



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

SAULLO RICARDO DO AMARAL SILVA

**ANÁLISE DAS VARIAÇÕES DE TENSÃO DE CURTA DURAÇÃO DO SISTEMA
DE DISTRIBUIÇÃO DA ILHA DE FERNANDO DE NORONHA**

**Recife
2019**

SAULLO RICARDO DO AMARAL SILVA

**ANÁLISE DAS VARIAÇÕES DE TENSÃO DE CURTA DURAÇÃO DO SISTEMA
DE DISTRIBUIÇÃO DA ILHA DE FERNANDO DE NORONHA**

Trabalho de Conclusão do Curso de
Graduação em Engenharia Elétrica da
Universidade Federal de Pernambuco,
como requisito parcial para obtenção do
grau em Engenharia Elétrica.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Milde Maria da Silva Lira.

**Recife
2019**

Catálogo na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

S586a	Silva, Saullo Ricardo do Amaral. Análise das variações de tensão de curta duração do sistema de distribuição da Ilha de Fernando de Noronha / Saullo Ricardo do Amaral Silva. – 2019. 62 folhas, figs., simbs. Orientadora: Profa. Dra. Milde Maria da Silva Lira. TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Departamento de Engenharia Elétrica, 2019. Inclui Referências e Apêndice. 1. Engenharia Elétrica. 2. Afundamento de tensão. 3. Elevação de tensão. 4. Qualidade de energia. 5. PRODIST. 6. Indicador de qualidade de energia. I. Lira, Milde Maria da Silva. (Orientadora). II. Título. UFPE 621.3 CDD (22. ed.) BCTG/2019-260
-------	--

SAULLO RICARDO DO AMARAL SILVA

**ANÁLISE DAS VARIAÇÕES DE TENSÃO DE CURTA DURAÇÃO DO SISTEMA
DE DISTRIBUIÇÃO DA ILHA DE FERNANDO DE NORONHA**

Trabalho de Conclusão do Curso de
Graduação em Engenharia Elétrica da
Universidade Federal de Pernambuco,
como requisito da disciplina de Trabalho
de Conclusão de Curso (EL403).

Aprovado em: 10 / 07 / 2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Milde Maria da Silva Lira (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Ronaldo Ribeiro Barbosa de Aquino (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Otoni Nóbrega Neto (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer aos meus pais, pelo apoio e suporte nos meus estudos e por todos os esforços que fizeram para que eu tivesse a melhor educação. A minha irmã por sempre torcer por mim e por contribuir para o meu crescimento.

A minha noiva, pelo carinho, incentivo e pelos conselhos que me fizeram crescer pessoalmente e profissionalmente. Aos amigos de faculdade pela união nos tempos de estudo e pelos tempos de descontração.

A professora Milde Lira pelas contribuições e observações que me ajudaram a finalizar este trabalho.

RESUMO

A demanda industrial por um fornecimento de energia de qualidade é cada vez maior, o cenário no qual o Setor Elétrico Brasileiro se encontra está cada vez mais dinâmico e complexo, seja com a crescente geração elétrica a partir de fontes renováveis (geração eólica e geração solar), o aumento da geração distribuída ou o aumento da sensibilidade das cargas industriais, fazem com que os Órgãos de regulação exijam padrões adequados quanto à qualidade da energia. Neste trabalho, serão abordados, os problemas de qualidade da energia relacionados às variações de tensão de curta duração (VTCD), para tanto serão apresentados os fenômenos eletromagnéticos associados à esta problemática. Posteriormente, serão explorados regulamentos utilizados em outros países, bem como serão analisados os dados de VTCD coletados no ano de 2013 a partir de um registrador digital de perturbação instalado no barramento da Usina Tubarão, localizada na Ilha de Fernando de Noronha, utilizando a metodologia implementada pela ANEEL.

Palavras-chave: Afundamento de tensão. Elevação de tensão. Qualidade de energia. PRODIST. Indicador de qualidade de energia.

ABSTRACT

The industrial demand for a quality supply of energy is increasing, the scenario in which the Brazilian Electricity Sector is at is getting more and more dynamic and complex, whether with the increasing electricity generation from renewable sources (wind generation and solar generation), the increase of solar distributed generation or the increasing of the sensibility of industrial loads, makes the Regulatory agents demand adequate standards of energy quality. In this work, energy quality problems related to voltage sags and voltage swells will be addressed, for which the electromagnetic phenomena associated with this problem will be presented. Subsequently, regulations used in other countries will be explored. It will be used data collected in 2013 from a digital disturbance recorder installed in the bay of the Tubarão Plant Substation, located on the Island of Fernando de Noronha, applying the methodology used by ANEEL.

Keywords: Voltage sags. Voltage swells. Power quality. PRODIST. Power quality indicator.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ilustração dos principais distúrbios eletromagnéticos na forma de onda da tensão.....	15
Figura 2 – Representação gráfica de uma interrupção de tensão.....	18
Figura 3 – Representação gráfica de um afundamento de tensão.....	19
Figura 4 – Medição instantânea de uma elevação de tensão no sistema de distribuição	20
Figura 5 - Afundamento de tensão com a mesma magnitude e duração	21
Figura 6 – Exemplo de agregação pelo critério da união de fases.....	25
Figura 7 – Exemplo de agregação por parâmetros críticos.....	25
Figura 8 – Exemplo de agregação pela fase crítica	26
Figura 9 – Exemplo de agregação temporal.....	27
Figura 10- Exemplo de caso de agregação temporal.....	27
Figura 11- Exemplo de caso de agregação temporal.....	28
Figura 12 – Curva CBEMA de suportabilidade.....	39
Figura 13 - Curva ITIC de suportabilidade	40
Figura 14 - Curva SEMI F47 de suportabilidade	41
Figura 15 – Diagrama Unifilar da Usina Tubarão 2012	43
Figura 16 – Painel do medidor eletrônico portátil modelo 7600-LRB	44
Figura 17 – Arquivo com os registros do mês de abril/2013	46
Figura 18 – Filtro para agregação de fases.....	47
Figura 19 – Fatores de Impacto mensais da Subestação Tubarão	50
Figura 20 - Eventos de VTCD sobre a curva ITIC	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Categorias e características de fenômenos eletromagnéticos nos sistemas elétricos.....	16
Tabela 2 – Regulamentação da QEE no Brasil	29
Tabela 3 – Classificação das Variações de Tensão de Curta Duração conforme PRODIST	30
Tabela 4 – Estratificação dos parâmetros amplitude e duração para contabilização dos eventos	32
Tabela 5 – Estratificação das VTCD com base na sensibilidade das cargas	33
Tabela 6 – Fatores de Ponderação	34
Tabela 7 – Afundamentos de tensão segundo à EN 50160	35
Tabela 8 – Classificação das elevações de tensão segundo à EN 50160	35
Tabela 9 – Quantificação dos afundamentos de tensão norma NRS 048-2.....	36
Tabela 10 – Frequência característica de afundamentos no ano.....	36
Tabela 11 – Características da carga na Ilha de Fernando de Noronha	43
Tabela 12 – Características da rede de distribuição na Ilha.....	44
Tabela 13 – Sazonalidade das VTCD medidas na Subestação Tubarão em 2013...	48
Tabela 14 – Estratificação dos eventos de VTCD	48
Tabela 15 – Quantidade de VTCD por região de sensibilidade	49
Tabela 16 - 160 registros de VTCD da Usina Tubarão	56
Tabela 17 – 100 registros de VTCD da Usina Tubarão.....	60

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANEEL	Agência Nacional De Energia Elétrica
AP	Audiência Pública
CBEMA	<i>Computer And Business Equipment Manufacturers Association</i>
CELPE	Companhia Energética de Pernambuco
CENELEC	Comité Européu de Normalização Electrónica
CP	Consulta Pública
FI	Fator de Impacto
GD	Geração Distribuída
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IFN	Ilha de Fernando de Noronha
ITIC	<i>Information Technology Industry Council</i>
MME	Ministério de Minas e Energia
NERSA	<i>National Energy Regulator of South Africa</i>
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica
QEE	Qualidade de Energia Elétrica
REI	Redes Elétrica Inteligentes
RDP	Registrador Digital de Perturbação
RMS	<i>Root Mean Square</i>
SARFI	<i>System Average RMS Frequency Index</i>
SEMI	<i>Semiconductor Equipment and Materials Institute</i>
SEP	Sistema Elétrico de Potência
SIN	Sistema Interligado Nacional
TI	Tecnologia da Informação
UC	Unidade Consumidora
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
VTCD	Variações de Tensão de Curta Duração

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVO GERAL.....	13
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
1.3	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	14
2	VARIAÇÕES DE TENSÃO DE CURTA DURAÇÃO	15
2.1	INTERRUPÇÕES MOMENTÂNEAS E TEMPORÁRIAS DE TENSÃO	17
2.2	AFUNDAMENTO DE TENSÃO (SAGS OU DIPS)	18
2.3	ELEVAÇÃO DE TENSÃO (SWELL)	20
2.4	CARACTERIZAÇÃO DAS VTCD.....	21
2.4.1	Magnitude das VTCD	22
2.4.2	Duração das VTCD	23
2.4.3	Agregação de eventos	23
2.4.3.1	Agregação de fases.....	24
2.4.3.2	Agregação temporal	26
3	REGULAÇÃO DO SETOR ELÉTRICO E OUTROS INDICADORES	29
3.1	PRODIST.....	30
3.1.1	Definição	31
3.1.2	Caracterização	32
3.1.3	Fator de Impacto	33
3.2	EUROPA: CENELEC EN 50160 – 2010.....	35
3.3	ÁFRICA DO SUL: NRS 048-2	36
3.4	SARFI.....	37
3.5	CURVAS DE SUPORTABILIDADE	38
3.5.1	CBEMA	38
3.5.2	ITIC	40
3.5.3	SEMI	40
4	RESULTADOS DAS MEDIÇÕES E ADERÊNCIA REGULATÓRIA.....	42
4.1	CARACTERÍSTICAS DA IFN E DO REGISTRADOR DIGITAL DE PERTURBAÇÃO	42
4.1.1	Características da IFN	42
4.1.2	Características do registrador digital de perturbação	44

4.2	ANÁLISE DAS MEDIÇÕES	45
4.3	TRATAMENTO E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	46
4.4	ANÁLISE DO FATOR DE IMPACTO.....	48
4.5	CURVA ITIC	51
5	CONCLUSÃO E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	52
5.1	CONCLUSÃO	52
5.2	SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	53
	REFERÊNCIAS.....	54
	APÊNDICE A – REGISTROS DO RDP.....	56

1 INTRODUÇÃO

O termo Qualidade da Energia Elétrica (QEE) define um conjunto de parâmetros que indicam, qualitativamente e quantitativamente, os critérios ideais para o fornecimento de energia. Estes parâmetros estão relacionados a distorções harmônicas, variações de frequência, flutuações e desequilíbrios de tensão, bem como as variações de tensão de curta duração (VTCD) o qual é o objetivo do presente estudo.

Atualmente a humanidade consome tecnologia de uma forma nunca antes vista e para atender à crescente demanda, o setor industrial e comercial investe cada vez mais em automação. Do ponto de vista econômico e financeiro, a busca pela modernização das fábricas e o desenvolvimento sustentável é totalmente benéfica, porém, com a mudança no perfil das cargas surgiram novas preocupações acerca do fornecimento de energia elétrica, principalmente relacionados à QEE.

Para o novo cenário do sistema elétrico, perturbações que até os anos 80 passavam despercebidas, hoje têm grande relevância no lucro das empresas, uma vez que grande parte dos equipamentos elétricos são sensíveis a variações bruscas de corrente e tensão, bem como a presença de componentes harmônicas. Um estudo publicado em 2012, observou que em uma Indústria farmacêutica localizada no Nordeste do Brasil, o prejuízo financeiro ocasionado por problemas de QEE foi de US\$ 250.000 a cada hora (MELO, 2012).

Além das cargas mais sensíveis, um grande gerador de distúrbios na tensão são os dispositivos de potência chaveados eletronicamente, no âmbito do Sistema Interligado Nacional (SIN), o chaveamento por eletrônica de potência está presente principalmente na geração solar e eólica de energia. Segundo o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), órgão responsável pelo controle das operações de geração e transmissão no SIN, em 2018 a capacidade instalada de geração solar foi de 1,7 GW e 14,1 GW para a geração eólica, que juntas representaram cerca de 10% da capacidade de geração total para o período. As perspectivas do setor é que a parcela da geração por energias renováveis aumente cada vez mais, o que aumentará, também, a fragilidade dos sistemas de alta tensão à problemas de QEE (VILCHEZ, 2008).

Outra fonte de distúrbios provém da Geração Distribuída (GD), trata-se, em sua grande maioria, na geração solar residencial limitada pela Agência Reguladora de Energia Elétrica (ANEEL) à 5 MW de potência instalada. O impacto da GD no sistema elétrico é maior na baixa tensão, onde, a depender da situação, podem causar sobretensões acima dos limites regulatórios (QUIROGA, 2016). Atualmente, apenas no Estado de Pernambuco, encontram-se ligadas à rede de distribuição cerca de 1.246 GDs, correspondendo à 21.7 GW de potência instalada (ANEEL, 2019).

Apesar de ser um tema bastante discutido e já ter sido objeto de vários estudos, os problemas relacionados à QEE, do ponto de vista apresentado anteriormente, mostra-se um tema atual e de grande importância.

1.1 OBJETIVO GERAL

O presente Trabalho tem como objetivo geral utilizar o indicador Fator de Impacto para analisar as Variações de Tensão de Curta Duração do sistema de distribuição de energia isolado da Ilha de Fernando de Noronha (IFN), e assim, inferir sobre a qualidade do fornecimento da Ilha.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O Fator de Impacto surgiu no Módulo 8 do PRODIST, regulamento que trata da qualidade do produto, ano de 2017, por meio de uma alteração neste Módulo 8. A partir daí, são objetivo específicos deste Trabalho:

- Estudo da literatura, a fim de obter embasamento sobre os problemas de Qualidade de Energia relacionados às VTCD;
- Apresentar o Regulamento Brasileiro de VTCD para a distribuição de energia;
- Apresentar os regulamentos utilizados em outros países;
- Apresentar os principais indicadores de sensibilidade à VTCD; e
- Aplicar a metodologia do PRODIST às medições de VTCD da Ilha de Fernando de Noronha, a fim de analisar a qualidade da distribuição.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho, observando-se o que foi descrito no item anterior, está dividido da seguinte maneira:

O Capítulo 1 apresentou um panorama geral do SEP e a relevância dos estudos relacionados à VTCD e também apresentou os objetivos deste trabalho.

O Capítulo 2 irá apresentar os conceitos e problemas associados às variações de tensão de curta duração, bem como, apresentar as maneiras de caracterizar estes eventos.

O Capítulo 3 irá apresentar as principais normas relacionadas à caracterização de VTCD bem como a Regulamentação vigente para a distribuição no Brasil, com a apresentação do Fator de Impacto (FI). Será explorado, também, a respeito das curvas de tolerância dos equipamentos.

O Capítulo 4 irá apresentar a análise dos dados referente aos registros das VTCD e a comparação dos mesmos com a regulamentação vigente, comparando os indicadores calculados com os valores esperados pelo Módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST).

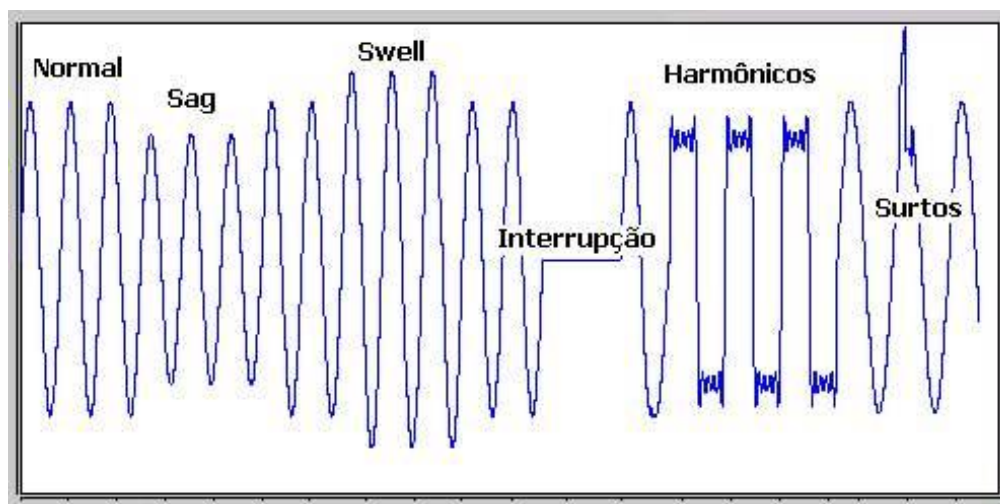
No Capítulo 5 serão apresentadas as conclusões do trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

2 VARIAÇÕES DE TENSÃO DE CURTA DURAÇÃO

Dentre as perturbações eletromagnéticas que acometem os sistemas elétricos de potência, aquelas associadas à QEE, como visto anteriormente, são de grande importância financeira para o setor industrial. A literatura que trata destes fenômenos é bastante consolidada, assim, neste Capítulo será exposto de maneira sucinta os fenômenos relacionados às VTCD, fenômenos dos quais relacionam a duração e a magnitude de afundamentos e elevações da forma de onda da tensão.

As perturbações eletromagnéticas ilustradas na Figura 1, identificam, de maneira genérica, como cada evento pode ser reconhecido a partir de sua forma de onda de tensão. Nesta Figura temos a representação do afundamento (sag – termo utilizado em literatura estrangeira), elevação (swell – termo utilizado em literatura estrangeira) e interrupção de tensão, a presença de distorções harmônicas e surtos transitórios.

Figura 1 – Ilustração dos principais distúrbios eletromagnéticos na forma de onda da tensão



Fonte: Google, 2019.

A Tabela 1 dispõe dos fenômenos eletromagnéticos classificados de acordo com os valores de amplitude e duração de cada distúrbio. A partir desta classificação é possível interpretar as medições, identificar os distúrbios encontrados e, assim, descrever os problemas de QEE.

Os fenômenos associados às VTCD são subclassificados, de acordo com a duração e magnitude do evento. A subclassificação é utilizada, uma vez que a depender das características dos eventos, existem diferentes formas de trata-los. Assim, as VTCD podem ser: variações instantâneas, momentâneas e temporárias de tensão (IEEE, 2009).

Tabela 1 – Categorias e características de fenômenos eletromagnéticos nos sistemas elétricos

Categoria	Conteúdo Espectral Típico	Duração Típica	Amplitude de Tensão Típica
1.0 – Transitórios			
1.1 – Impulsivo			
1.1.1 – Nanosegundo	5 ns	< 50 ns	
1.1.2 – Microsegundo	1 μ s	50 ns – 1 ms	
1.1.3 – Milisegundo	0,1 ms	> 1 ms	
1.2 – Oscilatórios			
1.2.1 – Baixa Frequência	< 5 kHz	3 – 50 ms	0,4 pu
1.2.2 – Média Frequência	5 – 500 kHz	20 μ s	0,4 pu
1.2.3 – Alta Frequência	0,5 – 5 MHz	5 μ s	0,4 pu
2.0 – Variações de Tensão de Curta Duração			
2.1 – Instantânea			
2.1.1 – Interrupção		0,5 – 30 ciclos	< 0,1 pu
2.1.2 – Afundamento de Tensão		0,5 – 30 ciclos	0,1 – 0,9 pu
2.1.3 – Elevação de Tensão		0,5 – 30 ciclos	1,1 – 1,8 pu
2.2 – Momentânea			
2.2.1 – Interrupção		30 ciclos – 3 s	< 0,1 pu
2.2.2 – Afundamento de Tensão		30 ciclos – 3 s	0,1 – 0,9 pu
2.2.3 – Elevação de Tensão		30 ciclos – 3 s	1,1 – 1,4 pu
2.3 – Temporária			
2.3.1 – Interrupção		3 s – 1 minuto	< 0,1 pu
2.3.2 – Afundamento de Tensão		3 s – 1 minuto	0,1 – 0,9 pu
2.3.3 – Elevação de Tensão		3 s – 1 minuto	1,1 – 1,2 pu
3.0 – Variação de Tensão de Longa Duração			
3.1 – Interrupção Sustentada		> 1 minuto	0,0 pu
3.2 – Subtensão Sustentada		> 1 minuto	0,8 – 0,9 pu
3.3 – Sobreensão Sustentada		> 1 minuto	1,1 – 1,2 pu
4.0 – Desequilíbrio de Tensão		Regime permanente	0,5 – 2%
5.0 – Distorções de Forma de Onda			
5.1 – Nível CC		Regime permanente	0 – 0,1%

5.2 – Harmônicos	De ordem 0 – 100	Regime permanente	0 – 20%
5.3 – Inter-harmônicos	0 – 6 kHz	Regime permanente	0 – 2%
5.4 – <i>Notching</i>		Regime permanente	
5.5 – Ruídos	Faixa ampla	Regime permanente	0 – 1%
6.0 – Flutuação de Tensão	< 25 Hz	Intermitente	0,1 – 7%
7.0 – Variação de Frequência do Sistema		< 10 s	

Fonte: IEEE, 2009.

Em geral, classifica-se como VTCD os eventos de afundamento e elevação de tensão com duração de $\frac{1}{2}$ ciclo a alguns minutos, a depender da norma considerada. Eventos com duração menor que $\frac{1}{2}$ ciclo, os transitórios, são mais complexos e difíceis de tipificar e medir.

As principais causas das VTCD estão relacionadas a ocorrência de curto circuito monofásico, energização de grandes cargas no qual são demandadas altas correntes de partida, falha na conexão de cabos, eventos climáticos e manobras de grandes cargas (DUNGAN, 2004).

2.1 INTERRUPÇÕES MOMENTÂNEAS E TEMPORÁRIAS DE TENSÃO

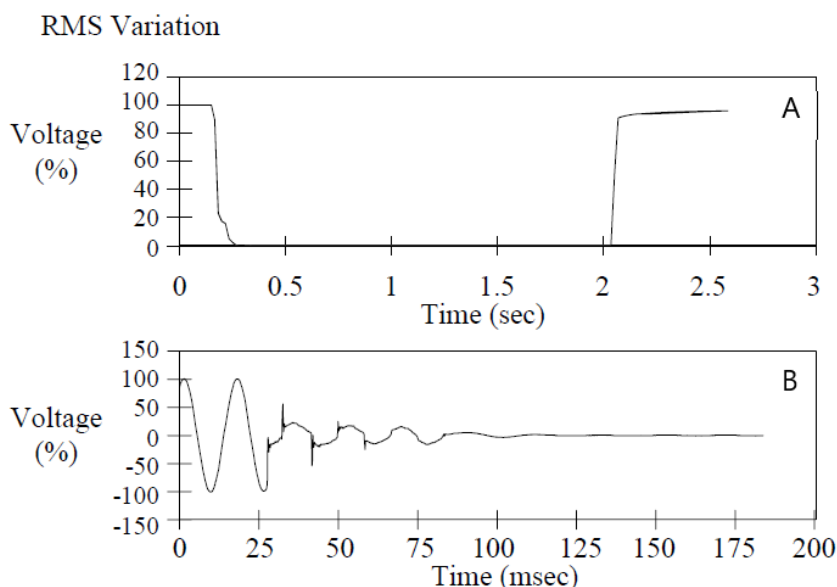
As interrupções ocorrem quando a corrente de carga ou a voltagem no barramento analisado, atingem valores menores que 10% do valor nominal por um período menor que 1 minuto. A depender do normativo utilizado como base na análise, o período necessário para caracterizar uma interrupção pode variar, como será visto no próximo Capítulo.

As interrupções podem ocorrer após um afundamento, causado por uma condição de falta no SEP, na qual após a atuação do sistema de proteção para mitigação do defeito, e a sucessiva atuação dos religadores, restabelecendo o fornecimento de energia para o sistema (DUNGAN, 2004). Nos gráficos da Figura 2, é possível observar ambas as curvas de tensão eficaz (gráfico A) e tensão instantânea (gráfico B) do afundamento de tensão seguido de uma interrupção momentânea de tensão com duração de aproximadamente 1,8 s, até a ação dos religadores.

A preocupação com as interrupções momentâneas e instantâneas de tensão são motivadas pela quantidade de faltas temporárias no SEP causadas pelo uso de religadores (monopolares e tripolares) nos sistemas de transmissão e o investimento

em Self-Healing (utilização de chaves e/ou religadores automatizados) pelas distribuidoras de energia elétrica, bem como, o impacto gerado por essas interrupções no fornecimento contínuo dos novos modelos de carga, comentados no Capítulo 1.

Figura 2 – Representação gráfica de uma interrupção de tensão



Fonte: IEEE, 2009.

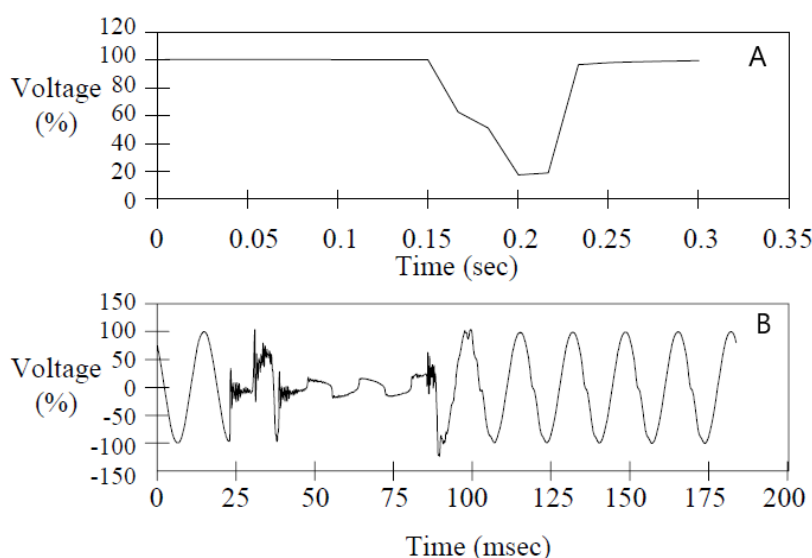
2.2 AFUNDAMENTO DE TENSÃO (SAGS OU DIPS)

O afundamento de tensão ocorre quando há o decaimento da forma de onda do valor eficaz da tensão ou da corrente em 10% a 90% do seu valor nominal, com duração de 0,5 ciclos da frequência industrial à 1 minuto. A classificação do evento de afundamento de tensão a partir da sua duração, assim como o de interrupção podem variar conforme a norma utilizada na análise.

Na Figura 3, o gráfico A, representa a curva da tensão eficaz registrada durante um decaimento de 80% da tensão nominal (ou seja, a tensão remanescente do sistema é de 0,2 pu) e duração aproximada de 3 ciclos da frequência industrial, sendo caracterizado, de acordo com a Norma IEEE 1159 – 2009, como um afundamento instantâneo. O gráfico B corresponde a forma de onda instantânea da tensão durante o evento.

A terminologia utilizada para descrever a amplitude do afundamento pode mudar conforme a definição da norma utilizada, por exemplo, um afundamento de 20% pu pode ser interpretado como um afundamento que resulta em 0,2 ou 0,8 pu de tensão. Em geral, na falta de especificação da referência, usa-se como terminologia para afundamentos o valor da tensão remanescente (IEEE, 2009). No próximo capítulo, ao explorar alguns normativos, será identificado a terminologia utilizada pelos mesmos.

Figura 3 – Representação gráfica de um afundamento de tensão



Fonte: IEEE, 2009.

Afundamentos de tensão, em sua maioria, são causados por curto circuitos no sistema elétrico e têm sua duração diretamente relacionada ao tempo em que a proteção eliminará o defeito, o que acontece mais rápido nos sistemas de transmissão do que nos sistemas de distribuição (BINGHAM, 1998).

Outros fatores também podem causar afundamentos no sistema, a energização de grandes cargas e partida de grandes motores, principalmente quando utilizado técnicas onde a corrente de partida é bastante elevada, podem submeter o sistema à problemas de afundamento de tensão (DUNGAN, 2004).

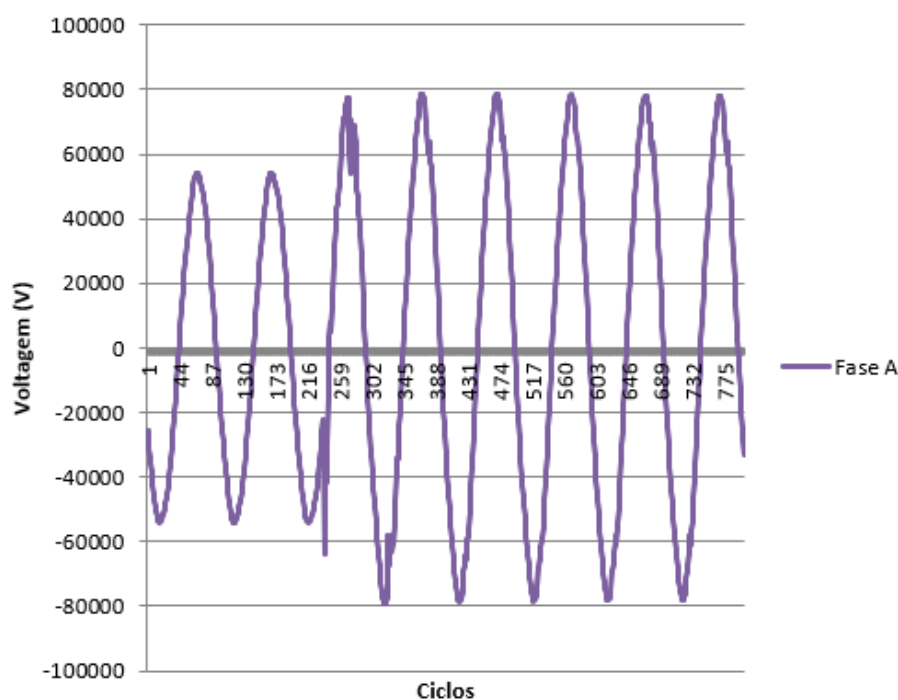
2.3 ELEVAÇÃO DE TENSÃO (SWELL)

As elevações de tensão, ou *swells*, ocorrem quando o valor eficaz da tensão aumenta em valores acima de 10% do valor nominal da tensão, com duração de 0,5 ciclos da frequência industrial à 1 minuto. A duração do evento de elevação de tensão pode mudar conforme a norma utilizada na análise.

Assim como os fenômenos eletromagnéticos vistos anteriormente, as elevações de tensão estão comumente associadas a condições de curto circuito no sistema elétrico. A severidade da elevação de tensão depende do ponto de falta, da impedância e do tipo de aterramento utilizado. Em sistemas sem aterramento, ou com aterramento realizado por alta impedância, os níveis de sobretensão devido à curtos monofásicos podem chegar a até 1,73 pu (DUNGAN, 2004).

A Figura 4 representa uma medição instantânea da tensão do barramento de 69 kV de uma subestação de uma distribuidora do Nordeste. Na Figura, é possível observar a ocorrência de uma elevação de tensão na Fase A.

Figura 4 – Medição instantânea de uma elevação de tensão no sistema de distribuição



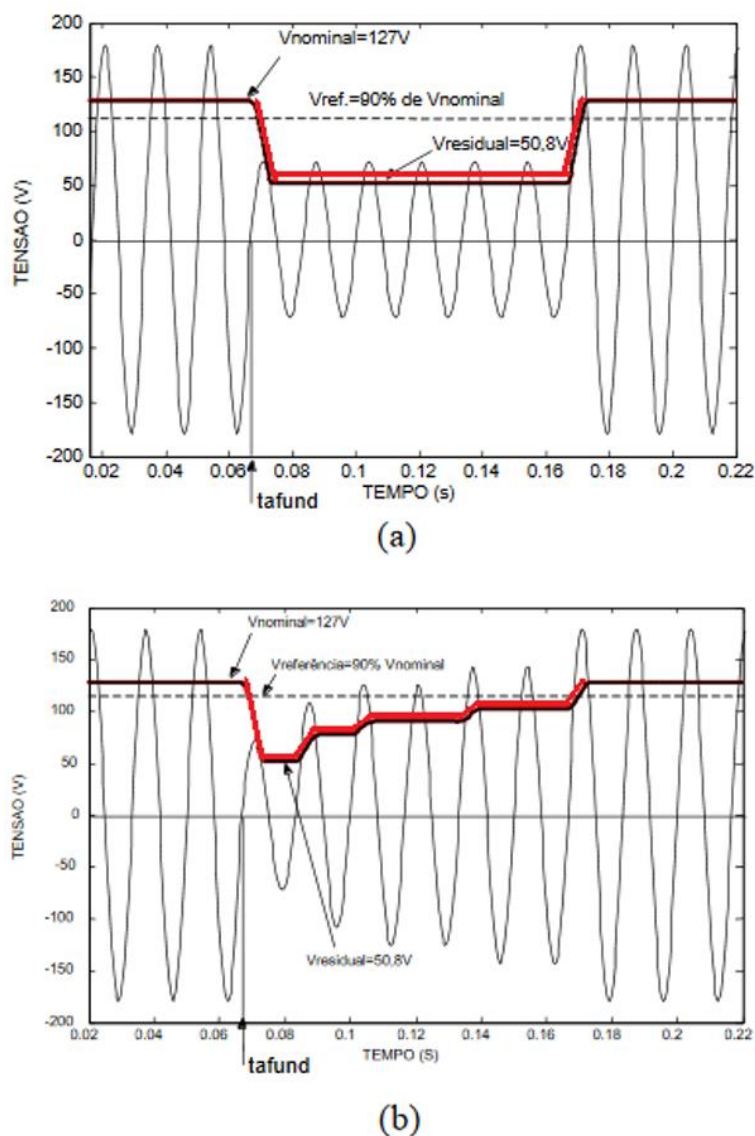
Fonte: O Autor, 2019.

2.4 CARACTERIZAÇÃO DAS VTCD

De maneira geral, os eventos de VTCD são caracterizados pela magnitude e duração do evento, que como será apresentado no próximo capítulo são maneiras usuais de se avaliar tais fenômenos e estatisticamente representam um método adequado de avaliação (IEEE, 2009).

Por outro lado, eventos com as mesmas magnitude e duração podem apresentar-se com formas de onda diferentes, a Figura 5 exemplifica esta situação, onde há a representação de um afundamento retangular e, Figura 5 (b), a representação de um evento com perfil irregular (POMILIO e DECKMANN, 2010).

Figura 5 - Afundamento de tensão com a mesma magnitude e duração



Fonte: Adaptado de Pomilio e Deckmann, 2010.

Do exposto, cargas com diferentes sensibilidades, poderiam apresentar problemáticas diferentes, a depender da forma de onda do evento. Além da forma de onda, parâmetros como o desequilíbrio, deslocamento angular ou salto do ângulo de fase podem gerar diferentes problemas (POMILIO e DECKMANN, 2010).

2.4.1 Magnitude das VTCD

Apesar de ser um parâmetro básico, a magnitude das VTCD é definida de maneira diferente nos principais normativos do mundo. Ambas as definições utilizam o valor eficaz ou RMS (do inglês *root mean square*) da tensão.

O *International Electrotechnical Commission* – IEC em sua Norma 61000-4-30, define a magnitude (ou profundidade, neste caso) do evento de VTCD como a diferença entre a tensão residual do afundamento e a tensão nominal do sistema estudado comparada à tensão nominal, conforme a equação (2.1). Quando o fenômeno estudado é uma elevação de tensão, deve-se inverter os termos do numerado da equação (2.1) (IEC, 2008).

$$\Delta V_{mag} = \frac{V_n - V_{res}}{V_n} (pu) \quad (2.1)$$

onde:

ΔV_{mag} corresponde à magnitude do evento;

V_n corresponde à tensão nominal do sistema;

V_{res} corresponde à tensão residual (tensão mais baixa do afundamento).

Assim como a IEC 61000-4-30, a norma NRS 048-02 da África do Sul, também utiliza a profundidade como terminologia para os eventos de VTCD (NRS, 2003).

Já para o IEEE, a magnitude dos eventos de VTCD é definida como a tensão residual do afundamento ou elevação comparada a tensão nominal, conforme equação (2.2) (IEEE, 2009).

$$V_{mag} = \frac{V_{res}}{V_n} (pu) \quad (2.2)$$

Conforme será apresentado no próximo capítulo esta é a maneira na qual a ANEEL, por meio do PRODIST define a magnitude dos eventos de VTCD (ANEEL, 2017).

2.4.2 Duração das VTCD

A duração da VTCD é definida como o intervalo de tempo decorrido entre o instante em que a tensão eficaz ultrapassa o limite de referência e o instante em que a tensão volta a cruzar esse limite, retornando à condição normal de operação.

Alguns equipamentos possuem a possibilidade de parametrização da medição de modo a permitirem a adoção de uma pequena diferença entre o valor de referência de início e término da VTCD, este intervalo é chamado de histerese. No estudo de QEE, histerese representa um limite um pouco maior (ou menor, no caso das Elevações Momentâneas de Tensão) para identificação do instante final do evento. A importância deste intervalo de tempo se dá na ocorrência de registros onde a tensão oscila entre o limite de identificação do instante final do evento, assim, para evitar uma caracterização equivocada de múltiplos eventos (quando na verdade trata-se de 1 evento de VTCD) utiliza-se da histerese (MACEDO JR, 2017).

O PRODIST recomenda que os equipamentos de medição atendam aos requisitos estabelecidos na IEC 61000-4-30, no qual estabelece como valor típico de histerese para medidores de QEE, 2% da tensão de referência (ANEEL, 2017).

2.4.3 Agregação de eventos

Os equipamentos registradores de VTCD, em geral, devido as características do sistema elétrico, realizam o monitoramento utilizando canais que registram as grandezas de tensão em função do tempo para cada uma das fases do sistema. Alguns registradores podem conter um canal de medição a mais, onde é registrado a tensão fase-terra.

Antes de proceder com qualquer análise sobre VTCD é importante realizar a agregação dos registros trifásicos. No capítulo 3, será abordada a maneira de realizar análise do PRODIST, sendo assim, neste tópico, será dado ênfase nos processos recomendados pela ANEEL antes de realizar a estratificação dos dados.

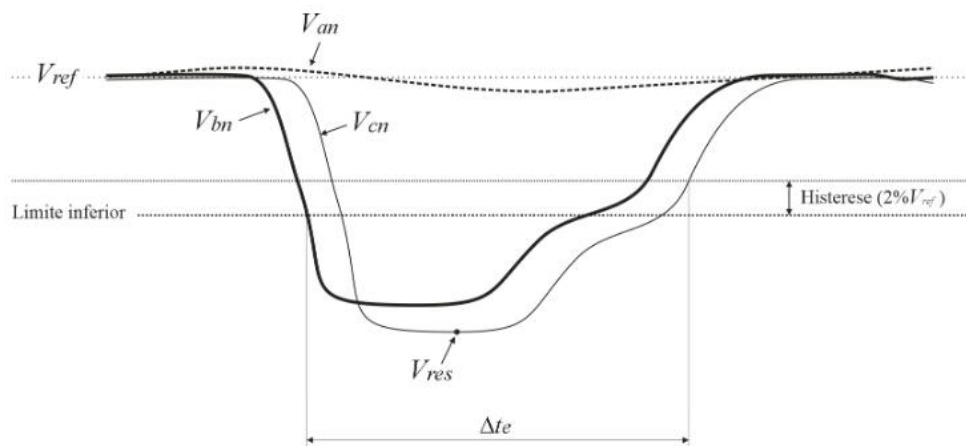
O PRODIST estabelece que eventos simultâneos e/ou consecutivos, registrados em um determinado ponto do sistema, devem ser agregados de forma a caracterizar um único evento de VTCD. Segundo o Normativo, os eventos registrados devem ser agregados de duas maneiras: agregação de fases e agregação temporal (ANEEL, 2017).

2.4.3.1 Agregação de fases

A agregação de fases, estabelece que uma VTCD deve ser caracterizada a partir da agregação da amplitude e da duração dos eventos individuais registrados em cada fase. Desta forma, eventos simultâneos são primeiramente agregados compondo um mesmo evento no ponto de monitoração. Segundo o PRODIST, a agregação de fase deve ser feita seguindo um dos critérios:

- **Agregação de fases pelo critério da união de fases:** quando o sistema de monitoração possuir múltiplos canais de registro como, por exemplo, sistema trifásico, a amplitude do evento agregado será definida pela tensão residual da fase com maior desvio em relação à tensão de referência. O instante de início do evento agregado será o instante no qual a primeira das fases ultrapassa o limite estabelecido. O instante final do evento agregado será o instante no qual a última das fases volta a transpor o mesmo limite, acrescido da histerese. A duração do evento agregado, portanto, será a diferença entre esses dois instantes, conforme ilustrado na Figura 6.

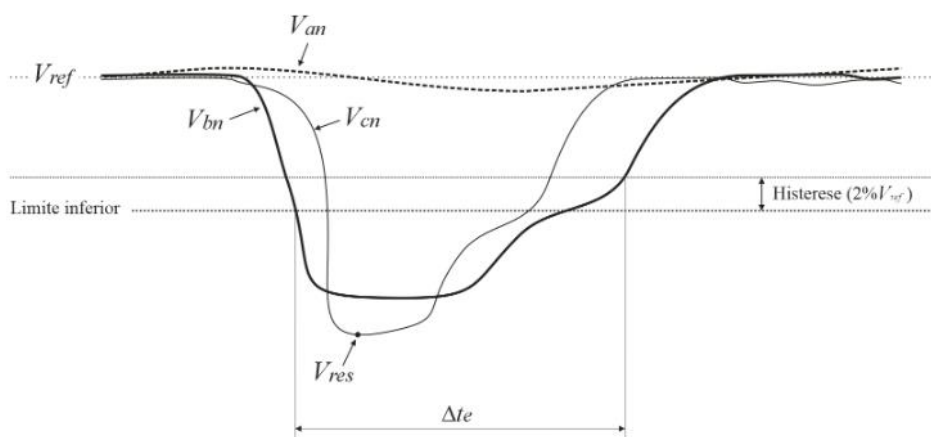
Figura 6 – Exemplo de agregação pelo critério da união de fases



Fonte: Macedo Jr., 2017.

- **Agregação por parâmetros críticos:** considerando um registro trifásico, simultâneo em um mesmo ponto de monitoramento, para este critério a duração do evento é definida como a máxima duração entre todos os eventos e a magnitude será a amplitude do evento que mais se distanciou da tensão de referência, conforme Figura 7.

Figura 7 – Exemplo de agregação por parâmetros críticos

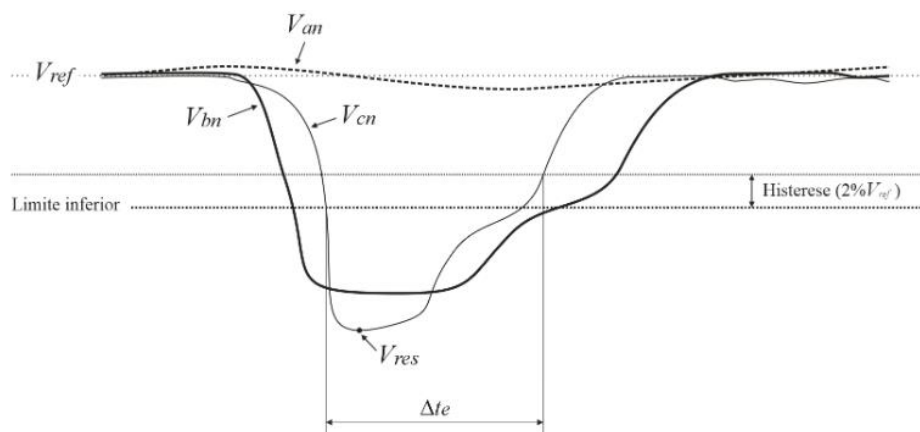


Fonte: Macedo Jr., 2017.

- **Agregação pela fase crítica:** considerando um registro trifásico, simultâneo em um mesmo ponto de monitoramento, para este critério a duração do evento é definida como a duração do evento de amplitude crítica, ou seja,

amplitude mínima para afundamento e máxima para elevação, conforme Figura 8.

Figura 8 – Exemplo de agregação pela fase crítica



Fonte: Macedo Jr., 2017.

Para eventos simultâneos de elevação e afundamento de tensão, ou seja, dentre as medições dos três canais que representam as medições de tensão e função do tempo para as três fases do sistema, caso exista, no mesmo registro a situação onde para uma das fases há a ocorrência de uma elevação e para outra fase há a ocorrência de um afundamento, os dois fenômenos devem compor eventos separados (MACEDO JR, 2017).

A terminologia utilizada para afundamento é a mesma definida no PRODIST, conforme Equação (2.2).

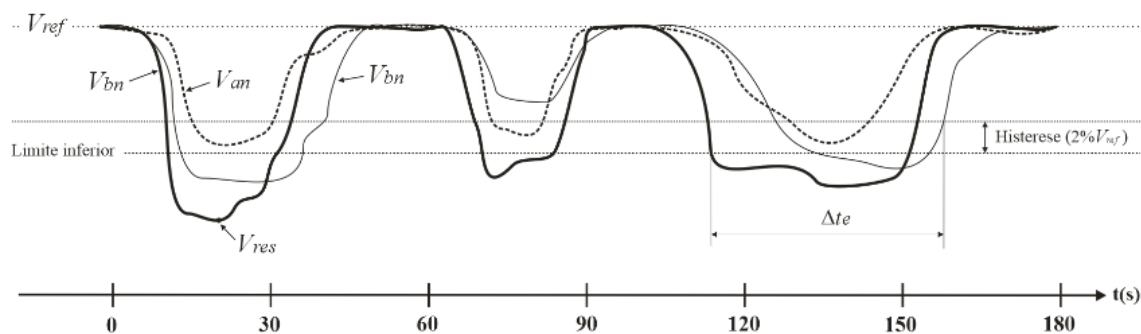
Na Rede Básica, os Procedimentos de Rede do ONS, determinam que a agregação de fases deve ser efetuada pelo critério da união de fases (ONS, 2016).

2.4.3.2 Agregação temporal

A agregação temporal considera que eventos consecutivos, em um período de 3 (três) minutos, para um mesmo ponto de monitoração, deverão ser agregados compondo um único evento de VTCD. Um exemplo desta agregação ocorre na rede de distribuição, onde os eventos consecutivos associados a religamentos automáticos na rede compõem um único evento.

Para esta agregação, o afundamento ou a elevação de tensão que representa o intervalo de três minutos é o de menor ou de maior amplitude da tensão, respectivamente. A Figura 9 ilustra um caso de agregação temporal conforme orientações do PRODIST.

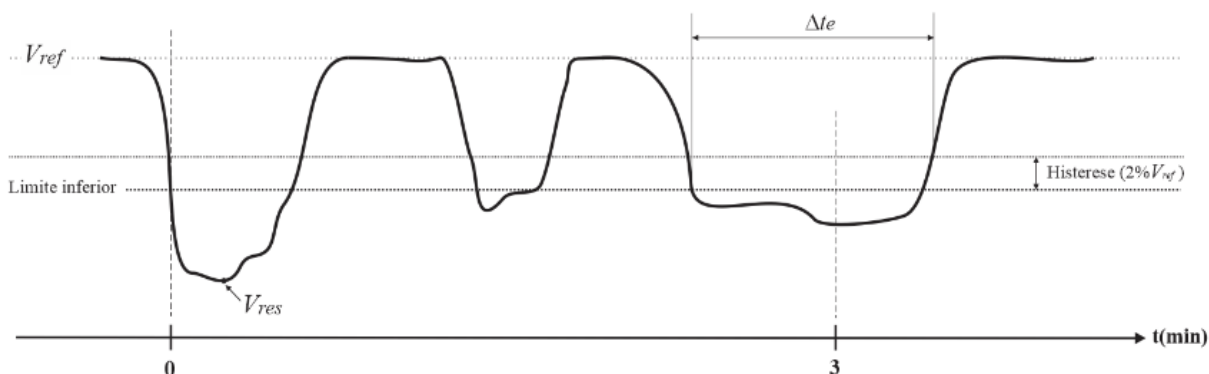
Figura 9 – Exemplo de agregação temporal



Fonte: Macedo Jr., 2017.

Há ainda os casos onde a sequência de eventos ultrapassa a janela de 3 minutos, temos então o caso da Figura 10, onde o final da janela de 3 minutos coincide com um evento de VTCD, para esta situação o último evento deverá ser contabilizado ainda que ultrapasse o limite de 3 minutos, tendo assim, ocorrido uma agregação temporal.

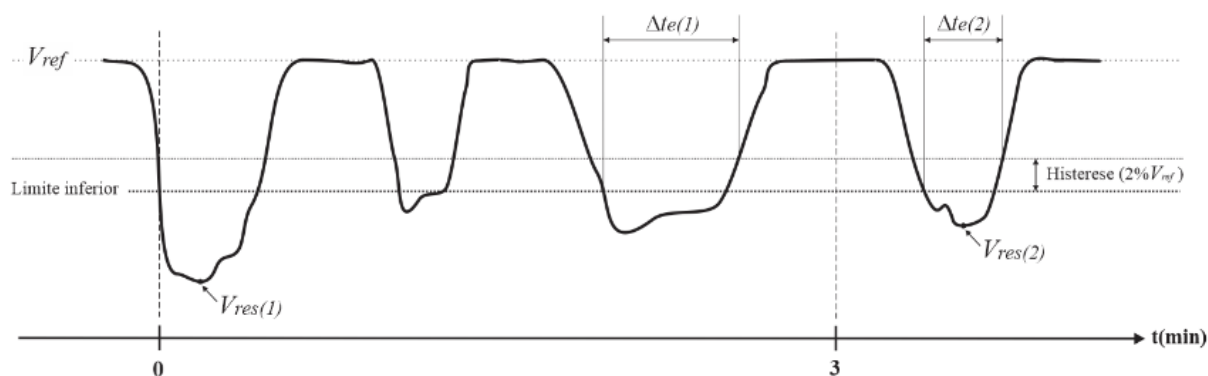
Figura 10 – Exemplo de caso de agregação temporal



Fonte: Macedo Jr., 2017.

O caso da Figura 11, onde há o início de um novo evento no instante posterior ao final do período de agregação temporal de 3 minutos, para tanto, neste caso devem-se contabilizar duas agregações temporais.

Figura 11 – Exemplo de caso de agregação temporal



Fonte: Macedo Jr., 2017.

Na Rede Básica, os Procedimentos de Rede do ONS, determinam que a janela de agregação temporal deve ser de 1 minuto, assim, deve-se proceder de maneira análoga com as devidas agregações temporais (ONS, 2016).

3 REGULAÇÃO DO SETOR ELÉTRICO E OUTROS INDICADORES

A Aneel é uma autarquia do setor elétrico vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME), responsável por regular a geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica no Brasil.

No Brasil, a regulamentação da qualidade de energia é dividida em dois segmentos de acordo com o nível de tensão. No sistema que compreende o SIN, ou seja, a Rede Básica, a regulamentação existente corresponde aos submódulos 2.8 e 3.6 dos Procedimentos de Rede, produzido pelo ONS com aprovação da Aneel, por meio de Audiências Pública (AP) e Consultas Públicas (CP). No sistema compreendido pela distribuição de energia, a regulamentação é elaborada por meio de AP e CP realizadas pela Aneel e encontram-se abarcadas nos Módulos 3 e 8 do PRODIST (ANEEL, 2014). A Tabela 2, mostra a abrangência de cada regulamento no âmbito da qualidade de energia.

Tabela 2 – Regulamentação da QEE no Brasil

Setor	Aplicação	Documento
Rede Básica	Acesso	Submódulo 3.6 - Requisitos técnicos mínimos para a conexão às instalações de transmissão
	Gerenciamento	Submódulo 2.8 - Gerenciamento dos indicadores de qualidade da energia elétrica da Rede Básica
Distribuição	Acesso	Módulo 3 - Acesso ao Sistema de Distribuição
	Gerenciamento	Módulo 8 - Qualidade da Energia Elétrica

Fonte: ANEEL, 2014.

A fim de compreender as formas utilizadas no Brasil e em diversos países de classificar os eventos de VTCD, será exposto neste Capítulo, os indicadores utilizados por agentes reguladores e institutos de pesquisa, bem como, os indicadores de sensibilidade criado por fabricantes de equipamentos eletroeletrônicos, o quais, como visto anteriormente mais sofrem com os problemas relacionados às VTCD.

3.1 PRODIST

A regulamentação relacionada ao gerenciamento da qualidade de energia no sistema de distribuição surgiu em 31 de dezembro de 2008, por meio da criação do Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica do PRODIST. A Tabela 3 apresenta a classificação das VTCD conforme o Módulo 8 do PRODIST.

A partir da criação do PRODIST, publicado em 2008, até a Revisão 7, com vigência no ano de 2016, a seção que tratava das VTCD não havia sofrido nenhuma mudança ou atualização, até então a única forma que existia de classificar um barramento quanto sua qualidade de fornecimento, relacionado às VTCD, era contabilizar a quantidade de eventos por tipo naquele barramento, não havendo, assim, valores de referência, limites regulatórios nem penalidades previstas, evidenciando a deficiência do Regulador em atuar nos assuntos relacionados à QEE.

Tabela 3 – Classificação das Variações de Tensão de Curta Duração conforme PRODIST

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, 2016.

Com o objetivo de subsidiar a revisão do Regulamento, a Aneel, por meio da Consulta Pública nº 018/2014, que apresentou na Nota Técnica nº 0105/2014 os

relatórios elaborados pela Fundação de Apoio Universitário, utilizados para embasar tecnicamente a nova abordagem regulatória sobre os fenômenos relacionados à qualidade do produto, na distribuição de energia elétrica. A partir da análise de benchmarking com os normativos utilizados em outros países, foi elaborado, pela Consultoria, os indicadores implementados em 2017 que são utilizados até o momento na regulação do setor, como será apresentado abaixo (ANEEL, 2014).

3.1.1 Definição

A definição de VTCD utilizada no Módulo 8 do PRODIST é a apresentada abaixo e é classificada conforme foi exposto na Tabela 3.

Variações de tensão de curta duração (VTCD) são desvios significativos na amplitude do valor eficaz da tensão durante um intervalo de tempo inferior a três minutos. (ANEEL, 2017, p. 20).

Segundo o PRODIST, as expressões para o cálculo dos indicadores de desempenho, estabelecidos na Tabela 3, que representam a duração e frequência de ocorrência dos eventos, são dadas, respectivamente, pelas equações (3.1) e (3.2):

$$\Delta t_e = t_f - t_i \quad (3.1)$$

sendo:

Δt_e , a duração do evento de VTCD (em milissegundos);

t_f , o instante final do evento de VTCD;

t_i , o instante inicial do evento de VTCD.

$$f_f = n \quad (3.2)$$

sendo:

f_f , frequência de ocorrência de eventos de VTCD;

n , quantidade de eventos de VTCD registrados no período de avaliação.

A definição da magnitude dos eventos de VTCD utilizada no PRODIST é a mesma utilizada pelo IEEE, conforme equação (2.2).

3.1.2 Caracterização

A partir das medições, agregação de fase e agregação temporal, a recomendação do PRODIST é o preenchimento da Tabela 4, realizando assim, a estratificação dos parâmetros dos eventos medidos.

Tabela 4 – Estratificação dos parâmetros amplitude e duração para contabilização dos eventos

Amplitude (pu)	Duração						
	[16,67 ms - 100 ms]	(100 ms - 300 ms]	(300 ms - 600 ms]	(600 ms - 1 seg]	(1 seg - 3 seg]	(3 seg - 1 min]	(1 min - 3 min]
> 1,15							
(1,10 - 1,15]							
(0,85 - 0,90]							
(0,80 - 0,85]							
(0,70 - 0,80]							
(0,60 - 0,70]							
(0,50 - 0,60]							
(0,40 - 0,50]							
(0,30 - 0,40]							
(0,20 - 0,30]							
(0,10 - 0,20]							
< 0,10							

Fonte: ANEEL, 2016.

Com isso, é possível subdividir os fenômenos envolvendo as VTCD quanto a frequência de ocorrência dos mesmos. O PRODIST, inspirado na Norma Sul-africana NRS 048 elaborada pela *National Energy Regulator of South Africa* – NERSA, agente regulador da África do Sul, adaptou o agrupamento em classes, no qual a NERSA correlaciona o distúrbio registrado com a sensibilidade dos equipamentos encontrados nas unidades consumidoras. A Tabela 5, retirada do PRODIST Módulo 8, mostra a estratificação em áreas adotada pela ANEEL (ANEEL, 2014).

Tabela 5 – Estratificação das VTCD com base na sensibilidade das cargas

Amplitude (pu)	Duração								
	[16,67 ms - 100 ms]	(100 ms - 300 ms]	(300 ms - 600 ms]	(600 ms - 1 seg]	(1 seg - 3 seg]	(3 seg - 1 min]	(1 min - 3 min)		
> 1,15	REGIÃO H			REGIÃO I					
(1,10 - 1,15]									
(0,85 - 0,90]	REGIÃO A								
(0,80 - 0,85]									
(0,70 - 0,80]	REGIÃO B	REGIÃO D		REGIÃO G					
(0,60 - 0,70]									
(0,50 - 0,60]	REGIÃO F								
(0,40 - 0,50]									
(0,30 - 0,40]	REGIÃO E								
(0,20 - 0,30]									
(0,10 - 0,20]									
< 0,10									

Fonte: ANEEL, 2016.

3.1.3 Fator de Impacto

A partir da estratificação dos eventos conforme as Tabelas 4 e 5, é possível calcular o Fator de Impacto das VTCD, indicador responsável por caracterizar a severidade da ocorrência dos eventos em um determinado ponto de medição, cujo cálculo pode ser obtido pela equação (3.3).

$$FI = \frac{\sum_{i=A}^I (f_{ei} \times fp_i)}{FI_{BASE}} \quad (3.3)$$

onde:

f_{ei} = frequência de ocorrência de eventos de VTCD, em um período de 30 dias consecutivos, para cada região de sensibilidade i, sendo i = A, B, C, D, E, F, G, H e I.

fp_i = fator de ponderação para cada região de sensibilidade i, estabelecido de acordo com a relevância do evento, correlacionando sua amplitude e duração. Conforme Tabela 6.

FI_{BASE} = Fator de Impacto Base obtido do somatório dos produtos dos fatores de ponderação pelas frequências máximas de ocorrência em um período de 30 (trinta) dias de VTCD para cada região de sensibilidade.

O Fator de Impacto Base representa o limite máximo da frequência de incidências dos fenômenos, para o nível de tensão da distribuição, o qual é o objetivo deste Trabalho, o Fator de Impacto Base corresponde à 2,13 (ANEEL, 2017).

Na Tabela 6 estão dispostos os valores do Fator de Ponderação associados as respectivas regiões de sensibilidade, bem como, os valores de frequência máxima que levaram ao cálculo do FI_{BASE} .

Tabela 6 – Fatores de Ponderação

Região de Sensibilidade	Fator de Ponderação (<i>fp</i>)	Frequência de ocorrência de eventos
<i>A</i>	0,00	Sem limites
<i>B</i>	0,04	5
<i>C</i>	0,07	4
<i>D</i>	0,15	3
<i>E</i>	0,25	2
<i>F</i>	0,36	1
<i>G</i>	0,07	4
<i>H</i>	0,02	1
<i>I</i>	0,04	1
FI_{BASE}		2,13

Fonte: Adaptado de ANEEL, 2014.

Segundo Macedo Jr., em entrevista à Revista O Setor Elétrico em 2017, o Fator de Impacto busca expressar, quantitativamente, os limites no qual as distribuidoras devem se enquadrar, tornando mais fácil o gerenciamento por parte da Aneel, em ações fiscalizadoras como das próprias concessionárias de energia frente as reclamações dos clientes. O fator de impacto referência adotado pela ANEEL é de 1.

3.2 EUROPA: CENELEC EN 50160 – 2010

A Norma EN 50160, de 2000, é o documento base utilizado em diversos países europeus que define e especifica as principais características do fornecimento de energia elétrica em redes de baixa (até 1000 V), média (entre 1 kV e 35 kV) e alta tensão (entre 36 kV e 150 kV) (MARKIEWICZ e KLAJN, 2004).

Para a EN 50160, os afundamentos de tensão são caracterizados pela diminuição abaixo de 90% do valor nominal da tensão RMS seguido de um aumento de acima de 90% do valor nominal da tensão em um intervalo de tempo inferior a 1 minuto. De forma análoga ao PRODIST, a norma europeia realiza a estratificação dos eventos, conforme Tabela 7 para os afundamentos e Tabela 8 para as elevações de tensão (POMILIO e DECKMANN, 2010).

Tabela 7 – Afundamentos de tensão segundo à EN 50160

Amplitude (pu)	Duração (s)							
	$0,01 < t \leq 0,02$	$0,02 < t \leq 0,1$	$0,1 < t \leq 0,5$	$0,5 < t \leq 1$	$1 < t \leq 3$	$3 < t \leq 20$	$20 < t \leq 60$	$60 < t \leq 180$
$90 > V \geq 85$								
$85 > V \geq 70$								
$70 > V \geq 40$								
$40 > V \geq 10$								
$10 > V \geq 0$								

Fonte: Adaptado de Pomilio e Deckmann, 2010.

Tabela 8 - Classificação das elevações de tensão segundo à EN 50160

Amplitude (pu)	Duração (ms)		
	$10 \leq t \leq 500$	$500 < t \leq 5\,000$	$5\,000 < t \leq 60\,000$
$V \geq 120$			
$120 > V \geq 110$			

Fonte: Adaptado de Pomilio e Deckmann, 2010.

3.3 ÁFRICA DO SUL: NRS 048-2

A NRS 048-2, elaborada pela NERSA, é a norma responsável por quantificar os eventos de VTCD na África do Sul. O PRODIST, como já comentado anteriormente, foi inspirado na sua forma de categorizar os afundamentos em áreas, conforme a Tabela 9, que representam os possíveis impactos aos consumidores, conforme suas características de proteção e tipos de carga.

Tabela 9 – Quantificação dos afundamentos de tensão norma NRS 048-2

Mag. da Tensão Residual	Duração do Afundamento de Tensão		
	20ms - 150ms	150ms - 600ms	0,6s - 3s
90% - 85%	Y		
85% - 80%			
80% - 70%	X1	S	Z1
70% - 60%			Z2
60% - 40%			
< 40%	X2		T

Fonte: Adaptado de NRS, 2003.

A Norma Sul-africana define, a partir de dados históricos de barramentos monitorados na África do Sul, os limites que cada região da Tabela 9 poderá ter. Na Tabela 10 estão dispostos os limites propostos para o nível de tensão que compreende os dados deste Trabalho (6,6 kV à 44 kV). Os dados históricos representam a quantidade de eventos que não ultrapassaram os limites em 95% e 50% dos barramentos monitorados.

Tabela 10 – Frequência característica de afundamentos no ano

Dados históricos	Número de afundamentos no ano para as regiões da Tabela 9					
	X1	X2	T	S	Z1	Z2
95% dos barramentos	20	30	110	30	20	45
50% dos barramentos	7	7	7	6	3	4

Fonte: Adaptado de NRS, 2003.

3.4 SARFI

O indicador $SARFI_x$, do inglês *System Average RMS (Variation) Frequency Index*, representa o número ou percentual de eventos de VTCD que ocorreram abaixo/acima de um limite pré-estabelecido (DUNGAN, 2004). O índice “x”, representa o limite percentual a ser ultrapassado para que um evento de VTCD seja considerado pelo indicador, o índice pode assumir os seguintes valores:

- 140, 120 e 110 para sobretensões acima da tensão nominal; e
- 90, 80 e 70 para sobtensões abaixo da tensão nominal.

Assim, por exemplo, para o indicador cujo índice é 70, ou seja, $SARFI_{70}$ que representa os afundamentos de tensão cujas magnitudes são inferiores à 0,7 pu da tensão de referência, por outro lado, se o indicador for o $SARFI_{110}$ a representação ocorre para as elevações de tensão, acima de 1,1 pu da tensão de referência.

As vantagens do indicador é a facilidade de comparação entre barramentos ou sistemas distintos e até de variações de um ano para outro, por outro lado, o fato de não ser relevante para avaliação de imunidade de equipamentos, bem como não utilizar o parâmetro da duração dos eventos para quantificação do desempenho são desvantagens do indicador.

Como forma de adicionar uma avaliação que considere a duração das VTCD, pode-se subdividir os eventos de acordo com a sua duração e posteriormente classifica-los pela sua amplitude, conforme equação (3.4).

$$SARFI_x = SIARFI_x + SMARFI_x + STARFI_x \quad (3.4)$$

onde,

$SIARFI_x$ (*System Instantaneous Average RMS Variation Frequency Index*) contabiliza os eventos com duração de $\frac{1}{2}$ ciclo a 30 ciclos;

$SMARFI_x$ (*System Momentary Average RMS Variation Frequency Index*) contabiliza os eventos com duração de 30 ciclos a 3 segundos; e

$STARFI_x$ (*System Temporary Average RMS Variation Frequency Index*) contabiliza os eventos com duração de 30 ciclos a 3 segundos; e

Outra maneira de se utilizar do indicador SARFI, é realizando associações com curvas de suportabilidade definidas por fabricantes de equipamentos. As curvas normalmente utilizadas são:

- $SARFI_{CBEMA}$
- $SARFI_{ITIC}$
- $SARFI_{SEMI}$

Desta forma, o indicador representa o número de eventos de variação de tensão RMS que estão fora dos limites de tolerância de tensão das respectivas curvas.

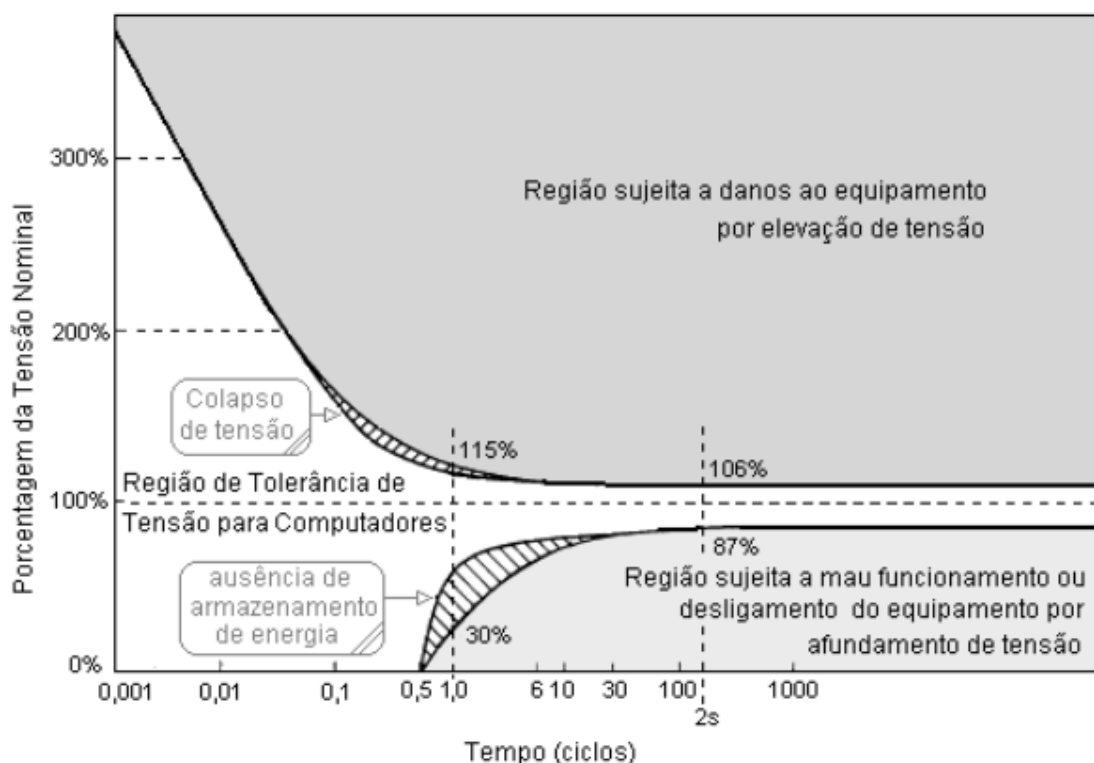
3.5 CURVAS DE SUPORTABILIDADE

As curvas de suportabilidade são gráficos criados por fabricantes de equipamentos eletroeletrônicos, no qual a partir do conhecimento da suportabilidade dos equipamentos aos eventos de VTCD combinado com os parâmetros magnitude e duração dos mesmos, é possível estabelecer regiões onde a operação dos equipamentos é prejudicada. Abaixo, serão exploradas as curvas mais utilizadas.

3.5.1 CBEMA

A curva CBEMA foi desenvolvida pela *Computer Business Equipment Manufacturers Association* em 1970, foi desenvolvida a partir de dados históricos e experimentais a respeito da tolerância de computadores de grande porte do tipo *mainframe* frente eventos de VTCD. A Figura 12 representa a curva CBEMA.

Figura 12 – Curva CBEMA de suportabilidade



Fonte: Pomilio e Deckmann, 2010.

Segundo a curva CBEMA, Figura 12, os equipamentos de informática devem suportar interrupções de tensão durante intervalos de até $\frac{1}{2}$. No caso de subtensões em regime permanente, as cargas devem operar com até 13% de redução da tensão nominal.

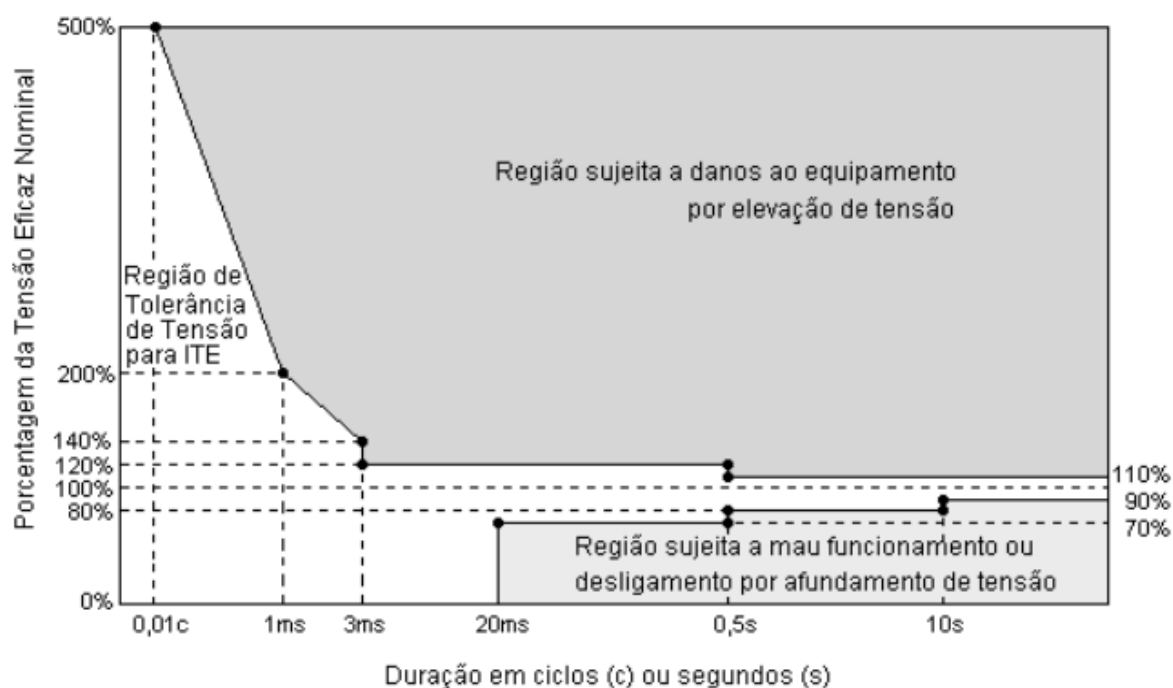
Para as sobretensões, as cargas devem suportar em regime permanente aumento de até 6% do valor nominal e, no caso de aumento brusco de tensão devem suportar mais de 300% de sobretensão (POMILIO e DECKMANN, 2010).

No centro há a formação do envelope onde os equipamentos devem suportar qualquer evento. Elevações acima do envelope estão associados à ruptura do dielétrico, enquanto que afundamentos abaixo do envelope estão associadas à desligamento por falta de energia (POMILIO e DECKMANN, 2010).

3.5.2 ITIC

A curva de tolerância ITIC (Information Technology Industry Council) apresentada na Figura 13, foi desenvolvida a partir de modificações realizadas na curva CBEMA, no ano de 1997, sendo aprovada em 2000 para aplicações de equipamentos eletrônicos e computadores relacionados à TI – Tecnologia da Informação [17].

Figura 13 - Curva ITIC de suportabilidade



Fonte: Pomilio e Deckmann, 2010.

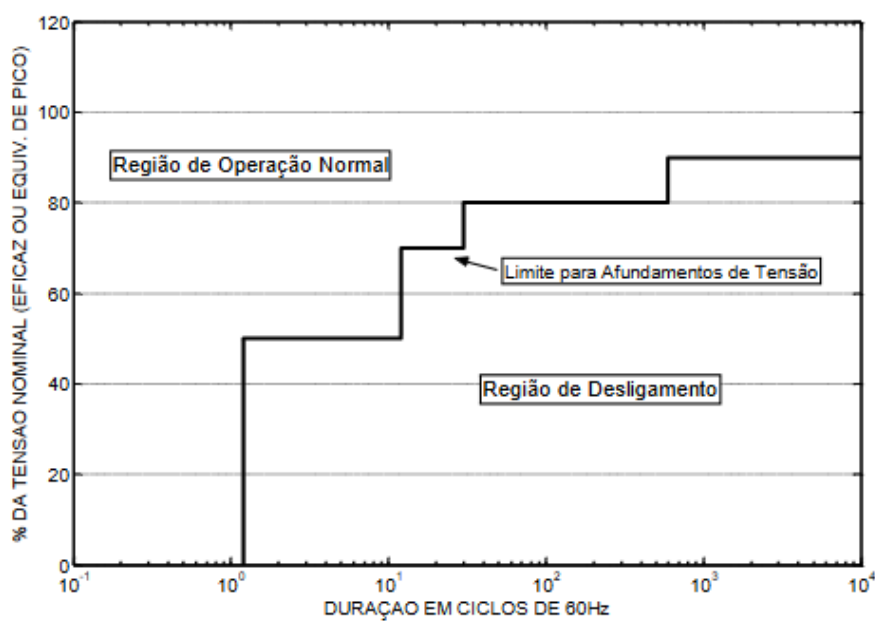
A curva ITIC é utilizada para avaliação do desempenho de computadores que estão ligados à rede monofásica com tensões de 120 V, 120/208 V e 120/240 V. Segundo a Figura 13, o limite de sobretensão e subtensão em regime permanente é de 10% do valor nominal.

3.5.3 SEMI

A curva SEMI 47, desenvolvida pelo *Semiconductor Equipment Materials International* em 1998, com aplicabilidade voltada apenas aos afundamentos de tensão, a curva SEMI 47 foi criada para especificar a tolerância de equipamentos

semicondutores à este fenômeno. A Figura 14 representa a curva SEMI F47 (POMILIO e DECKMANN, 2010).

Figura 14 - Curva SEMI F47 de suportabilidade



Fonte: Pomilio e Deckmann, 2010.

4 RESULTADOS DAS MEDIÇÕES E ADERÊNCIA REGULATÓRIA

Segundo a legislação atual, as concessionárias e permissionárias de serviços públicos de distribuição, transmissão ou geração de energia elétrica, devem aplicar, anualmente, um percentual mínimo de sua receita operacional líquida em projetos de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico (P&D) do setor de energia elétrica.

Os dados utilizados neste Trabalho foram coletados durante o projeto de P&D “Desenvolvimento e implementações de provas de conceito de Redes Elétricas Inteligentes (REI) em localidade piloto com elevadas restrições ambientais - Caso Ilha de Fernando de Noronha” da Distribuidora Celpe, com participação da UFPE no ano de 2012, cujo objetivo era inferir sobre a qualidade de energia da Ilha, a partir, de medições antes e depois da implementação da Usina Solar Noronha I, em julho/2017.

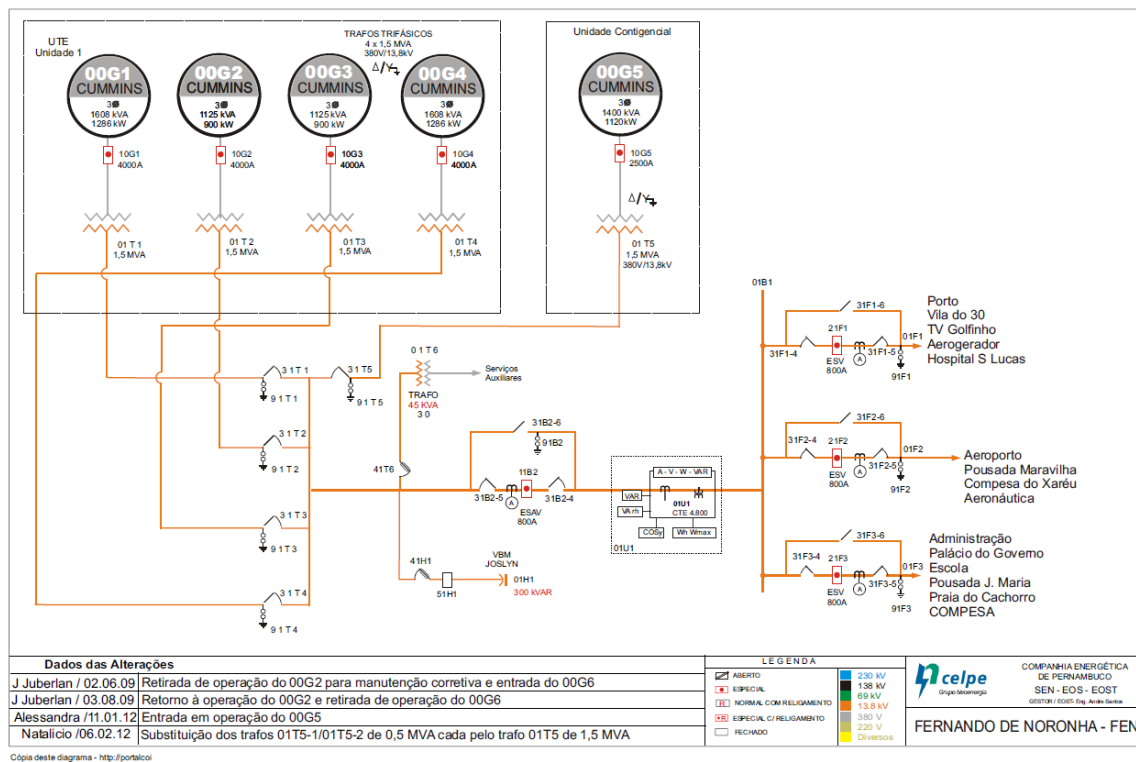
4.1 CARACTERÍSTICAS DA IFN E DO REGISTRADOR DIGITAL DE PERTURBAÇÃO

Nesta seção serão apresentadas as características da IFN e do registrador digital de perturbação utilizado para medir os parâmetros do sistema na época.

4.1.1 Características da IFN

O arquipélago de Fernando de Noronha possui uma área total aproximada de 26 km², sendo que a ilha de Fernando de Noronha tem extensão de 17 km² com população de cerca de 2600 habitantes (Celpe, 2012). É um Distrito Estadual de Pernambuco e se localiza à 535 km de Recife-PE e 370 km de Natal-RN. O sistema elétrico de Fernando de Noronha é isolado do SIN, sendo abastecido por uma Usina Termoelétrica, conforme diagrama ilustrado na Figura 15.

Figura 15 – Diagrama Unifilar da Usina Tubarão 2012



Fonte: Celpe, 2012.

A grande maioria das Unidades Consumidoras (UC) da Ilha são do tipo residencial (60%) e comercial (27,31%), conforme dados exibidos na Tabela 11. Na Tabela 12 temos as características do sistema de distribuição da Ilha de Fernando de Noronha, na época em que o estudo foi realizado (LIRA, 2012).

Tabela 11 – Características da carga na Ilha de Fernando de Noronha

Tipo de UC	Quantidade de UC
Residencial	499
Industrial	5
Comercial	227
Rural	9
Poder Público	62
Iluminação Pública	8
Serviço público	17
Consumo Próprio (Celpe)	4
TOTAL	831

Fonte: Celpe, 2011.

Tabela 12 – Características da rede de distribuição na Iha

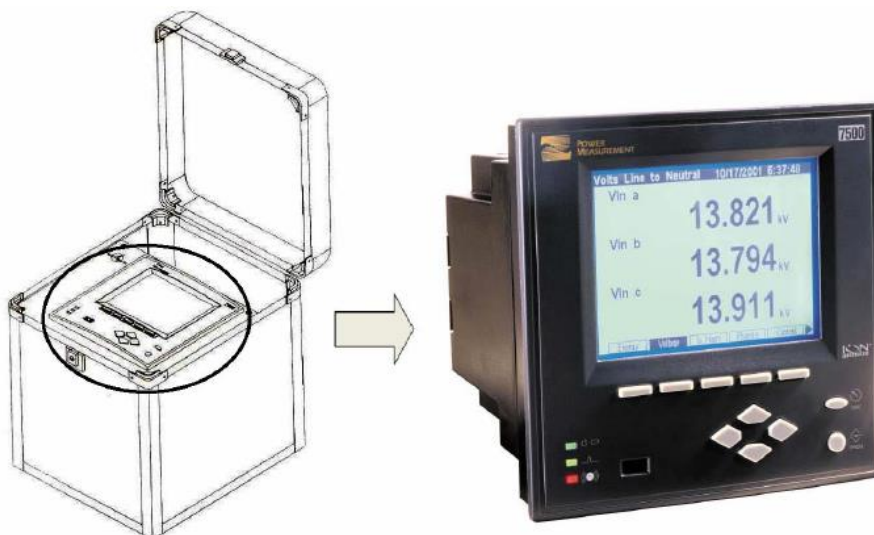
Descrição	Quantidade
Alimentador FEN 21F1	5,29 km (rede protegida)
Alimentador FEN 21F2	4,95 km (rede convencional)
Alimentador FEN 21F3	4,08 km (rede protegida)
Rede BT	20,45 km (com 30% de rede isolada)
Trafos particulares	9 unidades
Trafos Celpe	30 unidades

Fonte: Lira, 2012.

4.1.2 Características do registrador digital de perturbação

O Registrador Digital de Perturbação (RDP) utilizado para obtenção dos registros dispostos no Apêndice A, corresponde ao medidor eletrônico portátil modelo 7600-LRB da Metrum. Segundo o Fabricante, trata-se de um estojo com um medidor de fabricação Schneider Eletric, embutido e um painel de interconexões com cabos e conectores, conforme Figura 16.

Figura 16 – Painel do medidor eletrônico portátil modelo 7600-LRB



Fonte: Lira, 2012.

O RDP foi instalado juntamente à medição totalizadora da Usina Tubarão, sendo alimentado pelo conjunto encapsulado de TC's e TP's da subestação. O

objetivo da medição na saída da Usina foi avaliar a qualidade do suprimento da Usina, frente ao impacto causado pelas maiores cargas da IFN, composta pela estação de bombeamento e tratamento da COMPESA (LIRA, 2012).

A parametrização do RDP foi realizada conforme informações abaixo:

- Magnitudes e fases das correntes harmônicas individuais a cada 10 minutos das seguintes ordens: 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 46, 47, 48, 49, 50;
- THD par e ímpar de corrente e THD de corrente a cada 10 minutos;
- Magnitudes e fases das tensões harmônicas individuais a cada 10 minutos das seguintes ordens: 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 46, 47, 48, 49, 50;
- THD par e ímpar de tensão e THD de tensão a cada 10 minutos;
- Tensão e Corrente a cada 10 minutos;
- Potência Ativa, Reativa e Aparente e Fator de Potência a cada 10 minutos;
- Frequência do sistema a cada 10 minutos;
- Desequilíbrio de Tensão e Componente de Sequência a cada 10 minutos;
- Waveform de tensão e corrente;
- VTCDs;
- Transitórios;
- Flicker Plt e Pst a cada 10 minutos.

Os cronogramas de coletas e envios dos registros à Equipe de Pesquisadores da UFPE acontecia no último dia útil do mês, um total de 6 arquivos, do tipo Excel, a depender das variáveis medidas (VTCD, THD, Harmônicos e etc) eram enviados (LIRA, 2012). No Apêndice A, estão dispostos a compilação dos dados do ano de 2013 antes e depois dos tratamentos mencionados a seguir.

4.2 ANÁLISE DAS MEDIÇÕES

Dentre os dados disponibilizados, para o presente Trabalho foram utilizadas as medições provenientes do RDP conectado à Subestação Tubarão da Ilha de Fernando de Noronha. A Figura 15 representa a situação da Usina Tubarão na época do estudo. Os dados disponibilizados são frutos do monitoramento realizado no barramento de saída da Subestação Tubarão.

As medições foram realizadas por um período superior a 3 anos consecutivos, de novembro de 2012 a dezembro de 2015, porém, não há medição de todos os meses para o período, seja pelo fato da execução de alterações que fizeram com que o RDP fosse desligado, por problemas no próprio equipamento ou na extração dos dados.

Para o presente Trabalho foram selecionados todos os registros de VTCD para o ano de 2013, totalizando 160 registros. Os dados foram disponibilizados em arquivos Excel, conforme Figura 17, com as seguintes informações:

- Local Time, data e hora do registro do evento;
- Tensão RMS das fases A, B e C, em pu;
- Limite de afundamento (90% da tensão nominal);
- Limite de sobretensão (110% da tensão nominal); e
- Duração do evento, em segundos.

Figura 17 – Arquivo com os registros do mês de abril/2013

	A	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	Local Time	Dur	Nominal	V1Avg	V1Engy	V1Max	V1Min	V2Avg	V2Engy	V2Max	V2Min	V3Avg	V3Engy	V3Max	V3Min	Sag Lim	Swell Lim
2	2013-abr-09 13:35:05,088	0,393	7967	86	75	91,9252	82,831	94	89	98,7088	92,241	93	86	97,167	89,735	90	110
3	2013-abr-11 09:33:53,774	0,32500	7967	90	81	91,942	89,725	96	93	97,568	96,215	94	89	95,991	94,023	90	110
4	2013-abr-11 17:41:45,664	0,43500	7967	86	74	91,907	80,956	94	88	98,782	91,388	93	86	97,878	89,707	90	110
5	2013-abr-14 11:55:54,839	0,24900	7967	89	80	91,963	87,976	95	90	97,004	94,396	94	89	96,056	93,268	90	110
6	2013-abr-14 11:56:01,471	0,32500	7967	92	84	95,206	89,905	88	77	91,843	85,049	92	84	95,651	89,981	90	110
7	2013-abr-15 09:05:13,950	12,62800	7967	72	52	92,885	53,461	72	53	91,837	54,102	74	55	94,658	54,569	90	110

Fonte: O Autor, 2019.

4.3 TRATAMENTO E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Após concatenar os arquivos mensais dos registros, formando assim uma tabela base anual, o primeiro tratamento realizado nos dados consistiu na correta caracterização dos registros de VTCD.

Primeiramente, fez-se a exclusão dos eventos de afundamento de tensão cuja duração era superior a 180 segundos, uma vez que, segundo o Módulo 8 do PRODIST caracterizavam-se como interrupção, fugindo do escopo do Trabalho.

Em seguida, como para cada evento registrado existem três leituras de tensão do sistema, logo, para caracterizar um evento de VTCD é necessário identificar o menor valor das três medições, para afundamentos, bem como, o maior valor para as sobretensões, ou seja a leitura cuja tensão mais desviou da tensão de

referência, para realizar este filtro utilizou-se de uma *macro* do Excel, cujo retorno são as seguintes colunas: data do registro, duração e tensão mínima (para afundamentos) e duração e tensão máxima (para elevações de tensão), conforme a Figura 18. Este filtro nada mais é do que a agregação de fases, conforme tratado no Capítulo 2 deste Trabalho e definido no Módulo 8 do PRODIST.

Figura 18 – Filtro para agregação de fases

	K	L	M	N	O	P
1	Afundamento			Elevação		
2	Data e Horário	Duração (s)	V_MIN (% da nominal)	Data e Horário	Duração (s)	V_MAX (% da nominal)
3	2013-jan-06 21:17:29,963	0,064000003	76,11358643			
4	2013-jan-23 10:55:00,312	0,93599999	74,83686066			
5	2013-jan-29 07:53:31,744	0,584999979	76,76832581			
6	2013-jan-29 08:06:59,892	0,149000004	87,60549164			
7	2013-jan-29 08:26:07,598	0,158000007	88,62594604			
8	2013-jan-29 08:40:46,139	0,317000002	82,57510376			
9	2013-fev-12 17:15:28,373	0,192000002	29,23690605			
10	2013-fev-22 23:13:13,685	0,189999998	83,80332184			
11	2013-fev-22 23:13:15,079	0,335000008	87,28621674			
12	2013-fev-22 23:17:38,219	0,009	89,8460083			

Fonte: O Autor, 2019.

O terceiro tratamento realizado nos registros corresponde à agregação temporal, para isso, utilizou-se uma janela temporal de três minutos, conforme definido no Módulo 8 do PRODIST e também exemplificado no Capítulo 2. Assim, eventos consecutivos dentro do intervalo de tempo de três minutos são agregados compondo um único evento, no qual, a magnitude do evento agregado corresponderá aquela em que há o maior desvio da tensão de referência dentre todos os registros contidos no intervalo e a duração do evento agregado é foi definida como a máxima duração entre os eventos registrados. No Apêndice A estão dispostos os dados dos afundamentos antes e depois dos devidos tratamentos.

Após a aplicação dos filtros e realização da agregação de fase e agregação temporal, restaram para análise 100 registros de VTCD para o ano de 2013. A Tabela 13 demonstra a sazonalidade dos eventos, apresentando a quantidade de VTCD por mês de monitoramento.

Tabela 13 – Sazonalidade das VTCD medidas na Subestação Tubarão em 2013

Mês	Número de Eventos
Janeiro	6
Fevereiro	5
Março	6
Abril	13
Maio	7
Junho	22
Julho	4
Agosto	9
Setembro	5
Outubro	8
Novembro	11
Dezembro	4
TOTAL	100
MÉDIA	8,33

Fonte: O Autor, 2019.

4.4 ANÁLISE DO FATOR DE IMPACTO

Seguindo a sequência de passos proposta pelo Módulo 8 do PRODIST, foi preenchida a tabela de quantificação de VTCD por faixas de duração e amplitude, conforme a Tabela 14. Mais uma vez foi utilizado o Excel para filtrar as informações necessárias para o preenchimento da tabela.

Tabela 14 – Estratificação dos eventos de VTCD

Amplitude (pu)	Duração						
	[16,67 ms - 100 ms]	(100 ms - 300 ms]	(300 ms - 600 ms]	(600 ms - 1 seg]	(1 seg - 3 seg]	(3 seg - 1 min]	(1 min - 3 min)
> 1,15							
(1,10 - 1,15]							
(0,85 - 0,90]	9	20	9	0	0	3	0
(0,80 - 0,85]	0	3	7	2	0	3	0
(0,70 - 0,80]	3	7	7	5	2	1	0
(0,60 - 0,70]	2	0	0	2	2	0	0
(0,50 - 0,60]	3	3	0	0	0	3	0
(0,40 - 0,50]	0	0	0	0	0	0	0
(0,30 - 0,40]	0	1	0	0	0	0	0
(0,20 - 0,30]	1	2	0	0	0	0	0
(0,10 - 0,20]	0	0	0	0	0	0	0
< 0,10	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: O Autor, 2019.

A partir da Tabela 14 foi possível realizar a estratificação das VTCD em regiões de sensibilidade, os resultados dessa estratificação estão dispostos na Tabela 15.

Tabela 15 – Quantidade de VTCD por região de sensibilidade

Mês	Região de sensibilidade (Fator de Ponderação)									TOTAL/MÊS
	A (0,00)	B (0,04)	C (0,07)	D (0,15)	E (0,25)	F (0,36)	G (0,07)	H (0,02)	I (0,04)	
Janeiro	3	1	0	1	0	0	1	0	0	6
Fevereiro	3	0	0	0	1	0	1	0	0	5
Março	2	2	0	1	0	1	0	0	0	6
Abril	7	2	0	0	2	1	1	0	0	13
Maio	4	0	0	1	0	1	1	0	0	7
Junho	9	0	2	6	0	2	3	0	0	22
Julho	3	0	0	1	0	0	0	0	0	4
Agosto	4	0	0	3	0	0	2	0	0	9
Setembro	4	0	0	0	0	0	1	0	0	5
Outubro	4	0	1	1	0	0	2	0	0	8
Novembro	6	0	0	2	1	2	0	0	0	11
Dezembro	2	0	0	1	0	0	1	0	0	4
TOTAL/2013	51	5	3	17	4	7	13	0	0	100

Fonte: O Autor, 2019.

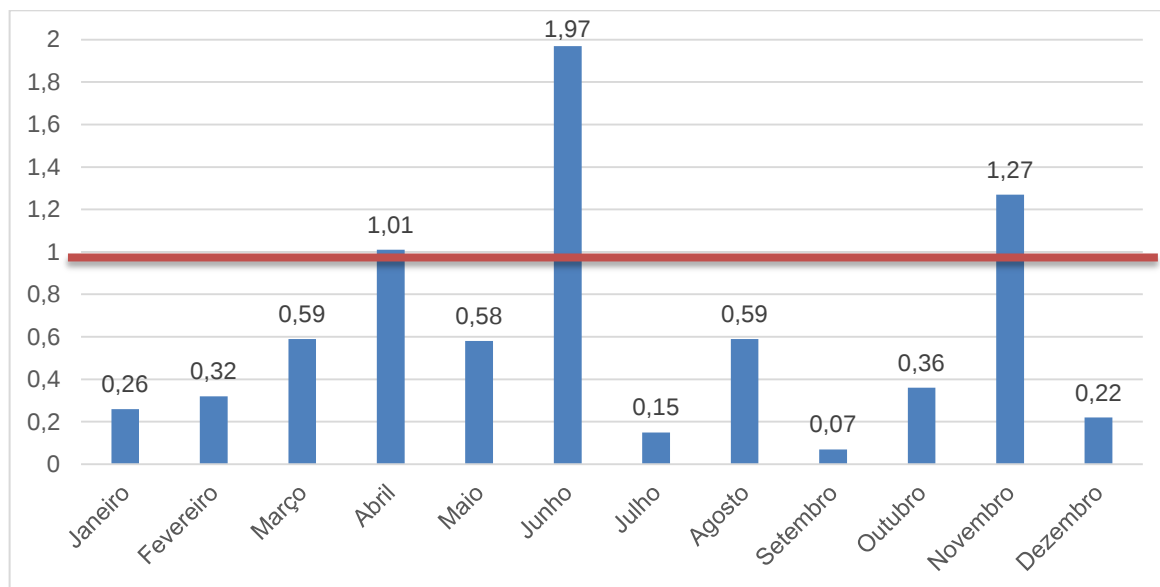
Analisando a Tabela 15, sem contar com os 51 afundamentos cuja região de sensibilidade é a “A”, observamos que há um grande número de afundamentos nas regiões D e G, cujos respectivos Fatores de Ponderação são consideravelmente altos, a quantidade destes afundamentos no mês de junho (juntamente com os 2 afundamentos na região F), fizeram-no ter o pior Fator de Impacto do ano, conforme Figura 19.

Pelo gráfico da Figura 19, é possível observar que os meses de julho e setembro apresentam o indicador FI muito próximo de zero. Tal situação, que pode ocorrer em qualquer medição contínua de VTCD, não necessariamente indica a inexistência de eventos, pode indicar que os eventos ocorridos no período, ou a sua grande maioria, se encontram na região de sensibilidade A, cujo fator de ponderação é nulo, como é o caso. Isto não quer dizer, entretanto, que uma unidade consumidora atendida por um determinado barramento do sistema não venha a perceber os eventos, situação dependente da sensibilidade de suas cargas e de suas proteções internas. Por outro lado, o mês em que o indicador FI foi pior é justamente o mês onde há a maior incidência de eventos de VTCD, inclusive o maior número de eventos na região de sensibilidade A.

Outros fatos que podemos inferir a partir da Figura 19 são:

- Três meses possuem violação do Fator de Impacto Máximo de 1,0 pu, representando 25% das amostras;
- O mês e junho tem uma violação de quase 2 pu, caracterizando 2 vezes o valor do Fator de Impacto Máximo.

Figura 19 – Fatores de Impacto mensais da Subestação Tubarão



Fonte: O Autor, 2019.

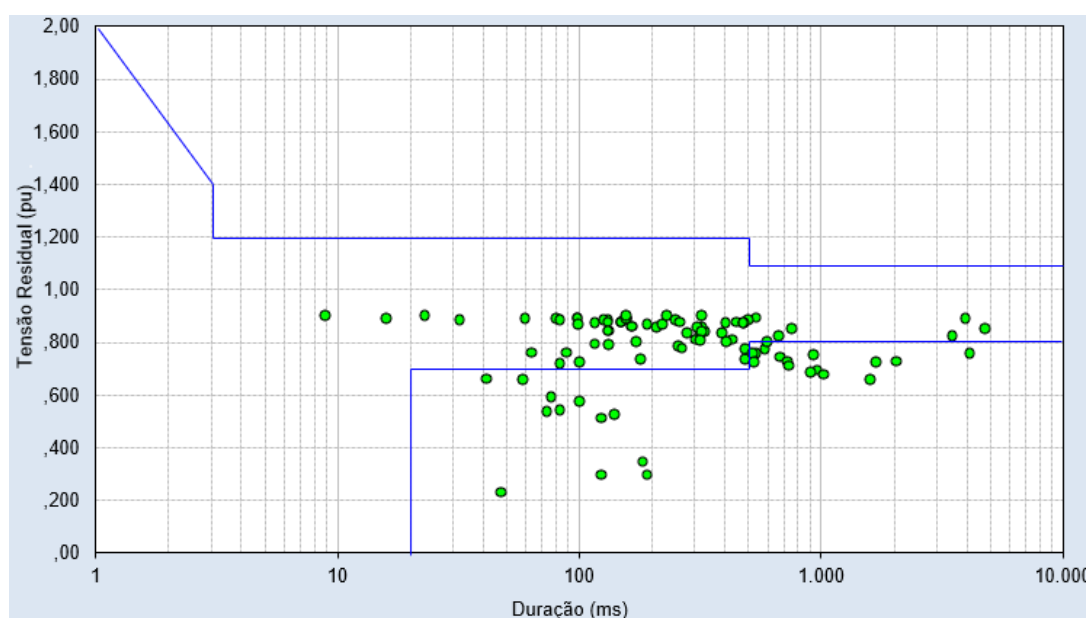
No processo da Consulta Pública nº 018/2014, mais especificamente no Anexo I, relatório 4, a consultoria contratada para colher as informações a subsidiar a mudança do normativo que trata das VTCD, colheu dados de FI de outras distribuidoras. No caso da Concessionária Elektro o período de monitoração foi de 1 ano e 15 dias, considerando 138 pontos de monitoramento na rede de média tensão, com isso, verificou-se que 95,65% dos pontos monitorados apresentaram patamares inferiores ao limite do Fator de Impacto Máximo, constando apenas 1 violação cujo indicador FI foi igual a 1,07 pu (ANEEL, 2014).

Comparando os resultados da Elektro no âmbito da Consulta Pública nº 018/2014 com os resultados encontrados na Ilha de Fernando de Noronha, notamos que o sistema isolado da Ilha, ou seja, a Distribuidora Celpe, caso houvesse fiscalização na época, provavelmente sofreria alguma sanção administrativa punitiva. Este resultado apenas afirma a diferença entre as dinâmicas de um sistema isolado de distribuição com outro mais robusto e mais malhado como o da Elektro.

4.5 CURVA ITIC

Por fim, tomando-se como base o envelope de tolerância de tensão da curva ITIC, observando-se tanto a duração quanto a magnitude residual dos eventos monitorados, chega-se à conclusão que 59% das VTCD estariam dentro desta faixa, não causando danos ou falhas de funcionamento nos equipamentos elétricos que pudessem ter sua operação justificada por esta curva. A Figura 20 apresenta os eventos de VTCD sobre o envelope de tolerância da curva ITIC para a Ilha de Fernando de Noronha.

Figura 20 - Eventos de VTCD sobre a curva ITIC



Fonte: O Autor, 2019.

A partir da quantidade de afundamentos que estão fora da curva ITIC, é possível calcular o indicador $SARFI_{ITIC}$, onde temos:

$$SARFI_{ITIC} = \frac{41}{100} = 0,41$$

Pelo indicador $SARFI_{ITIC}$, podemos concluir que alguns aparelhos sofreriam com desligamento para 41% dos afundamentos registrados no ano de 2013.

5 CONCLUSÃO E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Neste Capítulo serão apresentados as conclusões encontradas após a realização do estudo de VTCD, bem como, sugestões para trabalhos e pesquisas futuras.

5.1 CONCLUSÃO

As medições de VTCD desempenham um importante papel nos sistemas de distribuição, contribuindo para estudos de QEE e de proteção do sistema elétrico dentro dos mais diversos ramos da Engenharia Elétrica. Na distribuição de energia os estudos relacionados à VTCD vêm atuando como um meio de promover a gestão da QEE na rede, fornecendo dados para decisões e investimentos mais assertivos.

O estudo da QEE não interessa apenas às empresas do Setor Elétrico, os agentes reguladores, no intuito de garantir a qualidade no fornecimento de energia, preocupa-se com a criação de parâmetros que visam assegurar esta qualidade.

No presente Trabalho foram discutidas normas internacionais que definem o fenômeno de VTCD. Dos normativos apresentados, apenas a Norma NRS 048-2 da África do Sul e o Módulo 8 do PRODIST, apresentam limites a serem respeitados pelas distribuidoras.

Com o objetivo de verificar a aderência dos registros de VTCD, obtidos em 2013 da Usina Termoelétrica Tubarão, ao Normativo específico, foi aplicado a metodologia de estratificação e avaliação do fenômeno empregada pela ANEEL, a partir da utilização do FI. O indicador mensal mostrou que no ano de 2013 a Distribuidora ultrapassou o limite regulatório em 3 meses deste ano, indicando assim, uma má qualidade na prestação do serviço de distribuição.

Outra análise realizada foi utilizando a curva ITIC, onde 59% das ocorrências de VTCD encontram-se dentro do envelope de tolerância. Uma análise fria deste resultado mostra-se preocupante, visto que, como indica o índice $SARFI_{ITIC}$, existe um percentual grande das VTCD que poderiam causar desligamentos em equipamentos eletroeletrônicos conectados à rede.

Como vimos no primeiro Capítulo, cerca de 98% das unidades consumidoras da Ilha são compostas por residências, comércios, cargas de Iluminação Pública e cargas de Prédios Públicos, tal fato, ameniza os impactos das VTCD encontrados

neste Trabalho, uma vez que é muito difícil para estas unidades consumidoras identificarem problemas relacionados aos fenômenos das VTCD.

5.2 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Os dados utilizados para o presente Trabalho foram obtidos no ano de 2013 e com os mesmos foi possível identificar a metodologia e a abordagem do PRODIT com relação as VTCD, sugere-se como recomendação para trabalhos futuros relacionados aos problemas envolvendo as VTCD:

- A partir da complementação das medições sugere-se um estudo de VTCD no sistema de distribuição na IFN após a implantação da Usina Solar Noronha I e II.

Sugere-se, também o estudo de outros fenômenos eletromagnéticos relacionados à QEE, tais como:

- Estudo da presença de distorções harmônicas na Ilha de Fernando de Noronha; e
- Estudo da flutuação de tensão no barramento da Usina Termoelétrica Tubarão.

Outros estudos podem ser contemplados com as medições de outras grandezas elétricas advindas do mesmo RDP utilizado neste Trabalho, que devido ao foco em VTCD, não foram utilizadas.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Consulta pública nº 018/2014:** contribuições recebidas da ANEEL. Brasília: ANEEL, 2015. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/consulta_publica/detalhes_consulta.cfm?IdConsultaPublica=269. Acesso em: 2 abr. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional:** qualidade da energia elétrica, módulo 8, revisão 10. Brasília: ANEEL, 2009.

BINGHAM, R. P. **Sags and swells**. New Jersey: Dranetz-BMI, 1998. (Relatório).

CBEMA curve: the power acceptability curve for computer business equipment. Apr. 2011. Disponível em: <http://www.powerqualityworld.com/2011/04/cbema-curve-power-quality-standard.html>. Acesso em: 04 jul. 2019.

DECKMANN, S. M.; POMILIO, J. A. Variações transitórias de tensão de curta duração. In: POMILIO, J. A. **Avaliação da qualidade da energia elétrica**. cap. 7. 2017. Apostila da pós-graduação da Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação da Universidade Estadual de Campinas. Campinas-SP: Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, 2017. Disponível em: <http://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/pdf/qualidade/a7.pdf>. Acesso em: 03 abr. 2019

DUNGAN, R. C.; MCGRANAGHAN, M. F.; SANTOSO, S.; BEATY, H. W. **Electrical power systems quality**. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 2004.

EUROPEAN COMMITTEE FOR ELECTROTECHNICAL STANDARDIZATION. **EN 50160:** voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems. Brussels, BE: CENELEC, 2000.

INFORMATION TECHNOLOGY INDUSTRY COUNCIL. **ITI (CBEMA) curve application note**. Disponível em: https://www.keysight.com/upload/cmc_upload/All/1.pdf. Acesso em: 04 jul. 2019.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. **Std 1159:** recommended practice for monitoring electric power quality. New Jersey, USA: IEEE, 2009.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 61000-4-30/2008:** electromagnetic compatibility (EMC). Geneva: IEC, 2008.

LIRA, M. M. S. et al. **Desenvolvimento e implementações de provas de conceito de Redes Inteligentes (RI) em localidade piloto com elevadas restrições ambientais** – caso Ilha de Fernando de Noronha – REI: relatório 2.1 – Relatório parcial de levantamento das principais cargas por segmento de cliente considerando o conceito de RI do ponto de vista da QEE. Recife, 2012.

LIRA, M. M. S. et al. **Desenvolvimento e implementações de provas de conceito de Redes Inteligentes (RI) em localidade piloto com elevadas restrições ambientais** – caso Ilha de Fernando de Noronha – REI: relatório 7.2 – Segundo relatório parcial de implantação e avaliação do sistema de suporte à operação da rede de distribuição do ponto de vista da QEE. Recife, 2012.

MACEDO JR., J. R. **Agregação de eventos de variação de tensão de curta duração**. Uberlândia, UFU; LADEE, 2017. (Tutorial - Revisão 4). Disponível em: <http://www.jrubens.eng.br/download/TUTORIAL%20REV4.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2019.

MARKIEWICZ, H.; KLAJN, A. Voltage Disturbances – Standard EM 50160 - Voltage Characteristics in Public Distribution Systems. (Power Quality Application Guide). Boundary Way, UK: Copper Development Association, 2004.

MELO, M. O. B. C.; CAVALCANTI, G. Evaluation of the impacts of electric power quality costs in industrial production: case studies in northeast brazil. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON HARMONICS AND QUALITY OF POWER, 15., Hong Kong. **Proceedings** [...]. Hong Kong: IEEE, 2012.

NATIONAL ARCHIVES OF SOUTH AFRICA. **NRS 048-2:2003**: Electricity supply - quality of supply. Part 2: voltage characteristics, compatibility levels, limits and assessment methods. Johannesburg: The NRS Projects Manager, 2003. Disponível em: http://erasa.org.za/Websites/erasa/files/Content/6269579/NRS048_part_2.pdf. Acesso em: 06 jun. 2019.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **Procedimentos de Rede**: submódulo 2.8: gerenciamento dos indicadores de qualidade da energia elétrica da rede básica: revisão 2016.12. Brasília: ONS, 2016. Disponível em: <http://www.ons.org.br/%2FProcedimentosDeRede%2FM%C3%B3dulo%202%2FSubm%C3%B3dulo%202.8%2FSubm%C3%B3dulo%202.8.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2019.

QUIROGA, G. A. et al. Study of the Distributed Generation impact on distributed networks, focused on quality of power. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON HARMONICS AND QUALITY OF POWER (ICHQP), 17., Belo Horizonte. **Proceedings** [...]. Belo Horizonte: IEEE, 2016. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7783376>. Acesso em: 06 jun. 2019

VILCHEZ, E.; STENZEL, J. Wind energy integration into 110 kV system - Impact on power quality of MV and LV networks. *In*: TRANSMISSION AND DISTRIBUTION CONFERENCE AND EXPOSITION: Latin America, 3., Bogota. **Proceedings** [...]. Bogota: IEEE/PES, 2008.

APÊNDICE A – REGISTROS DO RDP

Nesta seção, serão apresentados os registros utilizados no estudo, como mencionado anteriormente, que correspondem às medições de VTCD obtidas em 2013 no barramento da Usina Termoelétrica Tubarão localizada na Ilha de Fernando de Noronha.

A.1. REGISTROS DE VTCD NA USINA TUBARÃO

Nas Tabelas 16 e 17, estão dispostos os registros utilizados nos cálculos do Fator de Impacto.

Tabela 16 - 160 registros de VTCD da Usina Tubarão

Local Time	SS1 DistDur	SS1 DistV1 Max	SS1 DistV1 Min	SS1 DistV2 Max	SS1 DistV2 Min	SS1 DistV3 Max	SS1 DistV3 Min
2013-jan-06 21:17:29,963	0,0640	91,698	76,363	92,242	77,795	91,731	76,114
2013-jan-23 10:55:00,312	0,9360	91,959	74,837	92,512	75,249	93,298	75,969
2013-jan-29 07:53:31,744	0,5850	96,662	86,471	91,969	76,768	98,690	89,925
2013-jan-29 08:06:59,892	0,1490	91,814	87,605	95,877	92,987	94,578	88,812
2013-jan-29 08:26:07,598	0,1580	95,813	93,464	95,702	93,386	91,889	88,626
2013-jan-29 08:40:46,139	0,3170	96,374	87,670	97,104	89,132	91,936	82,575
2013-fev-12 17:15:28,373	0,1920	97,843	68,077	95,720	41,389	91,870	29,237
2013-fev-22 23:13:13,685	0,1900	92,435	89,534	91,449	83,803	91,685	87,124
2013-fev-22 23:13:15,079	0,3350	96,048	92,249	91,864	87,286	92,576	89,608
2013-fev-22 23:17:38,219	0,0090	97,662	97,662	89,846	89,846	94,239	94,239
2013-fev-22 23:17:38,712	0,0080	98,830	98,830	89,559	89,559	95,300	95,300
2013-fev-26 11:10:16,506	4,1280	91,946	75,519	93,122	75,943	93,975	78,062
2013-fev-27 07:45:42,639	0,0990	94,989	93,327	91,730	88,909	94,605	93,400
2013-mar-04 12:44:09,824	781,6090	90,427	0,000	101,379	0,000	95,094	0,000
2013-mar-04 12:44:27,000	0,0900	93,104	79,888	95,839	86,379	91,385	75,721
2013-mar-04 12:44:58,985	0,1170	92,869	82,855	91,924	79,175	94,716	85,432
2013-mar-04 12:44:59,698	0,4540	91,895	87,413	91,940	87,559	93,071	88,495
2013-mar-04 12:45:54,472	0,9720	95,681	77,090	90,793	69,490	94,457	77,254
2013-mar-04 12:53:01,354	0,0810	91,842	88,528	94,808	92,809	95,798	93,452
2013-mar-29 07:37:37,000	0,0830	91,360	71,683	92,850	73,811	92,555	71,819
2013-abr-09 13:35:05,000	0,3930	91,925	82,831	98,709	92,241	97,167	89,735
2013-abr-11 09:33:53,774	0,3250	91,942	89,725	97,568	96,215	95,991	94,023
2013-abr-11 17:41:45,664	0,4350	91,907	80,956	98,782	91,388	97,878	89,707
2013-abr-14 11:55:54,839	0,2490	91,963	87,976	97,004	94,396	96,056	93,268
2013-abr-14 11:56:01,471	0,3250	95,206	89,905	91,843	85,049	95,651	89,981
2013-abr-15 09:05:13,950	12,6280	92,885	53,461	91,837	54,102	94,658	54,569

2013-abr-16 09:39:49,964	0,1320	95,845	91,985	91,860	88,116	96,542	94,126
2013-abr-16 10:30:36,105	0,3110	97,074	92,832	96,436	92,065	91,922	85,684
2013-abr-16 10:30:41,950	0,3100	95,106	89,054	91,947	85,079	96,191	91,215
2013-abr-16 10:31:05,839	0,2610	94,769	89,450	91,897	86,636	95,614	91,841
2013-abr-24 22:26:42,518	0,0590	97,015	91,340	90,451	65,156	92,490	83,259
2013-abr-24 22:55:43,218	0,6840	93,945	81,190	91,761	74,027	94,322	80,361
2013-abr-25 13:34:23,839	0,0480	98,868	98,853	81,816	22,826	98,828	98,776
2013-abr-25 13:34:27,942	0,0330	98,895	98,890	99,113	99,103	88,826	88,676
2013-abr-25 13:34:28,510	0,0160	98,725	98,712	98,924	98,909	88,592	88,556
2013-abr-25 14:14:20,519	0,0420	98,827	98,800	98,936	98,905	90,133	66,037
2013-abr-25 16:20:36,099	0,0240	98,851	98,839	99,120	99,107	83,853	78,678
2013-abr-25 16:20:36,166	0,0260	98,888	98,863	99,136	99,124	89,948	82,103
2013-abr-25 16:20:36,216	0,0160	98,861	98,858	99,129	99,126	82,077	76,406
2013-abr-25 16:20:36,257	0,0250	98,879	98,874	99,156	99,138	90,921	71,554
2013-abr-25 16:20:36,391	0,0400	98,848	98,836	99,120	99,110	88,098	65,438
2013-abr-25 16:20:36,608	0,1840	98,850	98,804	99,116	99,066	84,232	35,490
2013-abr-25 16:20:36,892	0,1840	98,943	98,906	99,223	99,175	76,379	34,166
2013-abr-27 15:57:43,637	0,4020	95,586	90,879	91,873	87,182	98,502	95,790
2013-mai-05 07:15:55,350	0,0320	97,696	96,497	90,921	88,233	94,513	92,159
2013-mai-09 18:11:30,117	0,0160	97,479	97,303	91,288	88,658	93,104	93,013
2013-mai-21 07:38:35,433	0,7320	91,898	72,756	99,691	89,232	98,860	86,227
2013-mai-21 07:45:39,473	0,2110	91,963	85,101	95,361	88,892	96,964	91,394
2013-mai-21 08:04:23,127	0,5400	98,596	88,515	98,624	87,048	91,954	75,426
2013-mai-21 08:04:30,467	0,0740	91,841	89,992	93,822	92,077	95,182	94,137
2013-mai-21 08:13:11,653	0,2240	96,977	93,278	97,204	92,827	91,974	86,119
2013-mai-26 16:30:56,972	1,6110	92,011	65,832	92,030	65,632	91,842	66,811
2013-mai-26 16:30:57,839	0,6100	91,828	77,118	92,192	77,627	92,704	77,929
2013-mai-26 16:30:58,650	0,3870	91,899	86,403	92,044	86,691	92,792	87,227
2013-jun-04 00:07:02,210	0,1020	94,719	89,836	94,250	79,901	91,672	57,339
2013-jun-04 00:39:06,801	0,1740	93,276	88,124	91,731	79,589	94,066	85,096
2013-jun-08 18:19:34,594	0,0770	90,917	58,976	98,098	80,017	100,099	91,970
2013-jun-08 18:29:35,626	574,1640	93,983	0,000	91,957	0,000	96,377	0,000
2013-jun-08 18:30:07,971	0,2590	91,865	78,119	94,409	87,669	93,338	83,593
2013-jun-08 18:44:59,386	0,1000	93,047	90,411	93,009	89,267	91,823	87,227
2013-jun-08 18:46:08,770	0,2840	91,930	83,026	93,252	85,094	95,485	88,880
2013-jun-12 08:51:40,298	0,5440	91,966	89,023	98,319	96,635	95,812	93,732
2013-jun-12 08:51:45,691	0,0990	94,763	93,314	91,873	89,564	93,736	92,844
2013-jun-13 13:28:19,984	0,1580	98,172	96,758	96,214	93,290	91,945	89,207
2013-jun-13 13:28:24,633	0,1660	91,921	85,863	95,185	91,397	96,506	92,302
2013-jun-14 13:30:38,952	2,0700	91,836	72,345	92,555	72,661	93,488	73,483
2013-jun-14 13:48:38,823	659,7550	99,731	0,000	98,161	0,000	91,365	0,000
2013-jun-14 13:49:23,326	0,1340	91,796	78,523	92,760	79,105	97,564	87,756
2013-jun-14 13:49:56,770	0,0230	91,983	89,875	93,156	92,435	94,803	92,662
2013-jun-14 13:52:05,542	0,6760	93,954	70,644	91,974	67,809	97,718	78,598
2013-jun-14 13:52:37,671	1,0380	91,706	76,646	94,411	78,747	94,359	79,473

2013-jun-14 13:56:04,697	0,5010	91,896	88,339	92,728	89,119	91,940	88,014
2013-jun-21 13:57:29,100	0,0740	97,219	91,546	95,054	77,711	91,297	53,192
2013-jun-21 14:07:37,827	0,4940	91,967	72,911	95,958	79,653	97,247	80,855
2013-jun-28 08:28:43,673	0,1240	92,949	69,729	91,475	50,818	97,705	84,302
2013-jun-28 09:58:56,726	0,0980	92,797	91,292	91,646	88,759	92,803	91,163
2013-jun-29 09:04:40,167	28,7190	91,972	51,401	95,019	52,626	93,375	50,928
2013-jun-29 15:39:40,939	0,2280	91,908	89,899	92,636	90,560	91,920	89,936
2013-jun-29 15:39:41,924	0,4080	92,011	88,676	92,727	89,250	91,999	88,631
2013-jun-29 15:39:42,870	0,4780	91,909	88,251	92,673	88,915	91,971	88,268
2013-jun-29 15:39:43,713	0,3840	92,012	89,584	92,621	90,174	91,886	89,566
2013-jun-29 15:40:42,586	35,6560	91,982	89,310	92,901	89,886	92,171	89,579
2013-jun-29 15:41:06,655	0,3340	91,915	89,968	92,720	90,853	92,135	90,295
2013-jun-29 15:41:08,550	0,4090	91,991	89,848	92,832	90,691	92,256	90,152
2013-jun-29 15:41:21,418	9,9170	91,966	89,871	92,899	90,571	92,301	90,165
2013-jun-29 15:41:44,247	17,0820	91,983	89,763	92,858	90,640	92,356	90,143
2013-jun-29 15:43:28,266	40,7710	91,957	87,928	92,959	88,900	92,356	88,457
2013-jun-29 15:44:05,415	3,5210	91,788	82,043	92,206	82,685	91,801	82,541
2013-jun-29 15:44:13,768	4,7990	91,935	84,834	92,426	85,320	91,932	85,012
2013-jun-29 15:44:40,329	22,4990	91,897	0,000	93,321	0,000	93,073	0,000
2013-jun-30 08:14:24,543	0,1570	91,830	88,350	98,346	95,643	96,584	94,220
2013-jul-05 20:27:14,266	0,1410	91,660	69,780	102,693	86,698	92,965	52,091
2013-jul-05 21:29:46,428	0,1170	91,996	88,920	94,089	91,482	92,140	86,734
2013-jul-12 06:33:20,588	0,1490	95,567	91,914	95,417	92,722	91,608	87,457
2013-jul-12 06:43:29,620	0,0600	93,226	91,670	91,612	89,817	92,374	90,631
2013-jul-12 06:43:35,998	0,0480	94,367	93,387	91,624	89,960	93,969	92,405
2013-jul-12 06:43:36,224	0,0330	93,054	91,555	91,821	88,601	95,465	91,180
2013-ago-01 16:35:16,057	0,2340	91,975	89,794	92,529	90,333	92,633	90,462
2013-ago-08 09:14:01,410	0,1260	91,728	87,841	98,310	95,905	97,040	94,692
2013-ago-08 10:10:20,196	0,4080	98,097	88,715	91,819	79,598	99,114	90,591
2013-ago-08 10:26:24,027	0,4920	91,998	76,884	100,715	89,988	98,937	87,730
2013-ago-11 08:57:50,304	0,4840	91,927	87,078	92,718	87,915	92,961	88,027
2013-ago-14 08:22:02,502	0,6770	99,294	94,433	97,783	88,379	91,982	81,890
2013-ago-14 08:22:06,121	0,4920	92,000	81,686	95,194	89,395	96,002	88,722
2013-ago-18 17:44:14,800	2,0340	91,999	89,173	92,282	89,464	92,445	89,652
2013-ago-18 17:44:18,144	1,5590	91,981	89,922	92,263	90,174	92,410	90,366
2013-ago-18 17:44:44,180	1,5250	91,982	89,677	92,263	89,936	92,303	89,978
2013-ago-18 17:45:36,284	2,2710	91,940	88,882	92,107	88,982	92,316	89,202
2013-ago-18 17:45:45,981	3,9790	91,989	88,709	92,105	88,828	92,396	89,085
2013-ago-18 17:46:03,079	2,7070	91,999	87,869	92,680	88,256	92,592	88,364
2013-ago-18 18:03:04,461	898,1030	94,461	0,000	95,408	0,000	91,727	0,000
2013-ago-18 18:03:21,634	0,2680	98,519	87,803	91,933	77,321	95,390	84,614
2013-ago-18 18:08:42,134	0,5640	91,795	83,742	92,189	84,260	91,836	82,029
2013-ago-18 18:09:43,855	0,6070	94,238	84,536	92,953	82,506	91,971	79,981
2013-set-06 01:05:17,692	1,7090	92,648	72,333	92,958	72,803	91,792	71,871
2013-set-11 18:27:11,919	27,6210	92,742	0,000	91,985	0,000	93,918	0,000

2013-set-12 10:36:28,312	0,0840	91,416	88,025	93,558	92,102	92,893	89,039
2013-set-17 07:53:03,769	0,2520	91,963	88,267	99,329	97,433	96,848	93,156
2013-set-30 10:11:44,786	0,1660	96,937	92,772	91,894	85,746	97,860	94,616
2013-set-30 14:32:11,036	0,3080	97,956	90,013	91,996	80,626	99,032	92,301
2013-set-30 14:32:19,627	0,1500	96,020	91,680	96,855	92,800	91,992	86,910
2013-out-01 10:02:13,692	0,7400	98,285	82,075	91,963	70,694	100,641	85,161
2013-out-01 14:22:53,411	0,5270	91,958	75,255	99,463	89,666	98,231	86,742
2013-out-21 10:35:50,134	0,0830	97,203	90,559	95,169	69,541	93,778	54,038
2013-out-21 11:30:31,859	0,1330	91,733	83,966	93,389	87,889	94,202	88,954
2013-out-21 11:32:00,006	0,0750	91,996	89,607	94,335	93,183	95,683	94,462
2013-out-26 10:07:41,093	0,7600	91,939	84,587	92,074	84,771	92,310	84,966
2013-out-28 09:21:48,386	0,1490	97,076	94,465	96,787	93,761	91,923	87,713
2013-out-28 09:21:53,385	0,1090	94,779	92,206	91,728	88,785	95,873	94,141
2013-out-28 09:45:46,792	0,3240	97,181	92,002	97,272	91,447	91,873	83,607
2013-out-28 09:46:03,537	0,1830	93,694	90,742	91,906	88,601	95,352	93,289
2013-out-28 10:02:27,991	0,1320	94,981	91,184	91,925	87,673	96,140	93,326
2013-nov-01 10:17:45,692	0,3180	98,157	90,269	91,937	80,408	99,217	92,680
2013-nov-02 11:54:03,915	13,9730	91,918	56,366	92,489	56,174	91,984	56,190
2013-nov-12 13:01:23,464	0,1920	91,790	86,100	97,599	94,277	96,498	92,860
2013-nov-12 15:08:56,789	0,5340	91,870	72,259	98,927	88,443	98,374	85,189
2013-nov-13 09:13:11,640	0,9140	91,965	68,283	99,034	84,985	98,273	82,261
2013-nov-13 15:24:53,167	0,1570	91,864	88,381	97,592	94,907	96,451	94,083
2013-nov-23 11:13:34,501	0,1240	95,558	74,409	93,323	49,256	90,617	29,451
2013-nov-23 11:43:03,100	0,1010	92,366	72,193	91,960	74,229	95,863	81,311
2013-nov-23 12:01:50,581	0,1310	95,837	89,965	94,525	88,077	91,660	84,162
2013-nov-23 12:17:47,468	0,1000	91,783	86,513	94,884	92,141	95,206	92,002
2013-nov-26 08:02:32,955	0,2640	91,821	87,258	97,176	93,243	95,535	92,217
2013-dez-10 17:24:30,669	4,9540	91,984	85,484	92,916	86,222	92,847	86,308
2013-dez-10 17:25:01,852	26,5770	91,952	81,162	92,762	81,956	92,489	81,844
2013-dez-10 17:25:06,974	2,0160	91,950	88,582	92,884	89,487	92,587	89,224
2013-dez-17 10:41:38,508	980,0310	102,44 6	0,000	103,579	0,000	86,196	0,000
2013-dez-17 10:50:54,116	555,5170	190,65 2	101,06 2	190,659	98,943	190,650	102,07 6
2013-dez-17 10:57:09,419	375,2190	105,05 5	0,000	98,956	0,000	95,147	0,000
2013-dez-17 11:12:10,205	900,6940	190,64 5	101,10 9	190,685	107,00 6	190,682	94,801
2013-dez-17 11:12:58,494	48,1790	190,62 5	0,000	190,604	0,000	190,645	0,000
2013-dez-17 13:22:23,042	7766,111 8	97,365	0,000	101,317	0,000	97,676	0,000
2013-dez-18 08:33:04,617	629,2420	190,69 4	0,000	190,707	0,000	190,680	0,000
2013-dez-18 08:33:50,375	45,6230	97,260	0,000	92,246	0,000	98,650	0,000
2013-dez-18 08:50:16,859	986,3830	190,67 0	108,29 6	190,777	98,325	190,689	97,967

2013-dez-18 08:52:48,696	151,6380	103,216	0,000	92,322	0,000	106,313	0,000
2013-dez-30 05:43:07,083	67,3760	91,962	0,000	92,437	0,000	93,634	0,000
2013-dez-30 06:22:02,519	0,4750	91,958	87,124	92,342	87,516	92,620	87,744
2013-dez-30 06:53:32,390	0,1580	91,996	89,615	92,451	90,075	92,602	90,120
2013-dez-30 10:09:44,799	0,1820	93,912	75,397	96,048	74,406	91,768	73,278

Fonte: O Autor, 2019.

Tabela 17 – 100 registros de VTCD da Usina Tubarão

Local Time	SS1 DistDur	SS1 DistV1 Max	SS1 DistV1 Min	SS1 DistV2 Max	SS1 DistV2 Min	SS1 DistV3M ax	SS1 DistV3 Min
2013-jan-06 21:17:29,963	0,0640	91,698	76,363	92,242	77,795	91,731	76,114
2013-jan-23 10:55:00,312	0,9360	91,959	74,837	92,512	75,249	93,298	75,969
2013-jan-29 07:53:31,744	0,5850	96,662	86,471	91,969	76,768	98,690	89,925
2013-jan-29 08:06:59,892	0,1490	91,814	87,605	95,877	92,987	94,578	88,812
2013-jan-29 08:26:07,598	0,1580	95,813	93,464	95,702	93,386	91,889	88,626
2013-jan-29 08:40:46,139	0,3170	96,374	87,670	97,104	89,132	91,936	82,575
2013-fev-12 17:15:28,373	0,1920	97,843	68,077	95,720	41,389	91,870	29,237
2013-fev-22 23:13:15,079	0,3350	96,048	92,249	91,864	83,803	92,576	89,608
2013-fev-22 23:17:38,219	0,0090	97,662	97,662	89,846	89,559	94,239	94,239
2013-fev-26 11:10:16,506	4,1280	91,946	75,519	93,122	75,943	93,975	78,062
2013-fev-27 07:45:42,639	0,0990	94,989	93,327	91,730	88,909	94,605	93,400
2013-mar-04 12:44:27,391	0,0900	93,104	79,888	95,839	86,379	91,385	75,721
2013-mar-04 12:44:58,985	0,1170	92,869	82,855	91,924	79,175	94,716	85,432
2013-mar-04 12:44:59,698	0,4540	91,895	87,413	91,940	87,559	93,071	88,495
2013-mar-04 12:45:54,472	0,9720	95,681	77,090	90,793	69,490	94,457	77,254
2013-mar-04 12:53:01,354	0,0810	91,842	88,528	94,808	92,809	95,798	93,452
2013-mar-29 07:37:36,999	0,0830	91,360	71,683	92,850	73,811	92,555	71,819
2013-abr-09 13:35:05,088	0,3930	91,925	82,831	98,709	92,241	97,167	89,735
2013-abr-11 09:33:53,774	0,3250	91,942	89,725	97,568	96,215	95,991	94,023
2013-abr-11 17:41:45,664	0,4350	91,907	80,956	98,782	91,388	97,878	89,707
2013-abr-14 11:56:01,471	0,3250	95,206	89,905	91,843	85,049	95,651	89,981
2013-abr-15 09:05:13,950	12,6280	92,885	53,461	91,837	54,102	94,658	54,569
2013-abr-16 09:39:49,964	0,1320	95,845	91,985	91,860	88,116	96,542	94,126
2013-abr-16 10:30:36,105	0,3110	97,074	92,832	96,436	85,079	91,922	85,684
2013-abr-24 22:26:42,518	0,0590	97,015	91,340	90,451	65,156	92,490	83,259
2013-abr-24 22:55:43,218	0,6840	93,945	81,190	91,761	74,027	94,322	80,361
2013-abr-25 13:34:23,839	0,0480	98,868	98,853	81,816	22,826	98,828	98,776
2013-abr-25 14:14:20,519	0,0420	98,827	98,800	98,936	98,905	90,133	66,037
2013-abr-25 16:20:36,892	0,1840	98,943	98,906	99,223	99,175	76,379	34,166
2013-abr-27 15:57:43,637	0,4020	95,586	90,879	91,873	87,182	98,502	95,790
2013-mai-05 07:15:55,350	0,0320	97,696	96,497	90,921	88,233	94,513	92,159
2013-mai-09 18:11:30,117	0,0160	97,479	97,303	91,288	88,658	93,104	93,013

2013-mai-21 07:38:35,433	0,7320	91,898	72,756	99,691	89,232	98,860	86,227
2013-mai-21 07:45:39,473	0,2110	91,963	85,101	95,361	88,892	96,964	91,394
2013-mai-21 08:04:23,127	0,5400	98,596	88,515	98,624	87,048	91,954	75,426
2013-mai-21 08:13:11,653	0,2240	96,977	93,278	97,204	92,827	91,974	86,119
2013-mai-26 16:30:56,972	1,6110	92,011	65,832	92,030	65,632	91,842	66,811
2013-jun-04 00:07:02,210	0,1020	94,719	89,836	94,250	79,901	91,672	57,339
2013-jun-04 00:39:06,801	0,1740	93,276	88,124	91,731	79,589	94,066	85,096
2013-jun-08 18:19:34,594	0,0770	90,917	58,976	98,098	80,017	100,099	91,970
2013-jun-08 18:30:07,971	0,2590	91,865	78,119	94,409	87,669	93,338	83,593
2013-jun-08 18:46:08,770	0,2840	91,930	83,026	93,252	85,094	95,485	88,880
2013-jun-12 08:51:40,298	0,5440	91,966	89,023	98,319	96,635	95,812	93,732
2013-jun-13 13:28:24,633	0,1660	91,921	85,863	95,185	91,397	96,506	92,302
2013-jun-14 13:30:38,952	2,0700	91,836	72,345	92,555	72,661	93,488	73,483
2013-jun-14 13:49:23,326	0,1340	91,796	78,523	92,760	79,105	97,564	87,756
2013-jun-14 13:49:56,770	0,0230	91,983	89,875	93,156	92,435	94,803	92,662
2013-jun-14 13:52:37,671	1,0380	91,706	76,646	94,411	67,809	94,359	79,473
2013-jun-14 13:56:04,697	0,5010	91,896	88,339	92,728	89,119	91,940	88,014
2013-jun-21 13:57:29,100	0,0740	97,219	91,546	95,054	77,711	91,297	53,192
2013-jun-21 14:07:37,827	0,4940	91,967	72,911	95,958	79,653	97,247	80,855
2013-jun-28 08:28:43,673	0,1240	92,949	69,729	91,475	50,818	97,705	84,302
2013-jun-28 09:58:56,726	0,0980	92,797	91,292	91,646	88,759	92,803	91,163
2013-jun-29 09:04:40,167	28,7190	91,972	51,401	95,019	52,626	93,375	50,928
2013-jun-29 15:40:42,586	35,6560	91,982	88,251	92,901	89,886	92,171	89,579
2013-jun-29 15:43:28,266	40,7710	91,957	87,928	92,959	88,900	92,356	88,457
2013-jun-29 15:44:05,415	3,5210	91,788	82,043	92,206	82,685	91,801	82,541
2013-jun-29 15:44:13,768	4,7990	91,935	84,834	92,426	85,320	91,932	85,012
2013-jun-30 08:14:24,543	0,1570	91,830	88,350	98,346	95,643	96,584	94,220
2013-jul-05 20:27:14,266	0,1410	91,660	69,780	102,693	86,698	92,965	52,091
2013-jul-05 21:29:46,428	0,1170	91,996	88,920	94,089	91,482	92,140	86,734
2013-jul-12 06:33:20,588	0,1490	95,567	91,914	95,417	92,722	91,608	87,457
2013-jul-12 06:43:29,620	0,0600	93,226	91,670	91,612	88,601	92,374	90,631
2013-ago-01 16:35:16,057	0,2340	91,975	89,794	92,529	90,333	92,633	90,462
2013-ago-08 09:14:01,410	0,1260	91,728	87,841	98,310	95,905	97,040	94,692
2013-ago-08 10:10:20,196	0,4080	98,097	88,715	91,819	79,598	99,114	90,591
2013-ago-08 10:26:24,027	0,4920	91,998	76,884	100,715	89,988	98,937	87,730
2013-ago-11 08:57:50,304	0,4840	91,927	87,078	92,718	87,915	92,961	88,027
2013-ago-14 08:22:02,502	0,6770	99,294	81,686	97,783	88,379	91,982	81,890
2013-ago-18 17:45:45,981	3,9790	91,989	88,709	92,105	88,828	92,396	89,085
2013-ago-18 18:03:21,634	0,2680	98,519	87,803	91,933	77,321	95,390	84,614
2013-ago-18 18:09:43,855	0,6070	94,238	84,536	92,953	82,506	91,971	79,981
2013-set-06 01:05:17,692	1,7090	92,648	72,333	92,958	72,803	91,792	71,871
2013-set-12 10:36:28,312	0,0840	91,416	88,025	93,558	92,102	92,893	89,039
2013-set-17 07:53:03,769	0,2520	91,963	88,267	99,329	97,433	96,848	93,156

2013-set-30 10:11:44,786	0,1660	96,937	92,772	91,894	85,746	97,860	94,616
2013-set-30 14:32:11,036	0,3080	97,956	90,013	91,996	80,626	99,032	92,301
2013-out-01 10:02:13,692	0,7400	98,285	82,075	91,963	70,694	100,641	85,161
2013-out-01 14:22:53,411	0,5270	91,958	75,255	99,463	89,666	98,231	86,742
2013-out-21 10:35:50,134	0,0830	97,203	90,559	95,169	69,541	93,778	54,038
2013-out-21 11:30:31,859	0,1330	91,733	83,966	93,389	87,889	94,202	88,954
2013-out-26 10:07:41,093	0,7600	91,939	84,587	92,074	84,771	92,310	84,966
2013-out-28 09:21:48,386	0,1490	97,076	94,465	96,787	93,761	91,923	87,713
2013-out-28 09:45:46,792	0,3240	97,181	92,002	97,272	91,447	91,873	83,607
2013-out-28 10:02:27,991	0,1320	94,981	91,184	91,925	87,673	96,140	93,326
2013-nov-01 10:17:45,692	0,3180	98,157	90,269	91,937	80,408	99,217	92,680
2013-nov-02 11:54:03,915	13,9730	91,918	56,366	92,489	56,174	91,984	56,190
2013-nov-12 13:01:23,464	0,1920	91,790	86,100	97,599	94,277	96,498	92,860
2013-nov-12 15:08:56,789	0,5340	91,870	72,259	98,927	88,443	98,374	85,189
2013-nov-13 09:13:11,640	0,9140	91,965	68,283	99,034	84,985	98,273	82,261
2013-nov-13 15:24:53,167	0,1570	91,864	88,381	97,592	94,907	96,451	94,083
2013-nov-23 11:13:34,501	0,1240	95,558	74,409	93,323	49,256	90,617	29,451
2013-nov-23 11:43:03,100	0,1010	92,366	72,193	91,960	74,229	95,863	81,311
2013-nov-23 12:01:50,581	0,1310	95,837	89,965	94,525	88,077	91,660	84,162
2013-nov-23 12:17:47,468	0,1000	91,783	86,513	94,884	92,141	95,206	92,002
2013-nov-26 08:02:32,955	0,2640	91,821	87,258	97,176	93,243	95,535	92,217
2013-dez-10 17:25:01,852	26,5770	91,952	81,162	92,762	81,956	92,489	81,844
2013-dez-30 06:22:02,519	0,4750	91,958	87,124	92,342	87,516	92,620	87,744
2013-dez-30 06:53:32,390	0,1580	91,996	89,615	92,451	90,075	92,602	90,120
2013-dez-30 10:09:44,799	0,1820	93,912	75,397	96,048	74,406	91,768	73,278

Fonte: O Autor, 2019.