



VI SBQEE

21 a 24 de agosto de 2005
Belém – Pará – Brasil



Código: BEL 01 7824
Tópico: Análise, Diagnóstico e Soluções

CARACTERIZAÇÃO ESTATÍSTICA DA DISTRIBUIÇÃO DO DESEMPENHO DE UM CONJUNTO DE PONTOS DE MONITORAÇÃO

DELMO DE MACEDO
CORREIA

ONS

DALTON DE OLIVEIRA C. DO
BRASIL

ONS

DANIEL KOVARSKI

DMK

RESUMO

Desde o início de 2005, estão instaladas nas barras de fronteira da rede básica, junto ao sistema de medição para faturamento, um módulo de monitoração de Variações de Tensão de Curta Duração (VTCDs). Sua especificação é responsabilidade de cada uma das companhias envolvidas, dentro de certos critérios estabelecidos pelo ONS, o que leva a grande diversidade de soluções tecnológicas.

É atribuição do ONS analisar e disponibilizar os valores dos indicadores de VTCDs nas barras de fronteira. Sendo previsível que os meses iniciais de levantamento de um sistema tão complexo quanto diversificado sejam despendidos com ajustes, é necessário um tratamento nos primeiros meses de levantamento, de forma a evitar distorções nos resultados.

A contribuição ora proposta apresenta uma metodologia para tratamento dos dados recebidos no período inicial de ajuste, de forma a prevenir distorções nos resultados estatísticos agregados sem, no entanto, desconsiderá-los. Esta metodologia baseia-se em resultados obtidos por monitoração e simulação.

PALAVRAS-CHAVE

Análise, diagnóstico, soluções

1.0 INTRODUÇÃO

A metodologia para tratamento dos dados dos

seis meses iniciais de levantamento de VTCDs, de forma a que possam ser utilizados sem distorcer as estatísticas agregadas, pode ser resumida nas seguintes etapas principais:

- identificação das famílias de barras de desempenho similar;
- ajuste de uma distribuição teórica ao desempenho de cada família;
- extrapolação dos dados faltantes com base nesta distribuição teórica.

2.0 UNIVERSO ESTATÍSTICO

A metodologia baseia-se em resultados obtidos por monitoração e simulação. A monitoração teve lugar de janeiro de 2001 a junho de 2002 e cobriu 7 estados brasileiros, 19 companhias e 83 pontos de monitoração incluindo classes de tensão de 11 a 500 kV num período de tempo de um ano e meio e 745 pontos.ano [1]. A simulação abrangeu um sistema composto de 3785 barras e 7349 linhas de transmissão. Foi calculado o desempenho de 247 barras com base no desempenho estatístico de 818 linhas de transmissão [3].

3.0 FAMÍLIAS

As famílias foram caracterizadas pelos seguintes atributos:

- tensão;
- nível de curto-circuito;
- conectividade.

A tensão é a nominal na barra de observação. Foram investigados os níveis de 230, 345, 440 e 500 kV.

O nível de curto-circuito foi quantificado pela potência de curto-circuito monofásica na barra de observação e representa indiretamente a proximidade de geração. Foram divididos nas seguintes faixas:

- potência: igual ou inferior a 5000 MVA;
- potência: superior a 5000 MVA e igual ou inferior a 10000MVA;
- potência: superior a 10000 MVA e igual ou inferior a 15000MVA;
- potência: superior a 15000 MVA e igual ou inferior a 20000 MVA.

Por fim, a conectividade – a quantidade de barras conectadas a determinada barra – é um indicador do grau de interconectividade do sistema na barra de observação (malhado, radial etc.). Este atributo foi dividido nas seguintes faixas:

- igual ou inferior a 5;
- superior a 5 e igual ou inferior a 10;
- superior a 10 e igual ou inferior a 15;
- superior a 15 e igual ou inferior a 20;
- superior a 20 e igual ou inferior a 30.

Outros atributos possíveis seriam a área de influência e a agressividade do local (resistividade do solo, nível cerâmico, possibilidade de queimadas etc.).

4.0 CORRELAÇÃO ENTRE ATRIBUTOS E DISTRIBUIÇÕES

A Figura 1 ilustra graficamente a correlação entre dois dos atributos avaliados (nível de curto-circuito e conectividade) e os valores da distribuição de ocorrência de afundamentos em dois pontos: afundamentos para amplitudes iguais ou inferiores a 0,4 e iguais ou inferiores a 0,7 pu.

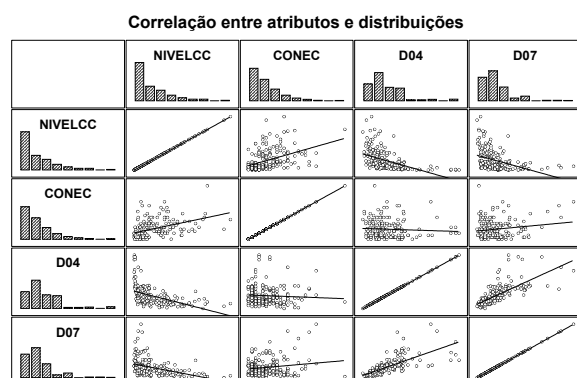


Figura 1 – Representação gráfica da correlação entre atributos (tensão, nível de curto-circuito e conectividade) e distribuições de ocorrência de afundamentos para amplitudes iguais ou inferiores a 0,4 e 0,7 pu)

A Tabela 1 mostra a matriz de correlação entre as mesmas grandezas.

Tabela 1 – Matriz de correlação entre atributos (tensão, nível de curto-circuito e conectividade) e distribuições de ocorrência de afundamentos para amplitudes iguais ou inferiores a 0,4 e 0,7 pu)

Tensão [kV]	Nível de CC monofásico [MVA]	Conectividade	Distribuição para 0,4 pu [1/ano]	Distribuição para 0,7 pu [1/ano]
1,000	0,730	0,171	-0,298	-0,323
	1,000	0,440	-0,483	-0,415
		1,000	-0,063	0,163
			1,000	0,718
				1,000

A Figura 2 detalha a dependência entre o atributo tensão e o valor da distribuição de ocorrência de afundamentos para amplitudes iguais ou inferiores a 0,7 pu. Mostra uma reta interpolada entre estas grandezas e a faixa correspondente a um intervalo de confiança de 95% no ajuste.

A Figura 3, por sua vez, ilustra a dependência entre o atributo tensão e o valor da distribuição de ocorrência de afundamentos para amplitudes iguais ou inferiores a 0,7 pu. Similarmente, Figura refere-se à dependência entre o atributo conectividade e o valor da distribuição de ocorrência de afundamentos para amplitudes iguais ou inferiores a 0,7 pu.

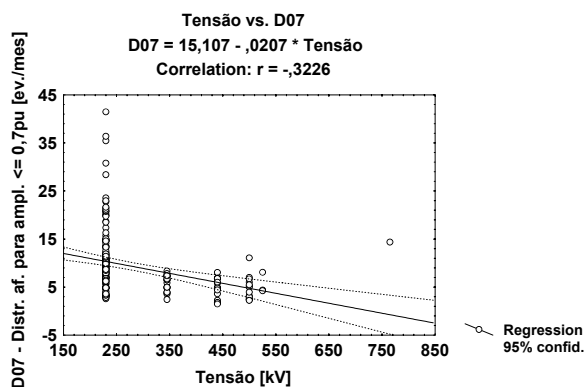


Figura 2 – Atributo tensão versus valor da distribuição de ocorrência de afundamentos para amplitudes iguais ou inferiores a 0,7 pu

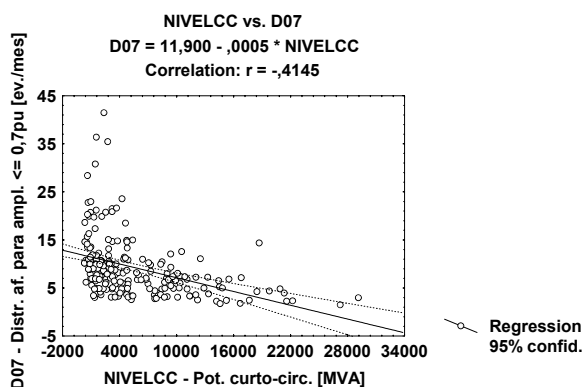


Figura 3 - Atributo tensão versus valor da distribuição de ocorrência de afundamentos para amplitudes iguais ou inferiores a 0,7 pu

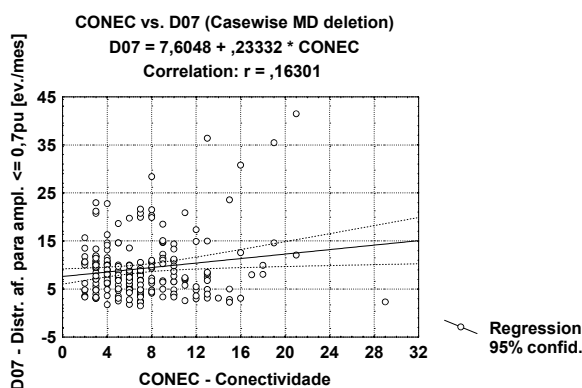


Figura 4 - Atributo conectividade versus valor da distribuição de ocorrência de afundamentos para amplitudes iguais ou inferiores a 0,7 pu

Como esperado, a quantidade de afundamentos varia diretamente com a conectividade e inversamente com a tensão e a potência de curto-circuito.

A Figura 5 mostra a distribuição de ocorrência de afundamentos tendo como parâmetro o atributo tensão. É apresentada a distribuição para as tensões 230, 345, 440 e 500 kV, bem como o desempenho médio de todas as tensões.

A Figura 6 mostra a distribuição de ocorrência de afundamentos tendo como parâmetro o atributo nível de curto-circuito. Foram divididos nas faixas detalhadas no item 3.0.

A Figura 7 mostra a distribuição de ocorrência de afundamentos tendo como parâmetro o atributo conectividade. Este atributo foi dividido nas nas faixas detalhadas no item 3.0.

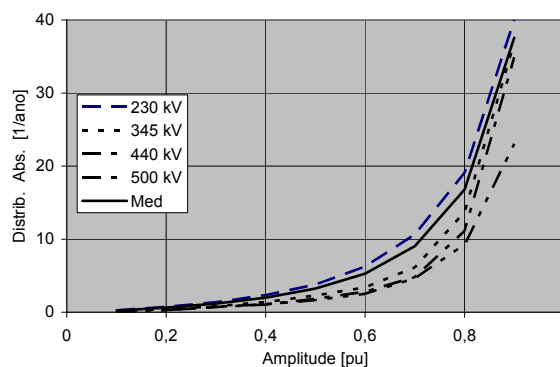


Figura 5 - Distribuição de ocorrência de afundamentos tendo como parâmetro o atributo tensão

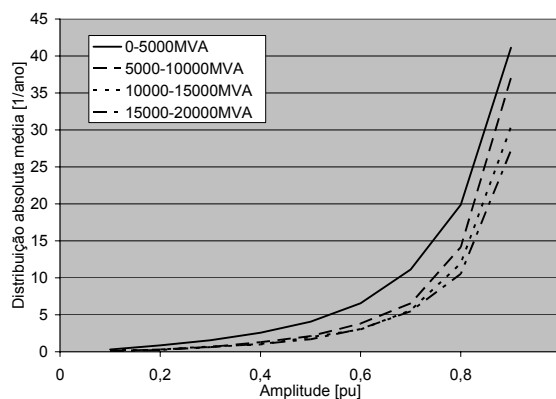


Figura 6 - Distribuição de ocorrência de afundamentos tendo como parâmetro o atributo nível de curto-circuito

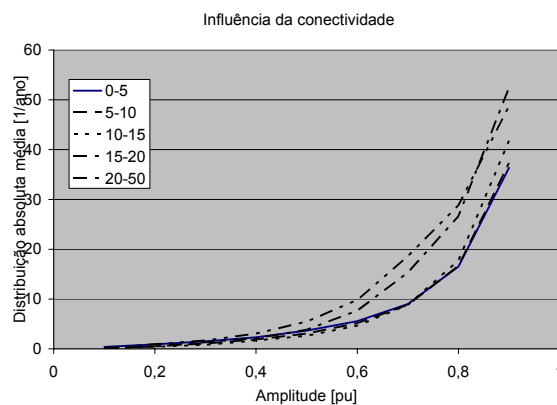


Figura 7 - Distribuição de ocorrência de afundamentos tendo como parâmetro o atributo conectividade

Identifica-se claramente as seguintes famílias:

- Tensão: 230, 345, 440 e 500 kV;
- Nível de curto-circuito: potência: igual ou inferior a 5000 MVA e: superior a 5000 MVA;
- Conectividade: igual ou inferior a 5 e superior a 5.

5.0 SELEÇÃO DE UMA DISTRIBUIÇÃO TEÓRICA QUE REPRESENTA O DESEMPENHO DE UMA FAMÍLIA

A extrapolação no tempo de um conjunto pequeno de valores requer o conhecimento da distribuição estatística teórica que melhor adere aos dados parciais obtidos. Normalmente a aderência da uma distribuição teórica a uma empírica é testada por testes não paramétricos. Entre estes testes merece destaque o teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S). Diferentemente do teste de Chi-quadrado, que pode ser aplicado indistintamente em distribuições contínuas ou discretas, o teste K-S é apropriado somente para aplicação em distribuições contínuas.

Foi usado teste de K-S com um grau de significância de 5%. Entre as distribuições contínuas, foram testadas as de Weibull, Gamma e Lognormal e entre as discretas, a de Poisson (arredondando a frequência para o próximo inteiro, já que a distribuição de Poisson é discreta) [3].

Os índices de Kolmogorov-Smirnov para a distribuição de ocorrência de afundamentos para amplitudes iguais ou inferiores a 0,7 pu são mostrados na Figura 8 para os seguintes conjuntos de barras:

- Desempenho por monitoração de barras de tensão entre 11 e 500 kV, inclusive;
- Desempenho por monitoração de barras de tensão igual a 230 kV;
- Desempenho por simulação de barras de tensão superior ou igual a 11 e igual ou inferior a 500 kV.
- Desempenho por simulação de barras de tensão igual a 230 kV.

Os resultados dos testes permitem concluir que a distribuição que melhor se ajusta ao desempenho de um conjunto de barras é a distribuição Log-normal.

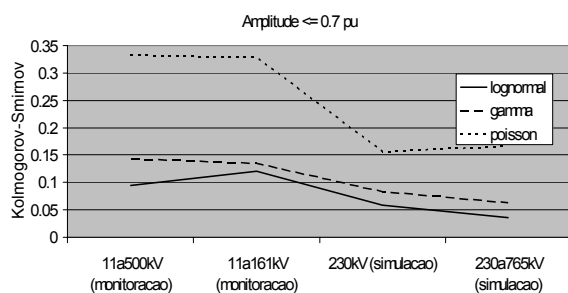


Figura 8 – Teste Kolmogorov-Smirnov feito em resultados de simulação e medição

A Figura 9 mostra a ajuste por mínimos quadrados desta distribuição teórica ao desempenho observado de um conjunto de barras de tensão igual ou superior a 230 kV. É mostrada a distribu-

ção de ocorrência de afundamentos para amplitudes iguais ou inferiores a 0,7 pu .

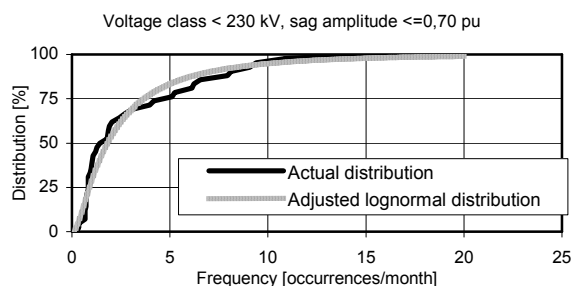


Figura 9 – Comparação da distribuição obtida por monitoração com a distribuição teórica Log-normal

Uma variável aleatória X segue uma distribuição Log-normal se o logaritmo de X segue uma distribuição gaussiana. Ou seja, se a variável aleatória Y , definida como $Y = \ln X$ segue uma distribuição gaussiana, a variável aleatória X segue uma distribuição Log-normal

A função densidade de X tem a forma definida na equação abaixo

$$f_x(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\xi} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \lambda}{\xi}\right)^2\right]$$

para $0 \leq x < \infty$, onde $\lambda = E(\ln X)$ e $\xi = \sqrt{\text{Var}(\ln X)}$ são, respectivamente, a média e o desvio-padrão de $\ln X$, e são os parâmetros da distribuição Log-normal.

Com base na equação anterior, a probabilidade de que X assumira um valor no intervalo $(a, b]$ é

$$P(a < X \leq b) = \int_a^b \frac{1}{\sqrt{2\pi}\xi x} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \lambda}{\xi}\right)^2\right] dx$$

para $0 \leq x < \infty$

A relação entre os parâmetros λ e ξ da distribuição Log-normal e a média μ e o desvio-padrão σ da distribuição original é dada pela equação abaixo.

$$\lambda = \ln \mu - 0.5\xi^2 \quad \text{and} \quad \xi^2 = \ln\left(1 + \frac{\sigma^2}{\mu^2}\right).$$

A Tabela 2 exemplifica os parâmetros λ e ξ (média λ desvio-padrão ξ do logaritmo dos valores originais) para a distribuição estatística do desempenho quanto a afundamentos de um con-

junto de barras separadas por classe de tensão.

Tabela 2 – Parâmetros estatísticos do desempenho de uma barra

Amplitude [pu]	Parâmetros			
	Tensão < 230 kV		Tensão ≥ 230 kV	
	λ	ξ	λ	ξ
≤ 0.50	-0,15	1,15	-0,87	0,97
≤ 0.70	0,60	1,05	-0,34	0,64
≤ 0.85	1,53	0,82	0,46	0,90

[2] of Power, 6th-9th Oct., 2002, Rio de Janeiro, Brazil.

[3] Delmo de Macedo Correia and Dalton de Oliveira Camponês do Brasil. "Probability distribution of the sag performance of some Brazilian network busbars". Paper presented at the 40th Cigré Session, Aug. 29th-Sept. 3rd, 2004, Paris.

6.0 EXTRAPOLAÇÃO DOS DADOS FALTANTES COM BASE NESTA DISTRIBUIÇÃO TEÓRICA

Identificada, por seus atributos, a família a que pertence a barra cujo desempenho não foi levantado, e a ajuste de uma distribuição teórica ao desempenho desta família, o valor faltante poderia ser identificado pela média da distribuição. Tal procedimento é adequado quando a distribuição é simétrica, em que a média e a mediana são iguais. Tendo em vista o fato de a distribuição Log-normal é bastante assimétrica, a extrapolação será feita pela mediana da distribuição.

7.0 CONCLUSÕES

Foram identificadas as seguintes famílias:

- Tensão: 230, 345, 440 e 500 kV;
- Nível de curto-circuito: potência: igual ou inferior a 5000 MVA e superior a 5000 MVA;
- Conectividade: igual ou inferior a 5 e superior a 5.

Uma distribuição Log-normal representa adequadamente o desempenho esperado quanto a afundamentos de um conjunto de barras. Os parâmetros desta distribuição são a média e o desvio-padrão do logaritmo dos valores originais e podem ser estimados a partir da média e desvio-padrão da distribuição original.

Esta conclusão foi validada com grau de significância aceitável a partir de testes de Kolmogorov-Smirnov aplicado em dados obtidos por monitoração e por simulação.

8.0 REFERENCIAS

[1] Delmo de Macedo Correia and Dalton de Oliveira Camponês do Brasil. "A Pilot project for the survey of sag performance of the Brazilian transmission system". 10th ICHQP – International Conference on Harmonics and Quality

