

Aplicação de Ferramenta computacional para Análise Estatística de VMTs e Critérios para a Seleção de Pontos de Medição

N. Kagan; E. L. Ferrari; N. M. Matsuo; S. X. Duarte; A.U. Antunes – Enerq/USP
J.L. Cavaretti; A. Tenório - Eletropaulo; U.F.Castellano

Resumo- O objetivo deste artigo é apresentar uma aplicação prática do software (SISGVMT), desenvolvido para Análise estatística de fenômenos de variações momentâneas de tensão (VMTs). Descreve-se, ainda, a metodologia a ser seguida para o mapeamento de VMTs. São abordadas, nesta metodologia, as diversas etapas do procedimento para a definição da amostra de medições de VMTs do sistema de distribuição da Eletropaulo.

Palavras Chave: aprofundamentos e saliências de tensão; análise estatística de VMTs; índices de qualidade de energia.

I. INTRODUÇÃO

O conhecimento dos índices de qualidade de energia é de grande importância para que as concessionárias de energia promovam melhorias em suas redes elétricas. Assim o indicador de VMTs foi fruto de campanhas de medições realizadas pela Eletropaulo e são descritos resumidamente neste artigo.

II. PROJETO DE MEDIÇÕES VISANDO A AVALIAÇÃO GLOBAL DO SISTEMA

A metodologia a ser seguida para o mapeamento de aprofundamentos e elevações de tensão é apresentada a seguir.

A. Etapas de Procedimento para os Sorteios

Com o objetivo de realizar o mapeamento de VMTs foi definido um critério de amostragem das medições a serem realizadas nos alimentadores da empresa (média e baixa tensão). As etapas do procedimento para o sorteio dos alimentadores (residencial, comercial e industrial) são relacionadas a seguir:

- Atribui-se um número inteiro para cada alimentador primário, sequencialmente, a partir de 1, até o número total N , de alimentadores a serem sorteados (a ordem dos alimentadores não é relevante);
- Somando aritmeticamente os valores dos consumos (em kWh) de todos os alimentadores da amostra, obtém-se o valor S_{total} ;
- O consumo de cada alimentador deverá ser dividido por S_{total} , obtendo-se, para cada alimentador, um valor normalizado s_n ;
- Constrói-se a curva acumulada dos valores de s_n no eixo vertical com a numeração dos alimentadores no eixo

horizontal (na realidade tal curva tem a forma de degraus);

- Com um gerador de números aleatórios sorteia-se um valor no intervalo $[0,1]$. Entrando com esse valor no eixo vertical da curva obtém-se o número inteiro correspondente no eixo horizontal. Esse número corresponde ao índice do alimentador sorteado;
- Repete-se o sorteio até completar o número total de ensaios necessário para a amostra;
- Caso o alimentador sorteado já tenha sido sorteado anteriormente, efetuar outro sorteio;

A título ilustrativo é apresentada a figura 1, onde é mostrado, de maneira esquemática, o sorteio de um alimentador.

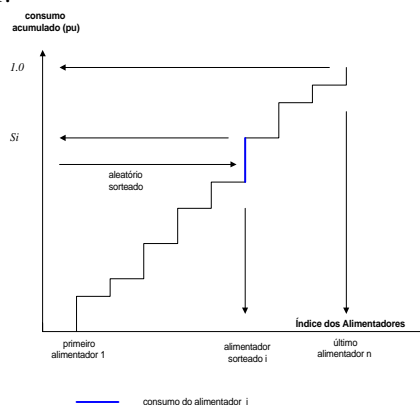


Figura 1 - Curva de consumo acumulado versus alimentadores

B. Sorteios dos Alimentadores

Vários fatores podem influir na frequência de ocorrência das VMTs, como: nível de curto-circuito; extensão do circuito; índice de descarga atmosférica da área; exposição da rede a outros agentes externos como vegetação, animais, abalroamentos e outras condições ambientais; configuração do sistema elétrico; existência de consumidores ou componentes de rede causadores de problemas; operações em rede (ligação de cargas ou circuitos), etc. Além disso, há fatores relacionados com os efeitos, que fazem com que o fenômeno seja mais ou menos crítico em uma determinada rede, tais como: número de consumidores envolvidos; tipo de ramo de atividade dos consumidores, tendo em vista

diferentes susceptibilidades dos equipamentos e vulto das conseqüências financeiras acarretadas pelo problema; porte dos consumidores. Um planejamento amostral que contemplasse todos esses fatores tornar-se-ia muito complexo, tendo em vista os controles a serem efetuados para o dimensionamento da amostra. A partir de planilha de alimentadores fornecida pela Eletropaulo, contendo as informações de consumos residenciais, comerciais, industriais, rurais e outros, procedeu-se a classificação dos alimentadores por segmentos de consumo. A expressão que relaciona o universo de alimentadores (N) e o número de amostras necessárias (Ca), para se obter um erro ϵ (p.u.) considerando-se grau de confiança de 95% é dada por:

$$C_a = N / [(N-1) \cdot \epsilon^2 + 1]$$

Desta forma, para um número de 1094 alimentadores no universo considerado, resulta o seguinte número de amostras, com o grau de confiança de 95%: 254 amostras residenciais; 129 amostras comerciais e 131 amostras industriais. Para cada alimentador sorteado deve-se ter medições no início, meio e fim. Em cada alimentador são escolhidos três transformadores de distribuição: um no início, outro no meio e outro no final, procurando os da mesma categoria do alimentador primário (residencial, comercial, etc.). No circuito secundário de cada transformador, deve-se efetuar medições em dois pontos: no início e no final. Para cada um dos grupos estabelecidos gerou-se uma série de números aleatórios e procedeu-se o sorteio dos alimentadores conforme o item 2.1. Para os segmentos comercial e industrial, obteve-se amostragem ligeiramente inferior à amostragem teórica necessária para manter o erro ϵ em 5%. Os novos erros calculados e as respectivas amostras sorteadas são apresentados na tabela 1.

Tabela 1 - Amostras e erros dos sorteios

Tipo	Amostras Teóricas para erro de 5%	Amostras sorteadas	Erros para amostras sorteadas (%)
Resid.	254	254	5.0
Comerc.	129	107	6.4
Ind.	131	113	6.1

Observa-se que o número resultante de amostras sorteadas é muito elevado. A consideração de erros de 10% e 20% implicaria nas amostras sorteadas indicadas na tabela 2, que representam quantidades de medições com maior viabilidade de serem realizadas.

Tabela 2 - Amostras para erros de 10% e 20%

Tipo	Amostras para erro de 10%	Amostras para erro de 20%
Residenciais	88	24
Comerciais	66	22
Industriais	66	22

Medições para se obter uma amostra representativa de toda a rede (com erro de 5%) envolvem custos bastante

elevados devido à necessidade de uma grande quantidade de equipamentos de medição e devido à falta de locais apropriados para a instalação de medidores. A obtenção de dados estatísticos das características em subestações já fornece um panorama significativo e é um passo importante para o conhecimento do desempenho do sistema. Em ordem de facilidade para a realização de medições viriam, em seguida, as entradas de consumidores de grande porte (subestações de consumidores de AT ou postos primários de consumidores de MT), onde há maior facilidade de encontrar locais mais apropriados para a instalação de instrumentos para medições. Em entradas de consumidores de BT as dificuldades são maiores devido à falta de condições adequadas para a instalação de instrumentos. Convém lembrar que, as tabelas acima podem ser reavaliadas, visando a definição do número de locais amostrados para medições, que é função do número de alimentadores e do erro esperado. Com base nestes entendimentos e de posse de planilha atualizada de alimentadores (com seus respectivos consumos e sua classificação, como residencial, comercial, etc.), deve-se, então, proceder o sorteio atualizado dos locais para medição. A aceitação de erros da ordem de 10 a 20% implica em número de medições mais factível.

III. APLICAÇÃO DO PROGRAMA PARA ANÁLISE ESTATÍSTICA DE VMTs (SISGVMT)

O objetivo desta seção é apresentar, para ilustração, uma breve análise estatística referente a VMTs, para duas campanhas de medições realizadas pela Eletropaulo. A primeira campanha foi realizada entre o final de dezembro de 1999 e o início de fevereiro de 2000. A segunda campanha, muito mais representativa que a primeira, foi realizada em 22 ETDs de 15 kV e contemplou 279 alimentadores. Para a realização destas medições e posterior análise utilizou-se o programa de análise estatística de VMT, desenvolvido no âmbito do projeto USP/Eletropaulo, denominado SISGVMT.

A. Primeira Campanha de Medições

Foram escolhidos alguns alimentadores das ETDs de Capela e Diadema. Foram feitas medições nos inícios, meios e finais dos alimentadores.

a) Apresentação dos Resultados do Programa SISGVMT

Os instrumentos utilizados para as medições apresentam registros de forma de onda, a partir dos quais foram obtidos os valores eficazes para análise dos eventos. Foi considerado, para a análise estatística, o protocolo com janela de 1 ciclo e atualização a cada ciclo [4]. Em forma gráfica são apresentados os resultados para o protocolo estudado. Para cada um dos pontos de medições, o programa apresenta os seguintes gráficos:

- número de eventos em função da duração (dividida em intervalos)
- número de eventos em função da amplitude
- amplitude em função do número de eventos

- amplitude/duração, alocados em retângulos de amplitudes e durações

Os quatro gráficos descritos a seguir são apresentados para os seguintes eventos: sem agregação; com agregação de fases, e com agregação de eventos sucessivos. As agregações realizadas pelo programa SISGVMT, consideram:

- para a agregação de fases, no afundamento de tensão, é adotada a fase que resultar na menor tensão. Para o caso de elevação de tensão será adotada a fase que resultar na maior tensão.
- Para a agregação de eventos sucessivos é adotado o período de 1 minuto, sendo considerada a amplitude e duração da fase que resultar em menor tensão (no caso de afundamento de tensão) ou maior tensão (no caso de elevação de tensão).

O programa SISGVMT apresenta, de forma automática, uma tabela resumo. Nesta tabela, para cada local medido, tem-se o número total de eventos, considerando-os sem agregação; com agregação de fases, e com agregação de eventos sucessivos. Esta versão do software apresenta também as médias de eventos, em função do ponto de medição estar situado no início, no meio ou no fim do alimentador, considerando, ainda, o nível de tensão (AT, MT ou BT). Outra proposta desta versão é apresentar as médias dos eventos por níveis de tensão (AT, MT ou BT), independente do ponto de medição estar alocado no início, no meio ou no fim. A figura 2 apresenta, para cada um dos pontos selecionados, os resumos referente a agregação de eventos sucessivos.

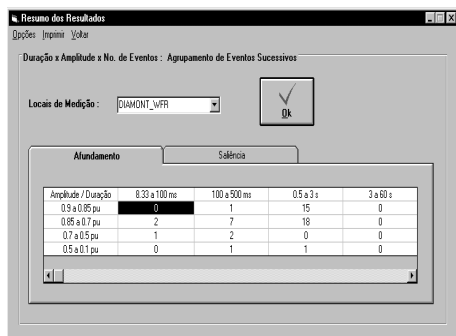


Figura 2 – Resumo do nº de eventos por ponto medido com agregação de eventos sucessivos

b) Análise dos Resultados

Apresentam-se, a seguir, as tabelas com resultados obtidos, com o protocolo considerado.

- Estatística ponto a ponto

Nesta estatística, os índices são apresentados individualmente para cada ponto medido. A figura 3 apresenta o total de eventos dos seguintes casos: sem agregação, com agregação de fases e com agregação de eventos sucessivos.

- Estatística por localização na rede

Esta estatística permite verificar a influência da localização do ponto de avaliação na rede ou no circuito sobre os índices de ocorrência de VMTs. São obtidas as médias de eventos em função da localização, para os casos: sem agregação, com agregação de fases e com agregação de eventos sucessivos, considerando-se a localização das medições e os níveis de tensão, por exemplo: AT; MT-início, MT-fim e BT-fim. A figura 4 considera a amplitude para o caso sem agregação.

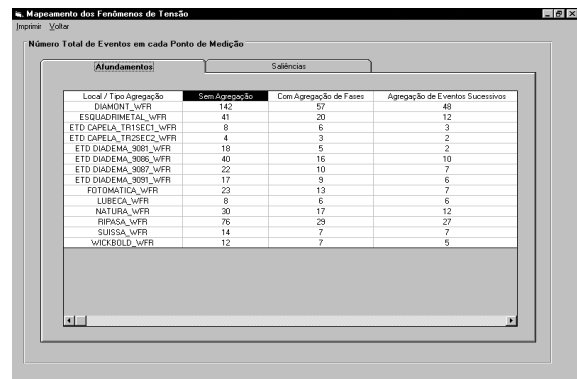


Figura 3 - Resumo dos Resultados das Medições - Número de Eventos

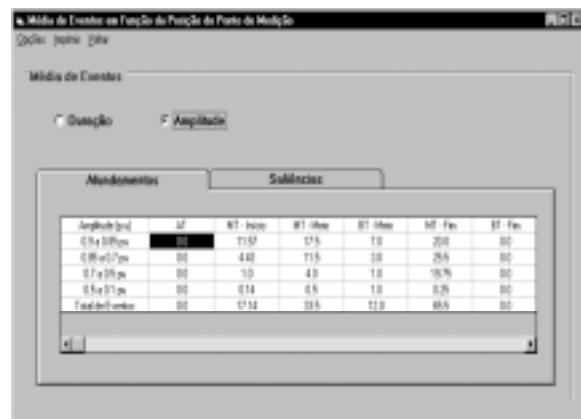


Figura 4- Médias de Eventos em Função da Localização – Amplitude – Sem Agregação

c) Conclusões sobre a Primeira Campanha de Medições

As medições apresentadas, em número pequeno e num reduzido período de medição não representam, obviamente, dados estatisticamente representativos do sistema da Eletropaulo. A partir de uma campanha de medições, por períodos mais longos, por exemplo durante um ano, podem ser obtidos índices mensais e índices globais mais representativos. As informações obtidas permitem visualizar a sua utilidade e constituem um primeiro passo para um levantamento mais abrangente que deverá fornecer bases mais sólidas para a avaliação do sistema da Eletropaulo quanto às VMTs.

B. Segunda Campanha de Medições

Nesta segunda campanha de medições foram eleitos: 279 alimentadores, em 22 ETDs, em MT (13.2 kV). Os dados foram tratados através do programa SIGVMT, versão 2.0, que realiza cálculo de valores eficazes e agregações de eventos (de fases ou eventos sucessivos). Os resultados obtidos são apresentados em forma de tabelas com número de eventos por alimentador (valores absolutos e normalizados para 30 dias). Além disso são apresentados resultados gráficos de frequência de ocorrências de VMTs classificadas por amplitude e duração, para cada ETD. Para avaliação do universo dos alimentadores medidos são apresentados histogramas da quantidade de alimentadores classificados de acordo com o número de VMTs ocorridos (valor normalizado para 30 dias). O valor (número de VMTs) correspondente à frequência acumulada de 95% pode ser tomado como um índice de desempenho do conjunto de alimentadores monitorados em termos de VMTs.

Apresenta-se, a seguir, uma breve análise dos resultados das medições

- O alimentador com maior índice de afundamentos teve 24 ocorrências por 30 dias e os alimentadores com menores índices não tiveram nenhuma ocorrência
- O alimentador com maior índice de saliências teve 49 ocorrências por 30 dias e os alimentadores com menores índices não tiveram nenhuma ocorrência
- 95% dos alimentadores tiveram número de afundamentos, relativos a 30 dias, menores ou iguais a 8.
- 95% dos alimentadores tiveram número de saliências, relativas a 30 dias, menores ou iguais a 6.

Observa-se que a média global de ocorrências foi de 2.29 afundamentos e 1.3 saliências por 30 dias. São apresentadas, na figura 5, os histogramas de afundamentos, por faixa de amplitude.

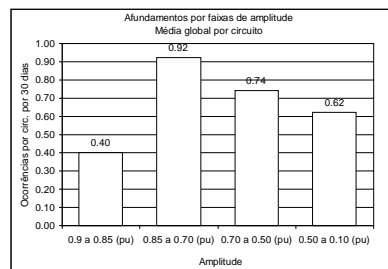


Figura 5 - Ocorrência de afundamentos, por faixa de amplitude

IV. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Proposta de Indicadores para a Fiscalização Estatística dos Fenômenos de VMTs - (USPQ-NT07 - produto G - Março de 2000)
- [2] Análise Estatística de Afundamentos e Elevações de Tensão em Pontos Seleccionados da Rede Elétrica (USPQ-NT07 - produto I - Maio de 2000)
- [3] IEEE Std. 1159-1995 – IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality
- [4] Influence of RMS variation measurement protocols on electrical system performance indices for voltage sags and swells - N. Kagan e outros, ICHQP2000 – 10/ 2000, Orlando, Florida -USA.
- [5] Response of different protocols for detection and measurement parameter of voltage sags and swells - N. Kagan e outros - PQ2000 – 10/2000, Boston, Massachusetts.
- [6] Aplicação de Ferramenta Computacional para Análise Estatística de VMTs e Critérios para Seleção dos Pontos de Medição - N. Kagan e outros - XIV SENDI - Foz do Iguaçu - Novembro de 2000.