem que seja caracterizada uma interrupção, é de 0,8 pu.

Observando o relatório com os dados referentes à tensão, afirma-se que os valores de tensão se mantiveram dentro dos limites estabelecidos, para o período de 2021. No Quadro 10 pode-se observar os valores mínimos e máximo que o PQube analisou para cada linha da instalação.

Quadro 11 – Indicação dos valores máximos e mínimos de tensão fase-neutro práticos

Exigido (95%)	L1	L2	L3	Resultado
Mínimo: 249,3 V	277,69 V	276,4 V	276 V	Dentro da norma
Máximo: 304,7 V	277,77 V	276,8 V	276,2 V	Dentro da norma
Exigido (100%)	L1	L2	L3	Resultado
Mínimo: 235,45 V	274,23 V	275,8 V	275,8 V	Dentro da norma
Máximo: 304,7 V	278,2 V	277,09 V	279,47 V	Dentro da norma

Fonte: elaborado pela autora, 2022

5.4. Variações da tensão alimentação entre fase e fase

A tensão Fase-Fase (F-F) considerada base é 480 V, a ANEEL limita a variação dessa tensão entre 0.9 pu e 1.1 pu. O valor de limite inferior máximo para o qual a

tensão pode chegar, por menos de um minuto, sem que seja caracterizada uma interrupção é de 0,8 pu.

Observando o relatório com os dados referentes à tensão, afirma-se que os valores de tensão se mantiveram dentro dos limites estabelecidos, para o período de 2021. No Quadro 11 pode-se observar os valores mínimos e máximo que o PQube analisou para cada linha da instalação.

Quadro 12 - Indicação dos valores de tensão fase-fase experimentais

Exigido (95%)	L1	L2	L3	Resultado
Mínimo: 432 V	473,69 V	478,18 V	479,9 V	Dentro da norma
Máximo: 528 V	480,12 V	478,70 V	480,3 V	Dentro da norma
Exigido (100%)	L1	L2	L3	Resultado
Mínimo: 408 V	479,22 V	477,01 V	478,9 V	Dentro da norma
Máximo: 528 V	480,56 V	478,9 V	480,5 V	Dentro da norma

Fonte: Elaborado pela autora, 2022

5.5. Efeito Flicker

Segundo ANEEL, a amplitude da onda de tensão durante esse evento não deve ultrapassar um valor específico de 95% a 105% do tesão nominal, essas flutuações na tensão podem ser percebidas por usuários finais atendidos pela rede em Baixa Tensão (BT) na alteração da intensidade do brilho da iluminação, o que caracteriza o efeito Flicker.

O relatório utilizado para esse efeito considera apenas a severidade da Flutuação de Longa Duração (P_{LT}) em intervalos em um período contínuo de duas horas. Sob condições normais de operação para o nível de tensão no painel de distribuição analisado, o P_{LT} não deve ultrapassar 1 pu. O Quadro 12 ilustra a Flutuação de Longa Duração (P_{LT}) para as três linhas observadas.

Quadro 13 – Indicação dos valores de flutuações de longa duração (Plt) experimentais

Exigido (95%)	L1 P_{LT}	L2 P_{LT}	L3 P_{LT}	Resultado
$P_{LT} \leq 1$	0,05	0,07	0,05	Dentro da norma

Fonte: elaborado pela autora, 2022

5.6. Desequilíbrio de Tensão

A determinação do PRODIST, Módulo 8, regulamenta que o valor de referência nos barramentos do sistema elétrico deve ser igual ou inferior a 2%, tais limites correspondem ao valor desejável para o sistema de distribuição. Tendo em mente os parâmetros propostos para esse efeito, o valor observado no relatório, quanto ao desequilíbrio entre as tensões, manteve-se dentro dos limites desejáveis para o período de 2021, como pode-se observar no Quadro 13 abaixo.

Quadro 14 - Indicação dos valores de desequilíbrio de tensão práticos

Exigido (95%)	Desequilíbrio PQube	Resultado
0% ~ 2%	0,20%	Dentro da norma

Fonte: elaborado pela autora, 2022

5.7. Interrupções

As interrupções de energia são eventos de tensão zero ou menor que 0,1 pu, com duração maiores que um minuto. Para o período de 2021, 01/01/ 2021 00:00 – 12/31/2021 23:59 não houve interrupção na tensão fornecida pela concessionária.

5.8. Afundamento de tensão (Sag)

Afundamentos de tensão são caracterizados pela diminuição da tensão RMS para um nível entre 0,1 e 0,9 pu por durações de tempo que variam por menos de um minuto.

O analisador PQube, para sistemas trifásico, considera o início do afundamento de tensão quando o valor RMS de um ou mais de seus canais de entrada (L1, L2 e

L3) fica abaixo do limite estabelecido, que é de 96.5% do valor nominal, neste instante o medidor começa a contar o tempo inicial do evento. O analisador só irá parar de contar o tempo em que o sistema está com a tensão afundada, quando todas as medidas lidas pelos seus canais de entrada (L1, L2 e L3) forem iguais ou superiores ao limite estabelecido.

Durante o período, os doze piores eventos de *sag* foram selecionados. Dentre eles foram observados cinco eventos com tensão adequada, cinco eventos nos quais a tensão foi classificada como precária e um com tensão crítica. No Quadro 13 abaixo pode-se observar a duração em segundos e o dia em que os afundamentos ocorreram para todos os meses do ano de 2021.

Os limites considerados adequados para análise são de 96.5% (0,96 pu) da tensão nominal, ou seja, para tensão fase-fase o limite é 463,2 V e para tensão fase-neutro o limite é 267,3 V.

Quadro 15 - Indicação dos valores de afundamento de tensão no período de doze meses

Data	Horário	Canal	Duração (s)	Afundamento V
17/01/2021	08:02:09	L1-N	0,017	265,78
09/02/2021	09:16:35	L2-N	0,100	260,32
31/03/2021	10:47:06	L2-L3	0,067	452,10
11/04/2021	09:31:14	L2-L3	0,092	421,87
02/05/2021	07:59:36	L3-N	0,060	252,57
20/06/2021	13:34:57	L1-L2	0,089	425,18
30/07/2021	04:24:25	L3-L1	0,153	439,15
26/08/2021	02:55:42	L1-L2	0,235	438,53
06/09/2021	03:00:52	L1-N	0,309	233,26
31/10/2021	12:13:44	L2-L3	0,092	450,14
04/11/2021	12:29:31	L2-N	0,312	233,68
11/12/2021	12:07:33	L3-N	0,231	248,94

Fonte: elaborado pela autora, 2022

Como pode-se observar no Quadro 14, no ano passado, no dia 06 de setembro ocorreu a menor tensão do ano detectada pelo analisador de qualidade de energia,

classificada como precária de acordo com o PRODIST, Módulo 8, pelo fato de que seu valor ficou abaixo de 87% da tensão nominal fase-neutro considerada que é de 277 V. Pelo fato de que a duração desse *sag* foi menor que um segundo, o sistema conseguiu se recuperar a tempo de evitar uma interrupção momentânea.

5.9. Elevação de tensão (*Swell*)

Elevações de tensão são caracterizadas pelo aumento no valor da tensão acima de 1,1 pu por tempos de até 1 minuto de duração, sendo que normalmente os valores variam entre 1,1 pu e 1,2.

O analisador PQube, para sistemas trifásico, considera o início da elevação de tensão quando o valor de um ou mais de seus canais de entrada (L1, L2 e L3) fica acima do limite estabelecido, que é de 103.5% do valor nominal, neste instante o medidor começa a contar o tempo inicial do evento. O analisador só irá parar de contar o tempo em que o sistema está com a tensão elevada, quando todas as medidas lidas pelos seus canais de entrada (L1, L2 e L3) forem iguais ou inferiores ao limite estabelecido.

Os limites considerados para análise são de 103.5% da tensão nominal, ou seja, para tensão fase-neutro o limite é 286,69 Volts. No Quadro 15 pode-se observar a duração em segundos e o dia em que as elevações ocorreram no ano de 2021.

Quadro 16 - Indicação dos valores de elevação de tensão no ano de 2021

Data	Horário	Canal	Duração (s)	Afundamento V
17/01/2021	08:02:09	L3-N	0,017	287,80
26/01/2021	23:23:01	L2-N	0,323	297
09/02/2021	09:16:35	L3-N	0,309	289,38
30/07/2021	04:24:29	L3-N	0,218	287,49
03/10/2021	22:42:58	L1-N	0,191	286,94
31/10/2021	12:13:4	L3-N	0,017	287,64

Fonte: elaborado pela autora, 2022

Durante o período, foram observados 6 eventos de *swell* ao todo. Dentre eles foram observados cinco eventos com tensão adequada e um com tensão crítica, no dia 9 de fevereiro.

Para o período de 2021, pode-se notar observando os Quadros 14 e 15 que a quantidade de eventos de elevação de tensão é muito menor que os afundamentos registrados no mesmo período, por se tratar de um evento mais difícil de acontecer.

6. CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi analisar os dados da QEE fornecido ao DC através de duas marcas de analisadores de qualidade de energia. Desta forma, o sistema elétrico monitorado gera relatórios que foram avaliados e classificados conforme as normas brasileiras estabelecidas pelo PRODIST. Além do uso de normas suplementares que auxiliaram na análise mais completa de cada evento e a real situação da instalação observada.

A metodologia aplicada foi baseada na prerrogativa da instalação pré-existente, o planejamento adequado para obtenção dos resultados e posterior definição dos distúrbios que a infraestrutura sofreu durante o ano de 2021. O planejamento das medições configurados no medidor mostrou-se eficiente, uma vez que a presença de tais fenômenos foi pontuada com precisão de segundos, no tocante ao tempo, e precisão de centésimos para as grandezas medidas.

Com base na análise dos resultados obtidos, é aconselhável que a distribuição de cargas seja feita de modo adequado a fim de minimizar os desequilíbrios de correntes. Por conta de as medições obtidas terem sido analisadas para uma quantidade pequena de painéis, uma análise mais profunda e abrangente é recomendada, levando em consideração o prédio inteiro e não somente a parte de infraestrutura que mantém a sala do DC. Desse modo, é possível obter um cenário de cargas que englobam outros tipos de carga com características diferentes.

Neste trabalho também foram apresentados alguns fenômenos elétricos responsáveis pela baixa qualidade na energia elétrica entregue no DC, foi possível notar na prática, através da análise dos relatórios, que afundamentos de tensão ocorreram com mais frequência que as elevações de tensão, as variações de frequência.

REFERÊNCIAS

AGALAR, SENER & KAPLAN, YUSUF ALPER, 2018. "**Power quality improvement using STS and DVR in wind energy system**" Renewable Energy, Elsevier, vol. 118(C), pages 1031-1040.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional** - PRODIST. Módulo 8: Qualidade da Energia Elétrica. ANEEL, 2021

ALDABÓ, R. **Qualidade na Energia Elétrica**. São Paulo: Artliber, 2001. 252 p. ISBN 85-88098-02-4.

ALVES, Mário F. **QEE – Qualidade de Energia Elétrica**. Pontifícia Universidade Católica. Belo Horizonte, p. 110. 2010.

ANSI/TIA-942-B. **Standard ANSI/TIA-942**. 2017. Telecommunications infrastructure for *data centers*.

ASHRAE TC 9.9, 2011. **Thermal Guidelines for Data Processing Environments – Expanded Data Center Classes and Usage Guidance**, 2011. American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5410**: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2008.

DUGAN, R. C. SANTOS, MARK F. MCGRANAGHAN E H. WAYNE BEATY. **Electrical Power Systems Quality** - McGraw-Hill, Second Edition, New York, 2002.

FACCIONI FILHO, Mauro. **Conceitos e infraestrutura de Data Centers**. 2016. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/68713305-Conceitos-e-infraestrutura-de-datacenters.html>>. Acesso em: 20 de Agosto de 2022.

HERRLIN, M. K. **Thermal Design of Data Centers to Safeguard Electronic Equipment**, 2010. 22 slides. Disponível em: <http://ancis.us/images/Herrlin_Presentation_3-9-2010.pdf>. Acesso em: 30 de Agosto de 2022

IEEE Std. 1159, 2009. **Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality**. 2009

Manual analisador de qualidade de energia Janitza UGM 512 – PRO. Disponível em: <<https://www.Janitza.com/manuals.html>>. Acesso em: 30 de agosto de 2022

Manual analisador de qualidade de energia PSL PQube AC monitor. Disponível em: <https://bl831.als.lbl.gov/~gmeigs/PDF/PQube_Manual_2.1.pdf> Acesso em: 30 de agosto de 2022.

MARIN, P.S. **Data Centers - Desvendando cada passo: conceitos, projeto, infraestrutura física e eficiência energética**. São Paulo: Editora Érica Saraiva, 2013.

MEHL, Ewaldo L. M. **Qualidade da Energia Elétrica**. Disponível em: < <http://www.eletrica.ufpr.br/mehl/downloads/qualidade-energia.pdf> >. Acesso em: 30 de agosto de 2022.

MERKLE, Ana. **Análise Da Qualidade De Energia**. TCC (Trabalho de Conclusão de Curso) Centro Universitário UNIFACVEST. 2018. Disponível em: < <https://www.unifacvest.edu.br/assets/uploads/files/arquivos/ae12a-merkle,-a.-analise-da-qualidade-de-energia.-tcc,-2018..pdf> > Acesso em 30 de Agosto de 2022

OLIVEIRA, C. C. B; SCHMIDT, H.P; KAGAN, N; ROBBA, E. J . **Introdução a sistemas elétricos de potência: componentes simétricas**. São Paulo: E. Blucher, 2000

ONS. **Indicadores de Qualidade de Energia Elétrica – Frequência e Tensão**. Submódulo 25.6, 2010. Disponível em:<[https://www.ons.org.br/%2FProcedimentosDeRede %2FM%C3%B3dulo%2025%2FSubm%C3%B3dulo%2025.6%2FSubm%C3%B3dulo%2025.6_Rev_1.0.pdf](https://www.ons.org.br/%2FProcedimentosDeRede%2FM%C3%B3dulo%2025%2FSubm%C3%B3dulo%2025.6%2FSubm%C3%B3dulo%2025.6_Rev_1.0.pdf)> Acesso em 24 de maio de 2023.

POLL, Fernando D. C. **Análise de Qualidade da Energia Elétrica em Baixa Tensão: estudo de caso em um Ambiente Universitário**. Universidade Federal do Pampa. Alegrete, p. 91. 2013

POMILIO, José A. **Avaliação da Qualidade da Energia Elétrica** Universidade Estadual de Campinas – Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação. Campinas. 2017.

ROCHA, Joaquim Eloir. **Qualidade de Energia**. 2016. 37f. Monografia (Especialização) – Curso de Engenharia Elétrica, Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016. Disponível em: < <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/9977> > Acesso em 24 de maio de 2023.

Uptime Institute. **Sistema Tier Classification**. Disponível em: <<https://pt.uptimeinstitute.com/tiers> >. Acesso em: 6 de setembro de 2022.

TEODORO, Ricardo A. **Metodologia Para Compensação de Desequilíbrio em Redes Elétricas**. 2005. 84f. Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2005.

ZOTESSO, Evandro Ballero. **Análise da Eficiência Energética e da Qualidade da Energia Elétrica Sob a Ótica da Melhoria das Instalações Elétricas em uma Indústria na Cidade de Toledo – PR**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2019. Disponível em: < <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/24540> > Acesso em 24 de maio de 2023.

Anexos

Em anexo estão os manuais dos analisadores de qualidade de energia estudados neste trabalho, para maiores informações sobre as características individuais de cada medidor entrar nos sites dos fabricantes

POWERSIDE®

All our energy, in your power

PQube® 3r Power Analyser



Control your Processes with 4 Programmable Relays

The PQube 3r is the best choice for protecting sensitive processes that need accurate detection of power disturbances and flexible alarm programming. PQube 3r has 4 built-in programmable relay outputs that can be individually assigned to a specific trigger condition associated to the type or severity of disturbance.

PQube 3r boast an impressive number of standard features including 8 energy metering channels, 4-quadrant metering, alarms, and push reporting.

PQube 3r is easy to install and an accurate poweran alyzer and versatile controller.

Features

- Auto-detects the mains frequency, wiring configuration and nominal voltage
- Connects directly to voltages up to 690 V
- Certified for Class A power quality as per IEC 61000-4-30 Ed3
- Computes 4-quadrant ANSI Class 0.2 revenue-grade energy on 8 single-phase channels
- 4 programmable relay outputs can be assigned to disturbance types
- Monitors DC power and process parameters with four additional AC/DC analog channels
- Detects and records high-frequency impulses at 4 MHz
- Measures in real time and records 2 kHz - 150 kHz emissions
- No software to install, built-in web and email server
- 32 GB of internal flash memory, holds years of data

Results



- Real-time readings via protocols Modbus/TCP, SNMP, BACnet, DNP3.0
- Event recordings and graphs Text, CSV, GIF, and IEEE 1159-3 PQDIF
- Daily, weekly, monthly, trends and graphs Text, CSV, GIF, and IEEE 1159-3 PQDIF

Certificated

UMG 512-PRO

Class A power quality analyser with RCM

