

ANÁLISE COMPARATIVA DE ÍNDICES DE AFUNDAMENTOS DE TENSÃO: UM CASO DE ESTUDO INDUSTRIAL

Autor: Ruth Agustini Orientador: Prof. Dr. Roberto Chouhy Leborgne

INTRODUÇÃO

Um dos principais problemas relacionados à Qualidade da Energia Elétrica é a ocorrência de afundamentos de tensão. Um evento de afundamento de tensão é caracterizado pela diminuição da magnitude da tensão dentro de uma faixa de referência e durante certo período de tempo, esse fenômeno é o maior causador de paradas em processos industriais, bem como problemas em equipamentos sensíveis, trazendo expressivos prejuízos financeiros. Devido a isso, normas e recomendações vêm sendo atualizadas de modo que, além dos limites de referência, a caracterização desses eventos seja realizada por indicadores.

O presente trabalho tem por objetivo realizar uma análise comparativa entre os principais índices da normativa brasileira (ANEEL) e da recomendação norte americana (*Institute of Electrical and Electronics Engineer - IEEE*), evidenciando as suas contribuições e limitações. Para isso, é apresentado um estudo de caso real, onde eventos serão analisados através de dois principais indicadores: a Severidade e o Fator de Impacto.

CARACTERIZAÇÃO DE AFUNDAMENTOS DE TENSÃO

Figura 1 – Quadro comparativo entre as padronizações

IEEE Standard 1564:2014 [8]	ANEEL PRODIST Módulo 8 - Rev. 7 [10]																																	
A. Caracterização do Afundamento de Tensão																																		
Magnitude: $0,1 < V < 0,9$ pu																																		
Duração: $d < 1$ min	Duração: $d < 3$ min																																	
B. Cálculo do Valor Eficaz da Tensão																																		
Magnitude: $V_{rms}(\frac{1}{2})(k) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1+k-N}^k v_i^2}$																																		
Taxa de Amostragem: no mínimo 16 amostras por ciclo.																																		
Período de Monitoramento: 1 ano.	Período de Monitoramento: mínimo 30 dias.																																	
C. Agregação de Fases																																		
Medição de Múltiplas Fases: seleção do evento de menor magnitude.																																		
D. Agregação de Eventos																																		
Sucessão de Eventos no Mesmo Local: seleção do evento de menor amplitude com duração:																																		
Duração: $d < 1$ min	Duração: $d < 3$ min																																	
E. Estratificação																																		
Curvas de Sensibilidade:	Tabelas de Regiões:																																	
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Amplitude [pu]</th> <th>Duração</th> <th>Região</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>> 1,15</td> <td>(100 ms - 100 ms) (300 ms - 600 ms) (1 seg - 3 seg) (1 min - 3 min)</td> <td>Região I</td> </tr> <tr> <td>(0,85 - 0,9)</td> <td></td> <td>Região A</td> </tr> <tr> <td>(0,80 - 0,85)</td> <td></td> <td>Região B</td> </tr> <tr> <td>(0,70 - 0,80)</td> <td></td> <td>Região C</td> </tr> <tr> <td>(0,60 - 0,70)</td> <td></td> <td>Região D</td> </tr> <tr> <td>(0,50 - 0,60)</td> <td></td> <td>Região E</td> </tr> <tr> <td>(0,30 - 0,40)</td> <td></td> <td>Região F</td> </tr> <tr> <td>(0,20 - 0,30)</td> <td></td> <td>Região G</td> </tr> <tr> <td>(0,10 - 0,20)</td> <td></td> <td>Região H</td> </tr> <tr> <td>< 0,10</td> <td></td> <td>Região I</td> </tr> </tbody> </table>	Amplitude [pu]	Duração	Região	> 1,15	(100 ms - 100 ms) (300 ms - 600 ms) (1 seg - 3 seg) (1 min - 3 min)	Região I	(0,85 - 0,9)		Região A	(0,80 - 0,85)		Região B	(0,70 - 0,80)		Região C	(0,60 - 0,70)		Região D	(0,50 - 0,60)		Região E	(0,30 - 0,40)		Região F	(0,20 - 0,30)		Região G	(0,10 - 0,20)		Região H	< 0,10		Região I
Amplitude [pu]	Duração	Região																																
> 1,15	(100 ms - 100 ms) (300 ms - 600 ms) (1 seg - 3 seg) (1 min - 3 min)	Região I																																
(0,85 - 0,9)		Região A																																
(0,80 - 0,85)		Região B																																
(0,70 - 0,80)		Região C																																
(0,60 - 0,70)		Região D																																
(0,50 - 0,60)		Região E																																
(0,30 - 0,40)		Região F																																
(0,20 - 0,30)		Região G																																
(0,10 - 0,20)		Região H																																
< 0,10		Região I																																
F. Avaliação dos Afundamentos de Tensão																																		
Severidade: $S_e = \frac{1-V}{1-V_{curva}(d)}$	Fator de Impacto: $FI = \frac{\sum_{i=A}^I f_{ei} f_{pi}}{FI_{base}}$																																	

Nessa seção, as padronizações e os procedimentos de classificação de eventos propostos são apresentados e comparados. Na Figura 1 são elencadas as principais diferenças quanto à caracterização de afundamentos, métodos de medição, agregação de fases e de eventos, método de estratificação e avaliação dos afundamentos.

ANÁLISE COMPARATIVA

Com a finalidade de comparar as recomendações apresentadas na seção anterior, foram estabelecidos estudos de caso de eventos de afundamento de tensão, caracterizados pela magnitude e duração. Esses eventos foram estratificados de acordo com o nível de tensão onde ocorreram, ou seja, em 13,8 kV, 34,5 kV ou 230 kV. Com isso, foram obtidos os **índices mensais** para a **Severidade** e para o **Fator de Impacto** para os três níveis de tensão.

As Figuras 2, 3 e 4 apresentam os eventos obtidos durante 24 meses, avaliados através dos dois indicadores, bem como de um valor de referência de 1 pu.

Analisando a Figura 2, observa-se que em 13,8 kV o único mês que apresentou severidade maior que a unidade foi o 11, no entanto o FI para o mês foi abaixo da unidade.

Na Figura 3 analisa-se o nível de 34,5 kV, somente o mês 20 foi classificado como severo, mas o FI também foi menor que o valor limite.

Para a Figura 4, identifica-se que para o nível de 230 kV a severidade foi excedida para o último mês de monitoração e novamente, o FI manteve-se adequado.

As diferenças nos valores obtidos devem-se as diferenças de cálculo entre os dois indicadores.

Figura 2 – Severidade e Fator de Impacto mensal em 13,8 kV

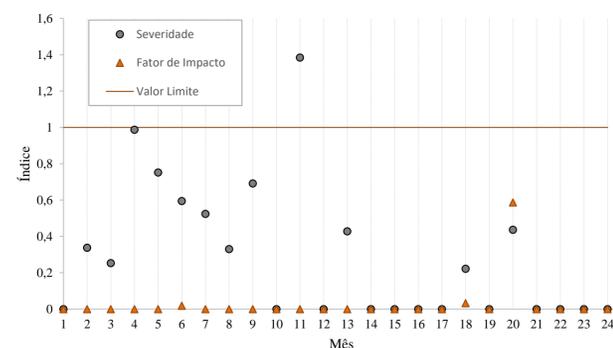


Figura 3 – Severidade e Fator de Impacto mensal em 34,5 kV

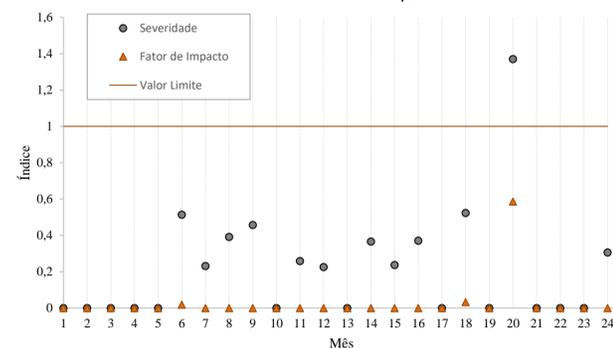
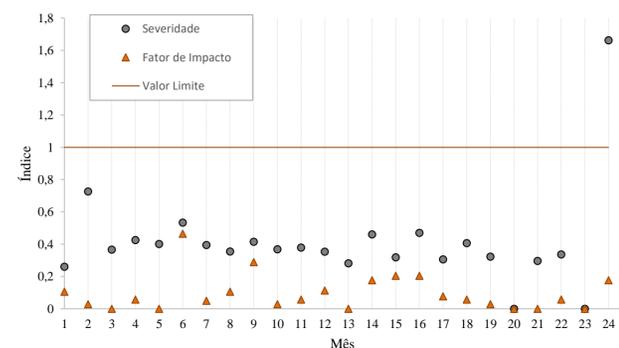


Figura 4 – Severidade e Fator de Impacto mensal em 230 kV



CONCLUSÃO

Os resultados obtidos apontaram que, pela aplicação dos indicadores, nota-se uma diferença na avaliação por cada padronização. Pelo FI todos os meses de monitoração apresentaram $FI < 1$, já o indicador da Severidade indicou meses com $Se \geq 1$. Essa diferença foi atribuída ao FI_{base} do PRODIST.