Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

Relatório II:

Variações de Tensão de Curta e Longa Duração

Disciplina: Qualidade de Energia Elétrica

Discente: Rafael Pavan

Docente: Prof. Dr. Helmo K. Morales Paredes

SUMÁRIO

1.	R	ESUMO	5
2.	0	BJETIVO	6
3.	. 11	NTRODUÇÃO	7
	3.1	ELEVAÇÃO MOMENTÂNEA DE TENSÃO (SWELL)	7
	3.2	AFUNDAMENTO MOMENTÂNEO DE TENSÃO (SAGS, DIPS)	8
	3.3	INTERRUPÇÃO MOMENTÂNEA DE TENSÃO	9
	3.4	SOBRETENSÃO	9
	3.4	SUBTENSÃO	10
	3.5	INTERRUPÇÃO SUSTENTADA	10
4.	Α	NÁLISE COMPARATIVA DE NORMATIZAÇÃO EM VARIAÇÃO DE TENSÃO	
D	E C	URTA E LONGA DURAÇÃO	
	4.1	NORMAS AMERICANAS	
	4.2	NORMAS BRASIEIRAS	
	4.3	NORMAS EUROPEIAS	17
	4.4	OUTRAS	
5.	Ε	STUDOS DE CASO COM SIMULAÇÕES	23
	5.1	AFUNDAMENTO DE TENSÃO POR PARTIDA DE MOTOR DE INDUÇÃO	23
	5.2	AFUNDAMENTO DE TENSÃO POR CURTO-CIRCUITO FASE TERRA	26
	5.3		
	CAI	PACITORES	
	5.4 DE	ELEVAÇÃO E AFUNDAMENTO DE TENSÃO PERMANENTE POR PERDA CONDUTOR NEUTRO	
	5.5	AFUNDAMENTO DE TENSÃO PERMANENTE POR EXCESSO DE	
		RGA	
		ANÁLISE FATOR DE IMPACTO PARA VARIAÇÃO DE TENSÃO DE CURT	
_		RAÇÃO	
		ONCLUSÕES	
7.	R	EFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Elevação de Tensão Causada por uma Falta Fase-Terra	8
Figura 2 – Afundamento de Tensão Causado Por Falta Fase-Terra	8
Figura 3 – Interrupção de Tensão	9
Figura 4 – Variações de Tensão de Curta Duração – IEEE - 1159-2009	12
Figura 5 – Variações de Tensão de Longa Duração – IEEE - 1159-2009	12
Figura 6 – Faixas de Variação de Tensão Aplicados em Sistemas de V < 1kV	13
Figura 7 – Classificação das VTCD	14
Figura 8 – Tabela para a Estratificação das VCTD	15
Figura 9 – Regiões de Sensibilidade	15
Figura 10 – Fatores de Ponderação	16
Figura 11 – Classificação dos Afundamentos de Tensão [EN 50160 e IEC TR	
61000-2-8]	18
Figura 12 – Classificação das Elevações de Tensão EN 50160	18
Figura 12 – Classificação das Elevações de Tensão EN 50160	19
Figura 13 – Limites Estabelecidos pela EN 50160, EN 6100	20
Figura 14 – Curva ITIC (CBEMA)	22
Figura 15 – Afundamento de Tensão por Partida de Motor	23
Figura 16 – Tensão e Corrente de Linha Instantânea na Partida do Motor	24
Figura 17 – Tensão de Linha RMS na Partida do Motor	24
Figura 18 – Afundamento de Tensão por Curto Fase-Terra	26
Figura 19– Tensão Instantânea de Fase - Curto Fase-Terra	27
Figura 20 – Tensão RMS de Linha - Curto Fase-Terra	27

Figura 21 – Elevação de Tensão por Acionamento de Banco Capacitivo	30
Figura 22 – Tensão e Corrente Instantânea de Linha	30
Figura 23 – Tensão RMS de Linha	31
Figura 24 – Afundamento e Elevação Sustentados, Por Perda de Condutor	Neutro
com Cargas Desequilibradas	33
Figura 25 – Tensão RMS de Fase	34
Figura 26 – Afundamento de Tensão Permanente por Excesso de Carga	36
Figura 27 – Tensão RMS de Linha	37

1. RESUMO

Variações de tensão de curta e longa duração estão entre os distúrbios de qualidade de energia elétrica mais comuns. Podem ser caracterizados de acordo com a amplitude do evento e com a duração do mesmo, dividindo-se em instantâneos, momentâneos, temporários e duradouros. Tais distúrbios acarretam desgastes nos equipamentos susceptíveis as suas ocorrências, de modo a diminuírem sua vida útil ou até mesmo danificando-os. No geral, estão relacionados ao afundamento, elevação e interrupção da tensão fornecida para o consumidor.

2. OBJETIVO

Este trabalho tem por objetivo apresentar os principais distúrbios de variação de tensão de longa e curta duração, caracterizando-os conforme a teoria de qualidade de energia elétrica e as diferentes normas utilizadas no mundo. Serão realizadas simulações para ilustrarem tais fenômenos, e a partir destas, as variações de tensão serão analisadas de acordo com as referências normativas citadas no trabalho.

3. INTRODUÇÃO

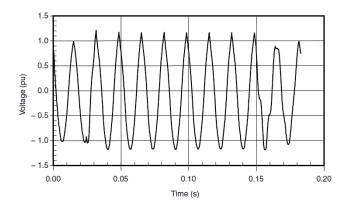
Dentre os fenômenos que contribuem para a perda de qualidade da energia elétrica, as variações de tensão de longa e curta duração ocupam um grande destaque. Tais distúrbios estão associados a variação do valor RMS das tensões. Quando classificadas como sendo de curta duração, dividem-se em três grupos: instantâneas (0,5 a 30 ciclos), momentâneas (30 ciclos a 3s) e temporárias (3s a 1 min) [1]. As de longa duração possuem um intervalo de ocorrência superior a 1 minuto.

Segundo Dugan [2], as variações de tensão de curta duração podem ser causadas por condições de faltas, energização de cargas de alta inercia que demandam grande corrente durante o acionamento e perdas intermitentes de conexões dos condutores elétricos. Por outro lado, as variações de tensões de longa duração, geralmente são causadas por variações de carga no sistema e pela operação deste, ao se realizar comutações. A seguir, será realizado um detalhamento dos principais tipos de variação de tensão.

3.1 ELEVAÇÃO MOMENTÂNEA DE TENSÃO (SWELL)

A elevação momentânea de tensão pode ser descrita como o aumento entre 1.1 e 1.8 pu do valor RMS da tensão na frequência nominal, em um intervalo de 0,5 ciclo até 1 minuto [2]. Costumam ser menos comuns que os afundamentos de tensão, e suas consequências acabam por interferir no funcionamento de dispositivos eletrônicos, computadores e controladores, reduzindo também a vida útil de máquinas rotativas, transformadores, cabos, barramentos, TP's e TC's. Uma das maneiras mais genéricas de ocorrência deste tipo de elevação de tensão, é na ocorrência de uma falta fase-terra, quando as fases não envolvidas apresentam tal fenômeno.

Figura 1 – Elevação de Tensão Causada por uma Falta Fase-Terra

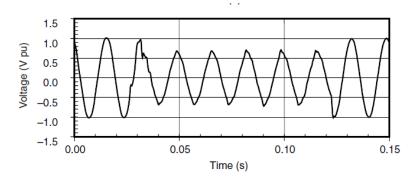


Fonte: Electrical Power Quality Systems, Dugan [2]

3.2 AFUNDAMENTO MOMENTÂNEO DE TENSÃO (SAGS, DIPS)

O afundamento momentâneo de tensão pode ser descrito como a diminuição entre 0.1 e 0.9 pu do valor RMS da tensão na frequência nominal, em um intervalo de 0,5 ciclo até 1 minuto [2]. Podem estar associadas às faltas nas redes de energia, energização de transformadores, mas comumente estão ligadas ao acionamento de cargas de elevada inercia.

Figura 2 – Afundamento de Tensão Causado Por Falta Fase-Terra



Fonte: Electrical Power Quality Systems, Dugan [2]

3.3 INTERRUPÇÃO MOMENTÂNEA DE TENSÃO

A interrupção ocorre quando a tensão de fornecimento decai abaixo de 0.1 pu do valor RMS da tensão na frequência nominal, em um intervalo inferior a 1 minuto. Podem estar associadas às faltas nas redes de energia, falhas em equipamentos e má funcionalidade de sistemas de controle. Geralmente são precedidas de um afundamento de tensão, quando a interrupção está associada a uma falta na rede.

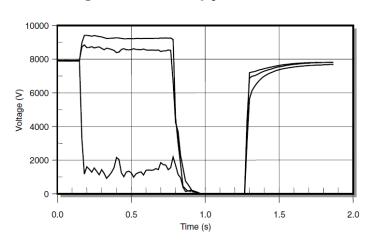


Figura 3 - Interrupção de Tensão

Fonte: Electrical Power Quality Systems, Dugan [2]

3.4 SOBRETENSÃO

A sobretensão é uma elevação maior que 1.1 pu no valor RMS da tensão por um período superior a 1 minuto, na frequência nominal. Geralmente são ocasionadas devido a conexão de bancos de capacitores ou desconexão de grandes cargas do sistema. Ocorrem pelo fato dos sistemas serem fracos para regular a tensão no nível adequado, ou por possuírem um sistema de controle inadequado, ou pelo fato do tap dos transformadores estarem configurados de maneira incorreta [2]. Dispositivos podem vir a sofrer danos devido a este fenômeno, e caso sejam submetidos a repetidas

sobtensões, podem ter a vida útil reduzida [3]. Os valores típicos de sobretensão estão entre 1.1 e 1.2 pu [4].

3.4 SUBTENSÃO

A subtensão é uma diminuição para menos de que 0.9 pu no valor RMS da tensão por um período superior a 1 minuto, na frequência nominal. Geralmente são ocasionadas devido a excessiva carga em alimentadores e pelo mal dimensionamento das instalações elétricas. Também podem ocorrer na conexão de grandes cargas à rede elétrica, desligamento de bancos de capacitores e excesso de reativo no sistema [3].

3.5 INTERRUPÇÃO SUSTENTADA

A interrupção duradoura é quando o valor RMS da tensão é igual a zerp por um período superior a 1 minuto. Geralmente são permanentes, e necessitam de trabalho humano para reativar o sistema e repará-lo [2]. As principais causas para tais interrupções são falhas em fusíveis, disjuntores e circuitos de proteção no geral. Também podem ser do tipo planejadas, por parte da concessionária ao realizar algum serviço de manutenção na rede elétrica ou na instalação local.

4. ANÁLISE COMPARATIVA DE NORMATIZAÇÃO EM VARIAÇÃO DE TENSÃO DE CURTA E LONGA DURAÇÃO

Neste item, serão comparadas as normas americanas, europeias, brasileiras e demais padrões pertinentes no tocante à qualidade de energia elétrica, em específico, aos distúrbios de variação de curta e longa duração na tensão.

4.1 NORMAS AMERICANAS

Nos Estados Unidos, a norma IEE 1159 – 2009 apresenta o conjunto de práticas recomendadas para monitoramento e interpretação dos fenômenos causadores de problemas na qualidade de energia elétrica. A referida norma foi adotada como sendo nacional pela ANSI (*American National Standards Institute*).

IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality – 1159 – 2009

Esta norma discute o monitoramento de circuitos elétricos mono ou polifásicos, de corrente alternada. Possui descrição detalhada dos fenômenos que ocorrem no sistema elétrico, descrevendo as respectivas faixas de tolerância em amplitude e período de tempo, para caracterizar cada tipo de distúrbio. Nas Figuras 4 e 5 a seguir, estão especificados os valores de magnitude de tensão (pu) e o intervalo de tempo para caracterização do respectivo fenômeno. Pela norma americana, a magnitude de tensão é definida como sendo o desvio mais significativo no valor rms da tensão dividido (Vresidual) pelo valor de referência (Vreferência). A duração é contada desde o momento que o distúrbio ultrapassa o valor de referência até a retomada do mesmo.

$$Vmag = \frac{Vresidual}{Vreferência} pu$$

Figura 4 – Variações de Tensão de Curta Duração – IEEE - 1159-2009

2.0 Short-duration root-mean-square (rms)		
variations		
2.1 Instantaneous		
2.1.1 Sag	0.5-30 cycles	0.1-0.9 pu
2.1.2 Swell	0.5-30 cycles	1.1-1.8 pu
2.2 Momentary		
2.2.1 Interruption	0.5 cycles – 3 s	< 0.1 pu
2.2.2 Sag	30 cycles – 3 s	0.1-0.9 pu
2.2.3 Swell	30 cycles – 3 s	1.1-1.4 pu
2.3 Temporary		
2.3.1 Interruption	>3 s – 1 min	< 0.1 pu
2.3.2 Sag	>3 s – 1 min	0.1-0.9 pu
2.3.3 Swell	>3 s – 1 min	1.1-1.2 pu

Fonte: IEEE 1159-2009 [4]

Figura 5 – Variações de Tensão de Longa Duração – IEEE - 1159-2009

3.0 Long duration rms variations		
3.1 Interruption, sustained	> 1 min	0.0 pu
3.2 Undervoltages	> 1 min	0.8–0.9 pu
3.3 Overvoltages	> 1 min	1.1-1.2 pu
3.4 Current overload	> 1 min	

Fonte: IEEE 1159-2009 [4]

4.2 NORMAS BRASIEIRAS

O PRODIST (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional), é um conjunto de normas elaboradas pela ANEEL, que normatizam e regem o desempenho do sistema elétrico e a relação entre as distribuidoras, unidades geradoras e consumidores. O Módulo 8 — Qualidade da Energia Elétrica, toma como referência o valor nominal da tensão de regime permanente contratada e fornecida pela concessionária. Com base nisso, determina valores considerados como sendo adequados, precários e críticos, de acordo com a Figura 6.

Figura 6 – Faixas de Variação de Tensão Aplicados em Sistemas de V < 1kV

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

Fonte: ANEEL, PRODIST - Módulo 8 [5]

As distribuidoras de energia devem se enquadrar nos níveis adequados, caso contrário, devem compensar os consumidores que tiveram os indicadores (DRP - Duração Relativa da transgressão para tensão Precária e DRC Duração Relativa da transgressão para tensão Crítica). Para gerar tais indicadores, deve-se realizar um conjunto de leituras de 1008 registros válidos obtidas em intervalos consecutivos (período de integralização) de 10 minutos cada. Após ter em mãos as leituras, deve-se calcular os referidos indicadores da seguinte maneira:

$$DRP = \frac{nlp}{1008} \cdot 100 [\%]$$

$$DRC = \frac{nlc}{1008} \cdot 100 [\%]$$

Onde nlp e nlc representam o maior valor entre as fases do número de leituras situadas nas faixas precária e crítica, respectivamente. O valor máximo para o DRP é de 3% e para o DRC é de 0,5% [5]. A distribuidora deve compensar os consumidores e todas as outras unidades conectadas no ramal onde os indicadores foram transgredidos.

Já no que se refere às variações de tensão de curta duração, a PRODIST traz a seguinte definição:

Figura 7 – Classificação das VTCD

Classificação	Denominação	Duração do Evento	Amplitude da Tensão (valor eficaz) em relação à tensão de referência		
V : ~	Interrupção Momentânea de Tensão	Inferior ou igual a 3 s	Inferior a 0,1 pu		
Variação Momentânea de Tensão	Afundamento Momentâneo de Tensão	Superior ou igual a 1 ciclo e inferior ou igual a 3 s	Superior ou igual a 0,1 pu e inferior a 0,9 pu		
	Elevação Momentânea de Tensão	Superior ou igual a 1 ciclo e inferior ou igual a 3 s	Superior a 1,1 pu		
V . ~	Interrupção Temporária de Tensão	Superior a 3 s e inferior ou igual a 1 minuto	Inferior a 0,1 pu		
Variação Temporária de	Afundamento Temporário de Tensão	Superior a 3 s e inferior a igual a 1 minuto	Superior ou igual a 0,1 pu e inferior a 0,9 pu		
Tensão	Elevação Temporária de Tensão	Superior a 3 s e inferior ou igual a 1 minuto	Superior a 1,1 pu		

Fonte: ANEEL, PRODIST - Módulo 8 [5]

A magnitude da tensão é calculada da mesma forma que a norma americana. Além dos valores limites de nível e intervalo de tempo, tem-se de analisar também a frequência com que ocorrem. Os eventos são agrupados em diferentes faixas de amplitude e duração, durante um período de 30 dias consecutivos a fim de se calcular o fator de impacto. Cada valor fora da referência observado é decomposto em uma região de sensibilidade, que possui um fator de ponderação específico. O fator de impacto é calculado da seguinte maneira:

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

Onde:

- fei frequência de ocorrência de eventos de VTCD, para cada região de sensibilidade i, sendo i = A, B, C, D, E, F, G, H e I [5].
- fpi fator de ponderação para cada região de sensibilidade i, estabelecido de acordo com a relevância do evento, correlacionando sua amplitude e duração [5].

 FI 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 [5].

O valor de referência para sistemas de distribuição de média e alta tensão, é de 1 pu. Os sistemas de distribuição de baixa tensão não possuem valores de referência em VCTD.

Figura 8 – Tabela para a Estratificação das VCTD

Amaniituda				Duração			
Amplitude (pu)	[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, PRODIST - Módulo 8 [5]

Figura 9 - Regiões de Sensibilidade

	,						~			
Amplitude	Duração									
	[16,67 ms -	(100 ms -	(300 ms -	(600 ms -	(1 seg - 3	(3 seg - 1	(1 min - 3			
(pu)	100 ms]	300 ms]	600 ms]	1 seg]	seg]	min]	min)			
> 1,15	REGIÃO H				DEC	SIÃO /				
(1,10 - 1,15]	•	KEGIAU H			KEC	JIAU I				
(0,85 - 0,90]		REGIÃO A								
(0,80 - 0,85]	REGIAO A			REGIÃO G						
(0,70 - 0,80]	REGIÃO B				REG	IIAU G				
(0,60 - 0,70]	REGIAO B			REGIÃO D						
(0,50 - 0,60]	REGIÃO C		IAU D							
(0,40 - 0,50]	REGIAU C									
(0,30 - 0,40]				REGIÃO F						
(0,20 - 0,30]		REGIÃO E								
(0,10 - 0,20]	REGIAU E									
< 0,10										

Fonte: ANEEL, PRODIST – Módulo 8 [5]

Figura 10 - Fatores de Ponderação

Região de	Fator de	Fator de Impacto Base (FIBASE)				
Sensibilidade	Ponderação (<i>fp</i>)	1,0 kV < Vn < 69 kV	69 kV ≤ Vn < 230kV			
Α	0,00					
В	0,04					
С	0,07					
D	0,15					
E	0,25	2,13	1,42			
F	0,36]				
G	0,07					
Н	0,02					
I	0,04					

Fonte: ANEEL, PRODIST - Módulo 8 [5]

A Norma ABNT NBR IEC 61000-4-30:2011 [11], define os métodos para medição e avaliação de resultados de parâmetros relacionados à qualidade da energia elétrica, para sistemas alimentados em corrente alternada. Na seção de recomendações para aplicações, ela recomenda metodologias para avaliações com propósitos contratuais. Para variações da magnitude de tensão, ela indica um período mínimo de avaliação de 1 semana, onde computa-se os valores medidos a cada 10 minutos comparando-se com os valores contratuais. Os valores medidos a serem comparados são aqueles com probabilidade de 95% a mais ou a menos, expressos em volts.

No quesito interrupções de tensão, a norma sugere um período mínimo de medição de 1 ano, onde os contratantes definem os quesitos para consideração de "curto" ou "longo". Interrupções informadas com antecedência ao cliente podem ser consideradas a parte.

Em relação aos afundamentos e elevações de tensão, a norma também sugere um período mínimo de avaliação de 1 ano, onde as partes devem concordar a respeito da tensão contratada. Para instalações de baixa tensão, a tensão contratada é usualmente a tensão nominal do sistema de alimentação. As partes devem entrar em acordo sobre os limiares de tensão e das técnicas de medição.

Tabela 1 – Resumo dos Requisitos para Instrumentos de Medição Classe A e S

PARÂMETRO	CLASSE DO MEDIDOR	INCERTEZA	FAIXA DE MEDIÇÃO	FAIXA DE GRANDEZA DA INFLUÊNCIA
MAGNITUDE DE	А	± 0,1 % de Udin	10 % ~ 150% de Udin	10 % ~ 200% de Udin
TENSÃO	S	± 0,5 % de Udin	20 % ~ 120% de Udin	10 % ~ 150% de Udin
AFUNDAMENTO	Α	Amplitude: ± 0,2 % de Udin , Duração: ± 1 ciclo	N/A	N/A
E ELEVAÇÃO	S	Amplitude: ± 1 % de Udin , Duração: ± 1 ou 2 ciclos	N/A	N/A
INTERRUPÇÃO	Α	Duração: ± 1 ciclo	N/A	N/A
INTERROPÇÃO	S	Duração: ± 1 ou 2 ciclos	N/A	N/A

Fonte: ABNT [11]

4.3 NORMAS EUROPEIAS

Na Europa, o conjunto de normas IEC trata especificamente sobre qualidade de energia elétrica. Na concepção da *International Electrotechnical Commission*, a magnitude (Vmag) uma variação de tensão pode ser expressa em pu, de acordo com a seguinte equação [9]:

$$Vmag = \frac{Vn - Vresidual}{Vn} pu$$

Onde:

- Vn Tensão Nominal
- Vresidual Tensão mais baixa durante o afundamento

A norma EN 50160 - *Voltage Characteristics of Public Distribution Systems* [7], define uma série de parâmetros mas não é tão completa quanto a norma americana do IEEE. O afundamento de tensão é retratado como *voltage dip* e usualmente utiliza como

referência o valor de 0.9 pu, em um range ½ ciclo a 1 minuto. Como dito anteriormente, a regulação desta norma não é bem definida, e o número de afundamentos de tensão para cada célula não é claro. O tratamento da elevação de tensão é análogo [9].

Figura 11 – Classificação dos Afundamentos de Tensão [EN 50160 e IEC TR 61000-2-8]

Residual voltage <i>u</i> % of <i>U</i> _{ref}	Duration S								
	$0.01 < \Delta t \le 0.02$	0,02 < Δ <i>t</i> ≤ 0,1	0,1 < Δ <i>t</i> ≤ 0,5	0,5 < Δ <i>t</i> ≤ 1	1 < Δ <i>t</i> ≤ 3	3 < Δ <i>t</i> ≤ 20	20 < Δ <i>t</i> ≤ 60	60 < Δi ≤ 180	
$90 > u \ge 85$									
$85 > u \ge 70$									
70 > <i>u</i> ≥ 40									
40 > <i>u</i> ≥ 10									
10 > <i>u</i> ≥ 0									

NOTE 1 Measurement results in the first column and first row are likely to be inflated by transients and load fluctuations, respectively.

NOTE 2 0,01 and 0,02 s in the first two duration headings correspond to a half period and to one period of the 50 Hz voltage. For 60 Hz systems corresponding values would be used.

Fonte: Pomilio [9]

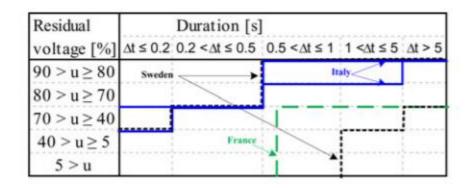
Figura 12 – Classificação das Elevações de Tensão EN 50160

Swell voltage u	Duration t ms				
%					
	$10 \le t \le 500$	500 < t≤ 5 000	5 000 < t≤ 60 000		
<i>u</i> ≥ 120	CELL S1	CELL S2	CELL S3		
120 > u > 110	CELL T1	CELL T2	CELL T3		

Fonte: Pomilio [9]

Na europa, cada país tende a adotar a sua respectiva curva de compartilhamento de responsabilidade, conforme pode ser visto na Figura 13.

Figura 12 – Classificação das Elevações de Tensão EN 50160



Fonte: L. Weldemariam [8]

A EN 50160 traz alguns limites normativos para distúrbios em baixa e média tensão. Conforme pode-se ver na imagem, as descrições tendem a ser genéricas e não muito exatas, deixando livre a interpretação de muitas coisas. No geral, a magnitude de tensão não deve ultrapassar os limites de 10% para cima ou para baixo em 95% da semana, analisando-se a média do valor RMS num período de 10 minutos. Os afundamentos de tensão devem possuir duração menor que 1 segundo, e profundidade menor que 60%. Para a ocasião da conexão e desconexão de cargas, limita-se entre 10 e 50% na baixa tensão, e 10 e 15% na média tensão. Interrupções de curta duração, segundo a norma, devem ocorrer em número inferior a 50 por ano com tempo de duração menor que 3 minutos. Já as de longa duração, maiores que 3 minutos, devem ocorrer entre "poucas dezenas e poucas centenas" por ano, sendo que 70% destas com duração menor do que 1 segundo.

Figura 13 – Limites Estabelecidos pela EN 50160, EN 6100

No	Parameter	Supply voltage characteristics according to EN 50160	Low voltage characteristics according to EMC standard EN 61000		
			EN 61000-2-2	Other parts	
1	Power frequency	LV, MV: mean value of fundamental measured over 10 s ±1% (49.5 - 50.5 Hz) for 99.5% of week -6%/+4% (47- 52 Hz) for 100% of week	2%		
2	Voltage magnitude variations	LV, MV: ±10% for 95% of week, mean 10 minutes rms values (Figure 1)		±10% applied for 15 minutes	
3	Rapid voltage changes	I.V: 5% normal 10% infrequently $P_{lt} \le 1$ for 95% of week MV: 4% normal 6% infrequently $P_{lt} \le 1$ for 95% of week	3% normal 8% infrequently $P_{st} < 1.0$ $P_{lt} < 0.8$	3% normal 4% maximum $P_{st} < 1.0$ $P_{lt} < 0.65$ (EN 61000-3-3) 3% (IEC 61000-2-12)	
4	Supply voltage dips	Majority: duration <1s, depth <60%. Locally limited dips caused by load switching on: LV: 10 - 50%, MV: 10 - 15% (Figure 1)	urban: 1 - 4 months	up to 30% for 10 ms up to 60% for 100 ms (EN 61000-6-1, 6-2) up to 60% for 1000 ms (EN 61000-6-2)	
5	Short interruptions of supply voltage	LV, MV: (up to 3 minutes) few tens - few hundreds/year Duration 70% of them < 1 s		95% reduction for 5 s (EN 61000-6-1, 6-2)	
6	Long interruption of supply voltage	LV, MV: (longer than 3 minutes) <10 - 50/year			

Fonte: Copper Development Association [6]

Na figura acima, os termos *Pst* e *Plt* correspondem, respectivamente, aos termos de severidade de curta duração e longa duração para as variações de tensão. O termo de curta duração, é calculado em períodos de 10 minutos, enquanto que o termo de longa duração é calculado a cada sequência de 12 termos de curta duração, de acordo com a expressão abaixo:

$$Plt = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} \frac{Psti^3}{12}}$$

A Figura 13 traz ainda outras duas interpretações de outra norma, presente no conjunto de normas EN 61000. Variações da magnitude de tensão, segundo este conjunto de normas, devem ser delimitados por 10% acima e abaixo do valor nominal, durante um período máximo de 15 minutos. Os afundamentos de tensão, devem ser limitados em 30% por 10 ms, 60% em 100 ms (EN 61000-6-1) e 60% em 1000 ms (EN 61000-6-2). Ainda no tocante às variações de tensão de curta duração, é permitido uma interrupção de até 95% do valor nominal para um tempo de até 5 s. Esse conjunto de normas também traz diferentes critérios para os valores de *Plt* e *Pst*.

4.4 OUTRAS

Outra referência importante para a qualidade de energia elétrica é a curva ITIC (Information Technology Industry Council). Ela é dividida em três regiões distintas, que caracterizam um evento de acordo com a amplitude e duração e diz se este pode ou não causar danos a um equipamento de tecnologia da informação. As regiões são classificadas em: Região de Desligamento Sem Danos (inferior direita, para valores de subtensão e longos períodos de evento), Região Proibida (superior direita, para valores de sobretensão e longos períodos de tempo) e Região Sem Interrupção (esquerda central, para valores nominais de tensão ou de sobre e subtensão em períodos curtos de tempo) [10].

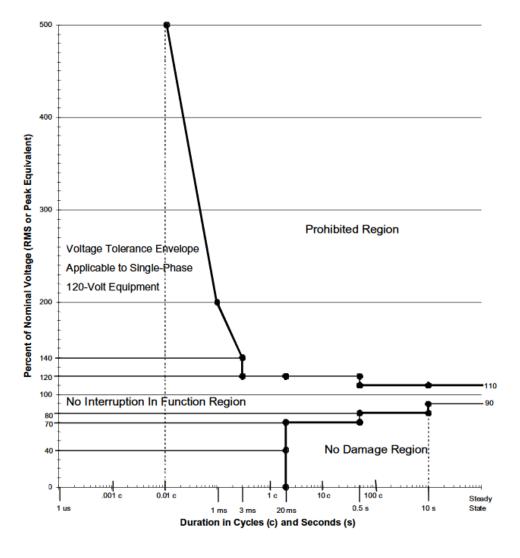


Figura 14 – Curva ITIC (CBEMA)

Fonte: Information Technology Industry Council [10]

5. ESTUDOS DE CASO COM SIMULAÇÕES

Nesta seção, serão apresentados estudos de caso realizados a partir de simulações com o software MATLAB versão 2018, através da ferramenta SIMULINK. Serão efetuadas cinco simulações para demonstração de alguns tipos de variações de tensão de curta e longa duração.

5.1 AFUNDAMENTO DE TENSÃO POR PARTIDA DE MOTOR DE INDUÇÃO

O seguinte experimento foi montado no Simulink (Arquivo Anexo VTCD_1). Tratase de uma fonte de tensão trifásica de 220 V, 60 Hz, conecatada em série com uma impedância de linha, uma carga resistiva e um motor de indução acionado por um contator no tempo de 0.2 segundo.

Fonte Trifásica, 220 V Linha Impedância de Linha

Carga Resistiva

Contator de Partida do Motor

Motor Trifásica, 220 V Z A X Y D

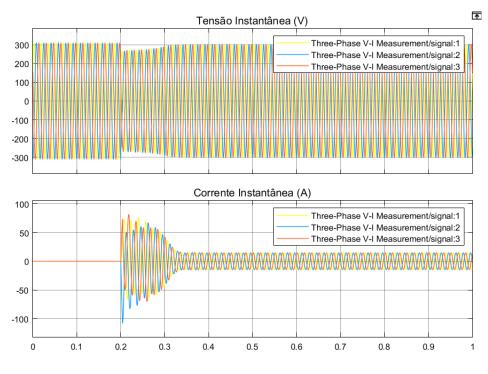
A Vabo
Iabo
Impedância de Linha

Valor RMS da Tensão de Linha

Figura 15 – Afundamento de Tensão por Partida de Motor

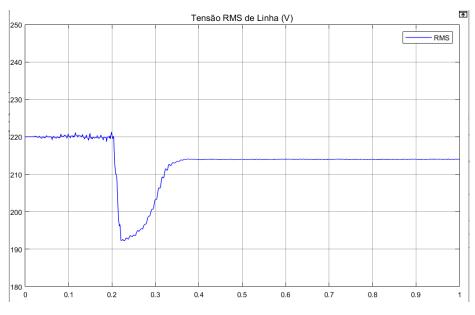
Fonte: Autor

Figura 16 – Tensão e Corrente de Linha Instantânea na Partida do Motor



Fonte: Autor

Figura 17 – Tensão de Linha RMS na Partida do Motor



Fonte: Autor

No circuito simulado em questão, a tensão nominal do sistema veio constante no valor de 220 V, considerado como sendo 1 pu, durante os últimos ciclos de medição, e aos 200 ms, sofreu um afundamento devido a partida do motor, ao valor de 0.87 pu (192 V).

Caracterização pelas normas IEEE 1159, PRODIST 8, EN 50160, EN 61000:

IEEE 1159

A tensão RMS fica abaixo do valor limiar de 0.9 pu durante o período de 0.22 a 0.28 segundo, correspondendo a 60 ms no total, o equivalente a aproximadamente 3.5 ciclos. Segundo a classificação do IEEE, este afundamento de tensão se enquadra na opção instantâneo.

PRODIST 8

Utilizando o mesmo método de cálculo anterior, pois a norma brasileira traz a mesma metodologia que a americana, o evento se enquadraria como sendo um afundamento momentâneo de tensão. Realizando-se uma abstração para as regiões de sensibilidade do Prodist, tal evento se enquadraria na Região A, cujo fator de ponderação de impacto é equivalente a 0. Vale lembrar que para os casos de baixa tensão ná há catalogação do valor de VTCD pela PRODIST, no entanto, apenas para efeito de estudos foi considerado o valor em pu de forma a generalizar a análise.

EN 50160, EN 61000

Pelo método de cálculo europeu temos um afundamento de 12% por uma duração total de 6 ms. Segundo a EN 50160 este valor se enquadra no quesito afundamento de tensão de fornecimento por comutação de carga, e está dentro dos limites estabelecidos

com profundidade menor que 60% em uma duração menor que 1 segundo e dentro dos limites de (10 a 50%) para redes de baixa tensão. Segundo a EN 61000, também se enquadra no quesito permitido de até 30% em menos de 10 ms.

Curva ITI

Analisando o evento pela curva ITI da Figura 14, nota-se que o mesmo se enquadra na região onde não há interrupção e risco ao equipamento (60 ms e 0.87 pu).

5.2 AFUNDAMENTO DE TENSÃO POR CURTO-CIRCUITO FASE TERRA

O seguinte experimento foi montado no Simulink (Arquivo Anexo VTCD_2). Tratase de uma fonte de tensão trifásica de 220 V, 60 Hz, conecatada em série com uma impedância de linha, uma carga resistiva e uma carga RLC. Existe também um gerador de curto-circuito, que irá realizar uma falta fase-terra na fase A.

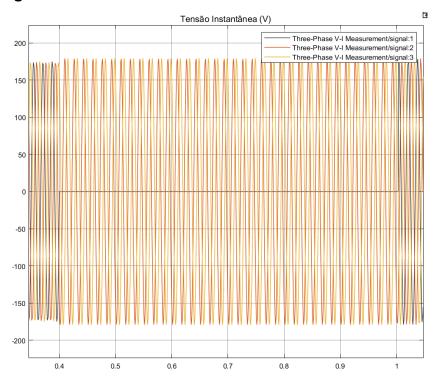
Fonte Trifásica, 220 V Linha

Fonte

Figura 18 – Afundamento de Tensão por Curto Fase-Terra

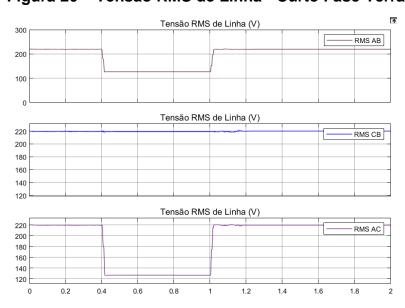
Fonte: Autor

Figura 19- Tensão Instantânea de Fase - Curto Fase-Terra



Fonte: Autor

Figura 20 - Tensão RMS de Linha - Curto Fase-Terra



Fonte: Autor

No circuito simulado em questão, a tensão nominal do sistema veio constante no valor de 220 V, considerado como sendo 1 pu, durante os últimos ciclos de medição, e aos 0.4 segundo, sofreu um afundamento devido a uma falta fase A - terra, ao valor de 0.57 pu (127 V), entre as fases AB e AC, que perdurou até o tempo de 1 segundo.

Caracterização pelas normas IEEE 1159, PRODIST 8, EN 50160, EN 61000:

IEEE 1159

A tensão RMS fica abaixo do valor limiar de 0.9 pu durante o período de 0.4 a 1 segundo, correspondendo a 600 ms no total, o equivalente a aproximadamente 36 ciclos. Segundo a classificação do IEEE, este afundamento de tensão se enquadra na opção momentâneo.

PRODIST 8

Novamente, utilizando o mesmo método de cálculo anterior, pois a norma brasileira traz a mesma metodologia que a americana, o evento se enquadraria como sendo um afundamento momentâneo de tensão. Realizando-se uma abstração para as regiões de sensibilidade do Prodist, tal evento se enquadraria na Região D, cujo fator de ponderação de impacto é equivalente a 0.15. Vale lembrar que para os casos de baixa tensão não há catalogação do valor de VTCD pela PRODIST, no entanto, apenas para efeito de estudos foi considerado o valor em pu de forma a generalizar a análise.

• EN 50160, EN 61000

Pelo método de cálculo europeu temos um afundamento de profundidade de 42% por uma duração total de 600 ms. Segundo a EN 50160 este valor se enquadra no

quesito afundamento de tensão de fornecimento por comutação de carga, e está dentro dos limites estabelecidos com profundidade menor que 60% em uma duração menor que 1 segundo, também se enquadrando no quesito de (10-50%) para redes de baixa tensão. Segundo a EN 61000, também se enquadra no quesito permitido de até 60% em menos de 1000 ms no caso de ambientes industriais (EM 61000-6-2), no entanto, está fora do permitido para residências, comércios e ambientes de indústria leve, que toleram no máximo 60% até 100 ms (EM 61000-6-1).

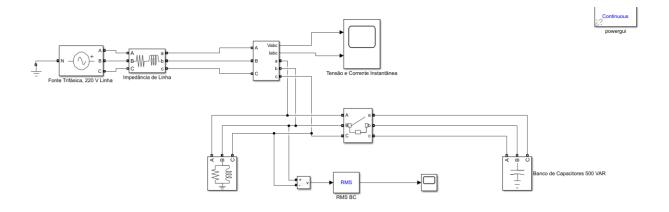
Curva ITI

Analisando o evento pela curva ITI da Figura 14, nota-se que o mesmo se enquadra na região onde há interrupção (600 ms e 0.57 pu).

5.3 ELEVAÇÃO DE TENSÃO POR ACIONAMENTO DE BANCO DE CAPACITORES

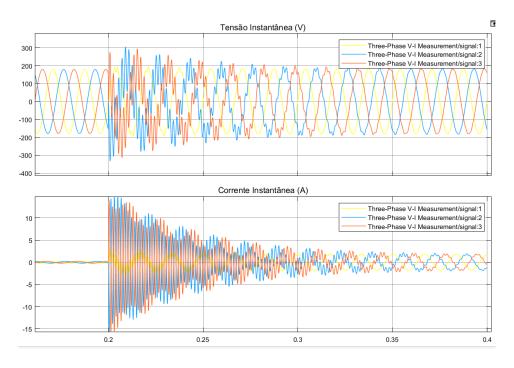
O seguinte experimento foi montado no Simulink (Arquivo Anexo VTCD_3). Tratase de uma fonte de tensão trifásica de 220 V, 60 Hz, conecatada em série com uma impedância de linha, uma carga resistiva e um contator que realiza a comutação de um banco de capacitores.

Figura 21 – Elevação de Tensão por Acionamento de Banco Capacitivo



Fonte: Autor

Figura 22 – Tensão e Corrente Instantânea de Linha



Fonte: Autor

300 RMS BC
290
280
270
260
250
240
210

Figura 23 - Tensão RMS de Linha

Fonte: Autor

0.2

0.25

0.3

0.35

0.4

0.15

0.1

0.05

Através do circuito simulado, a tensão nominal do sistema veio constante no valor de 220 V, considerado como sendo 1 pu, durante os últimos ciclos de medição, e aos 0.2 segundo, sofreu uma elevação de seu valor devido ao acionamento de um banco capacitivo, ao valor de 1.35 pu (299 V), na tensão de linha BC, que perdurou até o tempo de 0.25 segundo, quando retornou ao limiar de 1.1 pu.

Caracterização pelas normas IEEE 1159, PRODIST 8, EN 50160, EN 61000:

IEEE 1159

A tensão RMS fica acima do valor limiar de 1.1 pu durante o período de 0.2 a 0.25 segundo, correspondendo a 50 ms no total, o equivalente a aproximadamente 3 ciclos. Segundo a classificação do IEEE, esta elevação de tensão se enquadra na opção instantâneo.

PRODIST 8

Novamente, utilizando o mesmo método de cálculo anterior, pois a norma brasileira traz a mesma metodologia que a americana, o evento se enquadraria como sendo uma elevação momentânea de tensão. Realizando-se uma abstração para as regiões de sensibilidade do Prodist, tal evento se enquadraria na Região H, cujo fator de ponderação de impacto é equivalente a 0.02. Vale lembrar que para os casos de baixa tensão ná há catalogação do valor de VTCD pela PRODIST, no entanto, apenas para efeito de estudos foi considerado o valor em pu de forma a generalizar a análise.

• EN 50160, EN 61000

Pelo método de cálculo europeu temos uma elevação de profundidade de 35% por uma duração total de 50 ms. Segundo a EN 50160 este valor se enquadra no quesito variação rápida de tensão, e está fora dos limites estabelecidos com profundidade maior que 10% já catalogada como infrequente pela norma, para redes de baixa tensão. Segundo a EN 61000 (Limitation of voltage changes, voltage fluctuations and flicker in public low-voltage supply system), também encontra-se fora dos limites permitidos que possuem como 4% o limiar máximo.

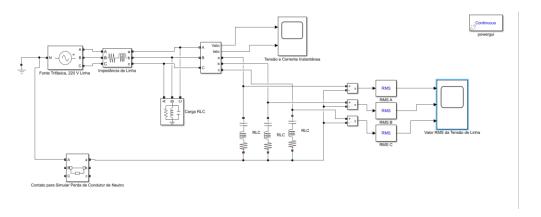
Curva ITI

Analisando o evento pela curva ITI da Figura 14, nota-se que o mesmo se enquadra na região proibida que pode trazer risco ao equipamento (3 ciclos e 1.35 pu).

5.4 ELEVAÇÃO E AFUNDAMENTO DE TENSÃO PERMANENTE POR PERDA DE CONDUTOR NEUTRO

O seguinte experimento foi montado no Simulink (Arquivo Anexo VTCD_4). Tratase de uma fonte de tensão trifásica de 220 V, 60 Hz, conectada em série com uma impedância de linha, uma carga RLC desequilibrada e um contator que realiza a desconexão do condutor neutro.

Figura 24 – Afundamento e Elevação Sustentados, Por Perda de Condutor Neutro com Cargas Desequilibradas



Fonte: Autor

 Tensão RMS de Fase (V) RMS A 150 RMS B RMS C 145 140 135 130 125 120 115 110 105 100 0

Figura 25 - Tensão RMS de Fase

Fonte: Autor

Através do circuito acima, foi simulada uma situação de perda do condutor neutro em uma carga trifásica desbalanceada conectada em Y. O valor referência considerado foi o de fase neutro (127 V) como sendo 1 pu. Ao perder o condutor neutro, a tensão foi dividida pela própria carga, de modo que a tensão de fase A ficou com 0.84 pu (105 V), a tensão de fase B com 1.16 pu (148 V) e fase C com 1.04 pu (132 V). Iremos considerar que o sistema permaneceu com essa configuração por um período superior a 15 minutos, caracterizando uma variação de tensão de longa duração, para efeitos de análise.

Caracterização pelas normas IEEE 1159, PRODIST 8, EN 50160, EN 61000:

• IEEE 1159

A tensão RMS fica dentro da faixa limiar de 1.1 a 1.2 pu durante os 15 minutos supostos, o que caracteriza uma sobretensão de longa duração na fase B. Na fase A,

como a tensão permanece dentro de uma faixa de 0.8 a 0.9 pu, fica caracterizado como uma subtensão de longa duração. A fase C sofre um aumento de apenas 0.04 pu o que a deixa dentro do limiar aceitável.

PRODIST 8

De acordo com a figura 6, podemos observar que a tensão na fase C está enquadrada na faixa limite entre 0.92 e 1.05 pu, classificada como adequada. A fase A, estaria na faixa catalogada como crítica, pois seu valor é inferior a 0.87 pu. A fase B, também seria catalogada como crítica pois seu valor é maior ao estabelecido pelo limite de 1.06 pu.

• EN 50160, EN 61000

A norma EN 50160 diz que o valor RMS da tensão deve ser calculado a partir da média de janelas de 10 minutos, de forma que em 95% da semana ele deve estar numa faixa com limiares superiores e inferiores de 10%. A tensão na fase A, pela norma EN 50160, estaria abaixo do limiar de 10% permitido no campo de variação de magnitude de tensão, pois seu afundamento é de 17%. A tensão na fase C estaria adequada, enquanto que a na fase B estaria inadequada pois sua elevação possui uma profundidade de 16,5%. Já a EN 61000 diz que a tensão deve estar na faixa limite de 10% para mais ou para menos, para intervalos de até 15 minutos. Como foi suposto um período maior do que 15 minutos para a situação em destaque, as fases A e B estariam fora dos limites estabelecidos.

Curva ITI

Analisando o evento pela curva ITI da Figura 14, as tensões da fase A, B e C encontram-se, respectivamente, dentro das faixas: região de interrupção sem dano, região proibida e região sem interrupção e risco.

5.5 AFUNDAMENTO DE TENSÃO PERMANENTE POR EXCESSO DE CARGA

O seguinte experimento foi montado no Simulink (Arquivo Anexo VTCD_5). Tratase de uma fonte de tensão trifásica de 1kV, 60 Hz, conectada em série com uma impedância de linha, e três cargas a serem ligadas em intervalos de tempo diferentes, a fim de sobrecarregar o sistema e causar o afundamento da tensão.

Forte Trifisica, 1000 V Linha Impedância de Linha

Forte Trifisica, 1000 V Linha Impedância de Linha

RMS C

Confinuous

Powergui

Figura 26 – Afundamento de Tensão Permanente por Excesso de Carga

Fonte: Autor

Tensão RMS Linha - AB

Figura 27 - Tensão RMS de Linha

Fonte: Autor

O valor referência considerado foi o de linha, 1000 V, como sendo 1 pu. Ao acionar a primeira carga e segunda carga, a tensão fornecida pelo sistema oscila muito pouco em torno do valor de 1 pu. Ao acionar a terceira carga em 0.9 s, uma sobrecarga ocorre no sistema cujo alimentador não foi projetado para a corrente demandada por tal carga. A tensão de linha entre as fases AB cai para 880 V (0.88 pu). Para efeitos de análise, será suposto que a tensão permaneceu desta maneira pelo período de uma semana completa.

Caracterização pelas normas IEEE 1159, PRODIST 8, EN 50160, EN 61000:

• IEEE 1159

Pelo método de cálculo do IEEE, está sendo caracterizado uma subtensão de longa duração, pois o valor está compreendido entre a faixa de 0.8 e 0.9 pu por um período superior a 1 minuto.

PRODIST 8

De acordo com a figura 6, podemos observar que a tensão de linha AB está enquadrada na faixa limite entre 0.87 e 0.92 pu, classificada como precária.

• EN 50160, EN 61000

A norma EN 50160 diz que o valor RMS da tensão deve ser calculado a partir da média de janelas de 10 minutos, de forma que em 95% da semana ele deve estar numa faixa com limiares superiores e inferiores de 10%. Desta forma, como pressuposto no problema, supondo que o efeito durou 1 semana completa, a tensão de fornecimento estaria indadequada uma vez que o afundamento calculado é de 12%. Já a EN 61000 diz que a tensão deve estar na faixa limite de 10% para mais ou para menos, para intervalos de até 15 minutos. Como foi suposto um período maior do que 15 minutos para a situação em destaque, o caso em questão também estaria fora dos limites estabelecidos.

5.6 ANÁLISE FATOR DE IMPACTO PARA VARIAÇÃO DE TENSÃO DE CURTA DURAÇÃO

Nesta seção, foi simulado a partir da criação de um conjunto de dados aleatórios, uma estratificação das VCTD de uma instalação elétrica trifásica de tensão superior a 1kV, onde constam as 9 regiões de sensibilidade definidas pela ANEEL para valores de medições realizadas durante um mês.

Tabela 2 – Valores Fictícios de Medições de Variação de Tensão de Curta

Duração

	DURAÇÃO (ms)							
AMPLITUDE	16,67 - 100	100 - 300	300 - 600	600 - 1000	1000 - 3000	3000 - 60000	60000 - 180000	
> 1,15	0	1	0	3	1	2	1	
1,10 - 1,15	1	0	7	0	2	1	0	
0,85 - 0,90	2	4	1	1	3	2	1	
0,80 - 0,85	6	3	2	0	1	0	1	
0,70 - 0,80	1	1	1	0	0	1	0	
0,60 - 0,70	0	0	0	0	0	0	0	
0,50 - 0,60	0	0	0	0	0	0	0	
0,40 - 0,50	0	0	1	1	0	0	0	
0,30 - 0,40	0	0	0	0	0	0	0	
0,20 - 0,30	0	1	0	0	0	1	0	
0,10 - 0,20	1	0	0	0	0	0	0	
< 0,10	0	0	0	0	0	0	0	

Fonte: Autor

A partir dos dados criados que podem ser vistos na tabela anterior, foi calculado o fator de impacto para cada região de sensibilidade, levando-se em conta o fator de ponderação de cada uma.

REGIÕES DE SENSIBILIDADE									
Н	Α	G	С	В	ı	D	F	E	
FATOR DE PONDERAÇÃO DE CADA REGIÃO									
0,02	0	0,07	0,07	0,04	0,04	0,15	0,36	0,25	
	FATOR DE IMPACTO DE CADA REGIÃO								
0,18	0	0,21	0	0,04	0,4	0,45	0,72	0,5	

TOTAL 2,5

O total calculado possui valor de 2,5. Para instalações com tensão nominal entre 1 kV e 69 kV, o fator de impacto base é de 2,13. Portanto, o fator de impacto total calculado no período de leitura, em relação ao fator de impacto base, possui valor de 1,17 pu. Segundo a ANEEL [8], no caso específico em questão, a distribuidora de energia estaria transgredindo o limite máximo estabelecido para as VTCD no sistema de distribuição.

6. CONCLUSÕES

Através do presente trabalho, pode-se caracterizar os distúrbios de curta e longa duração referentes às variações de tensão. Foram apresentados alguns conceitos teóricos dos principais fenômenos relacionados a este tema, bem como algumas referências normativas que classificam tais eventos de acordo com a amplitude e o período de tempo de duração.

Foram feitas simulações e com base nessas uma breve comparação entre as normas citadas, de forma a comparar a interpretação de cada uma para o distúrbio simulado. Em alguns casos os eventos são classificados de formas diferentes, o que faz com que em alguns estejam dentro dos limitares estabelecidos e em outros não. Também foi realizado um exemplo de cálculo de fator de impacto conforme as diretrizes da ANEEL do Prodist 8, a partir da criação de um conjunto de dados fictício.

A falta de procedimentos e medidas de referência unificadas ao redor do mundo é um problema recorrente da qualidade de energia elétrica, uma vez que abre margem para diferentes interpretações e prejudica o consumidor final da energia.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] G. Paulillo, M. Teixeira, I. Bacca, J. M. C. Filho, "Capítulo V: Variações de Tensão de Curta Duração Parte I". Revista o Setor Elétrico [Online]. Disponível em: http://www.osetoreletrico.com.br/wp-content/uploads/2013/09/ed-88_Fasciculo_Cap-V-Qualidade-de-energia.pdf Acessado em: Ago., 25, 2020.
- [2] R. C. Dugan, M. F. McGranaghan, S. Santoso, H. W. Beaty, *Electrical Power Systems Quality*. Second Edition, McGraw-Hill, 2004.
- [3] G. Paulillo, M. Teixeira, "Capítulo IV: Variações de Tensão de Longa Duração". Revista o Setor Elétrico [Online]. Disponível em: http://www.osetoreletrico.com.br/wp-content/uploads/2013/05/Ed87_fasc_qualidade_cap4.pdf. Acessado em: Ago., 25, 2020.
- [4] IEEE, **IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality,"** in *IEEE Std 1159-2009 (Revision of IEEE Std 1159-1995)*, vol., no., pp.1-94, 26 June 2009, doi: 10.1109/IEEESTD.2009.5154067.
- [5] ANEEL, "**PRODIST Módulo 8: Qualidade da Energia Elétrica**". Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional. [Online]. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/modulo-8. Acessado em: Ago., 28, 2020.
- [6] Copper Development Association, "Power Quality Application Guide: Voltage Disturbances". [Online]. Disponível em: http://copperalliance.org.uk/uploads/2018/03/542-standard-en-50160-voltage-characteristics-in.pdf>. Acessado em: Ago., 29, 2020.
- [7] EUROPEAN STANDARD NORME, "EN 50160 Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems". [Online]. Disponível em: https://www.se.com/ww/library/SCHNEIDER_ELECTRIC/SE_LOCAL/APS/204836_13 12/DraftStandard0026rev2-DraftEN501602005-05.pdf>. Acessado em: Ago., 29, 2020.

- [8] L. Weldemariam, V. Cuk, S. Cobben, J. Waes, "Regulation and classification of voltagedips,". [Online]. Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=8315989&tag=1. Acessado em: Ago., 29, 2020.
- [9] S.M.Deckmann e J. A. Pomili, "Aula 7: Avaliação da Qualidade da Energia Elétrica," . [Online]. Disponível em: http://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/pdffiles/qualidade/a7.pdf. Acessado em: Ago., 29, 2020.
- [10] Information Technology Industry Council (ITI), "ITI (CBEMA) Curve Application Note". [Online]. Disponível em: https://www.keysight.com/upload/cmc_upload/All/1.pdf >. Acessado em: Ago., 30, 2020.
- [11] ABNT, NBR IEC 61000-4-30: Técnicas de Medição e Ensaio Métodos de Medição de Qualidade de Energia Elétrica. [Online]. Disponível em: http://www.abntcolecao.com.br/. Acessado em: Set., 01, 2020.