

ELABORAÇÃO DE UMA INTERFACE GRÁFICA QUE PERMITA REALIZAR ANÁLISE ESTATÍSTICA/PROBABILÍSTICA DE SINAIS ELÉTRICOS

Guilherme A. Arantes, José F. Amaral, Olívio C. N. Souto, e Sergio B. Silva

NUPSOL – Núcleo de Pesquisa em Energias Renováveis, Instituto Federal de Goiás/IFG, Engenharia Elétrica, Itumbiara-GO.

olivio.Souto@gmail.com, guialvesarantes@gmail.com

Resumo: Os sinais elétricos analisados ao longo do tempo apresentam uma dinâmica, cuja variação está diretamente relacionada às variações da demanda da carga, alterações operacionais, etc. Neste artigo desenvolveu-se uma análise estatística para o estudo das medições dos sinais reconhecendo seu comportamento temporal. Nesse contexto, torna-se imprescindível para muitas aplicações reconhecer a natureza aleatória dos fenômenos encontrados nas redes elétricas, particularmente aqueles que manifestam uma qualidade elétrica comprometida. Medições de campo foram realizadas e os dados coletados foram então processados através do programa computacional. Alguns critérios estatísticos de análise foram estabelecidos para o tratamento dos sinais medidos.

Palavras-Chave – Estatística-Descritiva, Qualidade de Energia Elétrica, Interface Gráfica.

COMPUTATIONAL DESIGN FOR STATISTICAL/PROBABILISTIC ANALYSIS OF ELECTRICAL SIGNALS

Abstract - The electrical signals analyzed over time feature a dynamic, whose variation is directly related to the load demand changes, operational modifications, etc. In this article we developed a statistical / probabilistic analysis to study the measurements of the signals acknowledging their temporal behavior. This analysis allows one to trace a profile which one considers the actual operational conditions of any electrical device. In this context, it is essential for many applications recognize the random nature of the phenomena found in electrical networks, particularly those who manifest a compromised electrical quality. Field measurements were conducted and the data collected were then processed by the computer program. Some statistical analysis criteria were established for the processing of the measured signals.

Keywords – Descriptive Statistics, Electrical Power Systems Quality, Graphical User Interface

I. INTRODUÇÃO

Analisar as medições elétricas através de registros momentâneos não determinam as reais condições operacionais de qualquer dispositivo elétrico. Este enunciado deve-se a consideração da aleatoriedade dos fenômenos presentes nas redes elétricas, sendo assim inviável a identificação ou o direcionamento de medidas corretivas [1,2].

Neste contexto, os sinais necessitam ser monitorados ao longo do tempo, pois qualquer variação esta diretamente relacionada às variações de demanda da carga e alterações operacionais do sistema elétrico. Portanto, torna-se contundente que estas grandezas mereçam tratamento estatístico para a perfeita caracterização dos fenômenos e respectivos efeitos encontrados nas redes elétricas, particularmente os problemas de qualidade de energia, como distorções harmônicas e variações de valor eficaz das tensões de suprimento [3,4].

Este artigo visa apresentar uma análise estatística/probabilística de sinais elétricos medidos por meio de um analisador de energia, com o intuito de através de diferentes critérios de análise e pautados pelas normas vigentes dos Procedimentos de Distribuição (PRODIST) da ANEEL, gerar um relatório acerca da qualidade da rede para um dado consumidor [5].

Para alcançar os objetivos traçados para este trabalho, a metodologia empregada terá como fundamentos a estatística descritiva e as técnicas de análise no domínio da frequência.

II. CONCEITOS BÁSICOS DA ESTATÍSTICA-DESCRITIVA

Inicialmente faz-se necessária uma análise em relação às principais terminologias e grandezas calculadas utilizando-se dos conceitos já estabelecidos na estatística, quais sejam: média, desvio padrão, distribuição de frequência, frequência relativa acumulada e sua complementar, histograma, etc. Cada grandeza permite inferir sobre um grande conjunto de dados, tais como aqueles oriundos de medições de grandezas elétricas realizadas ao longo do tempo [3,4].

O monitoramento de grandezas elétricas ao longo do tempo é importante para que se possa avaliar o desempenho operacional de uma instalação elétrica ou um equipamento



qualquer. As dinâmicas do sistema, tais como as variações de carga, os eventos indesejáveis que podem ocorrer no sistema, os chaveamentos de bancos de capacitores, transformadores, entre outros, acabam por alterar as grandezas sob análise. Neste sentido, qualquer estudo que se deseja realizar o emprego de meros registros momentâneos das grandezas elétricas podem não retratar o que de fato possa estar ocorrendo no mesmo.

Portanto, avaliar um sistema elétrico considerando o monitoramento ao longo do tempo e utilizar-se de ferramentas matemáticas que permitem caracterizar tais fenômenos é de fundamental importância. Diante de tais desafios, surge este trabalho de pesquisa que tem por objetivo elaborar uma interface gráfica que comunique com o equipamento de medição de energia e assim permita realizar uma análise estatística dos sinais medidos e finalmente, gerar um relatório técnico.

III. INTERFACE GRÁFICA

O programa computacional foi desenvolvido no software MATLAB, por se tratar de um ambiente interativo de alta performance e de fácil implementação. Utilizando os recursos para elaboração de telas interativas e geração de gráficos, o programa desenvolvido lê de forma automática os dados oriundos do analisador de energia disponível nos laboratórios do curso de Engenharia Elétrica do IFG/Itumbiara.

O analisador de energia é um equipamento que permite a medição das grandezas elétricas e dos itens que caracterizam uma rede com qualidade da energia comprometida. O equipamento permite armazenar um grande volume de dados, e sua capacidade de armazenamento é definida em função do intervalo de aquisição estabelecido em função da memória disponível.

A interface gráfica foi desenvolvida utilizando a ferramenta do Matlab denominada por “Graphical User Interface” (GUI). A opção por utilizar uma interface gráfica teve por objetivo principal oferecer um ambiente amigável e simples para o usuário. O programa inicialmente faz uma leitura do arquivo exportado do equipamento de medição e apresenta as grandezas que estão disponíveis e que podem ser tratadas estatisticamente. Após a leitura e armazenamento de todas as grandezas, o programa também oferece a possibilidade de se analisar os dados em intervalos de 24 horas ou considerando todo o tempo de medição realizado.

A tela inicial do programa é apresentada na Figura 1. Observa-se que a GUI permite, de forma objetiva, acessar os dados gerados pelo analisador de energia.

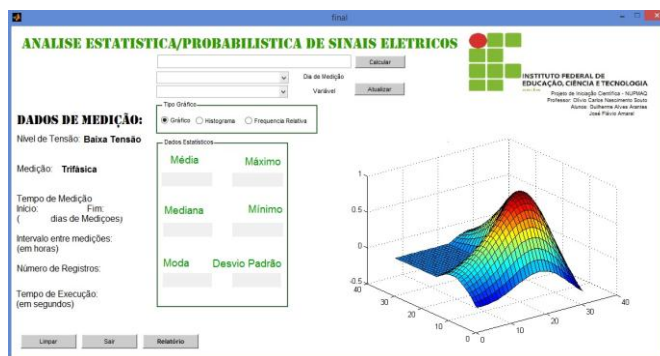


Fig. 1. Janela Inicial do Programa de Análise

IV. RESULTADOS E DISCUSSOES

A título de exemplificação da aplicabilidade do programa computacional, medições foram realizadas no quadro geral de baixa tensão que é alimentado diretamente do secundário do transformador que supre a instalação em estudo. O intervalo de medição escolhido foi de um minuto, e o tempo total de monitoração foi da ordem de seis dias. Desta forma, para cada variável medida pelo equipamento, aproximadamente 7430 amostras foram armazenadas para posterior estudo. Os dados podem ser exportados pelo próprio equipamento através de um arquivo “.xlsx” do Excel.

Após a leitura dos dados medidos pelo analisador de energia e selecionado o período de análise, o programa realiza uma análise estatística dos dados escolhidos e apresenta os resultados na tela na forma de tabelas e de gráficos, quando for o caso. Após análise pelo usuário pode-se gerar um relatório no formato “.txt” contendo os resultados, bem como um diagnóstico do sistema elétrico em função das normas nacionais e internacionais. Adicionalmente, o programa é capaz de exibir informações quanto à sua execução, tais como: tempo de processamento, quantidade de dados lida e mesmo os intervalos entre as medições. A Figura 2 apresenta o perfil da tensão fase-neutro no barramento de baixa tensão durante todo o tempo de medição. Na tela observa-se a existência de um quadro onde estão os valores das medidas estatísticas calculadas pelo programa.

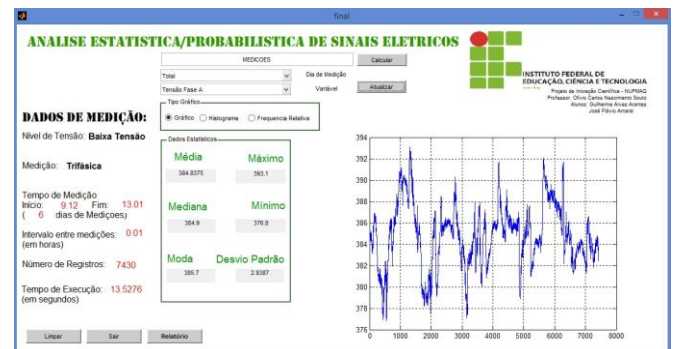


Fig. 2. Perfil de Tensão Fase-Neutro no Barramento de Baixa Tensão – Análise Durante Todo Período de Medição

A título de exemplificação, a tabela 1 apresenta os resultados para uma das tensões fase-neutro medidos ao longo do tempo no quadro geral de baixa tensão que alimenta o sistema elétrico do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Goiás – Itumbiara. Importante ressaltar que além dos dados apresentados na tabela também é possível avaliar as demais grandezas elétricas medidas pelo analisador de energia, tais como: frequência, correntes, potências ativa, reativa e trifásica, bem como dados referentes às distorções harmônicas:

FASE A	
MÉDIA	384,84
MEDIANA	384,9

MODA	385,7
MÁXIMO	393,1
MÍNIMO	376,8
DESVIO PADRÃO	2,9387

Tab. 1. Dados Estatístico/Probabilísticos resultantes do Programa Computacional

Os resultados indicam que durante o tempo de medição o valor eficaz das tensões fase-neutro para a fase “A” foi igual a 384,84 V. Observa-se que a mesma tensão atingiu um valor máximo da ordem de 393,1 V.

Os dados referentes às medições realizadas podem ser observados na tela do programa. A Tabela 2 mostra as informações referentes às medições realizadas.

Nível de tensão	Início medições	Término medições
BT	09:12 hs.	13:01 hs.
Intervalo medições	Número registros	Tempo de execução do programa
1 min.	7430	23,9 seg.

Tab. 2. Informações de Execução dos Dados Medidos

A Figura 5 apresenta o gráfico da frequência relativa acumulada para o sinal de tensão. Deve-se destacar que o programa faz uma marcação nos valores que indicam 95% de probabilidade de que determinado valor tenha ocorrido.

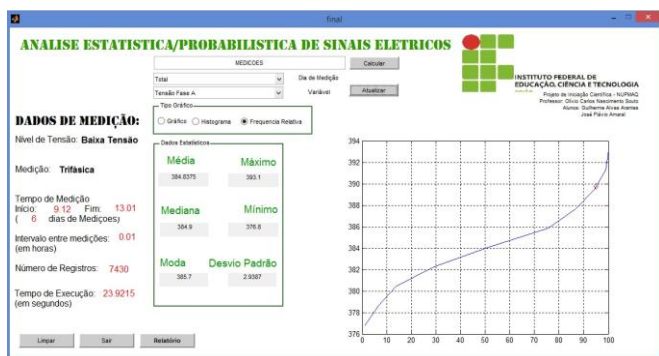


Fig. 5. Tela do programa que apresenta os dados referentes à Frequência Relativa Acumulada da Tensão Fase-Neutro.

Para um maior detalhamento, a Figura 6 apresenta o gráfico da frequência relativa acumulada para a tensão.

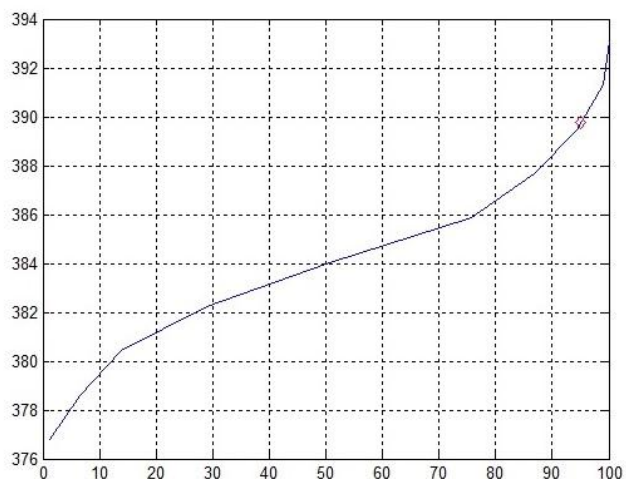


Fig. 6. Frequência Relativa Acumulada da Tensão Fase-Neutro.

Pode-se observar que em 50% dos valores medidos a tensão ficou abaixo de 384 Volts. Ou, conforme as normas exigem, para 95% dos dados obtidos nas medições, a tensão permaneceu abaixo de 389 Volts.

Gráficos adicionais podem ser obtidos pelo programa computacional e esta possibilidade tem por objetivo oferecer um maior número de informações sobre o elevado número de dados medidos. A Figura 7 apresenta o histograma da tensão fase-neutro.

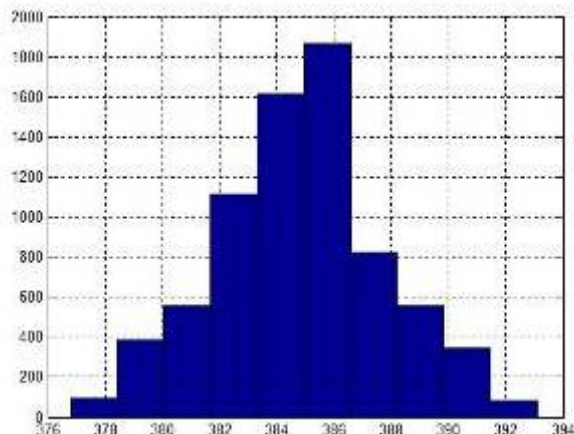


Fig. 7. Histograma da Tensão fase-Neutro da Fase “A”

A figura indica que a tensão atingiu valores da ordem de 386 Volts em mais de 1000 registros.

Uma vez obtido os valores que permitem caracterizar cada grandeza elétrica medida ao longo do tempo, os dados podem ser utilizados para se avaliar o desempenho de um determinado equipamento elétrico ou um sistema de distribuição, conforme as necessidades. Para tanto, pode-se utilizar alguns critérios, como por exemplo avaliar um equipamento considerando apenas o valor médio das grandezas elétricas, ou o valor médio e a dispersão dos valores à sua volta considerando o desvio padrão ou, de forma mais exata, no entanto exigindo um esforço computacional maior, analisando-se o dispositivo elétrico para cada dado medido o que se denomina estudo passo a passo no tempo [2,8].

Quando solicita-se ao programa que gere um relatório o software realiza uma comparação entre os valores medidos e

aqueles de referência estabelecidos nas normas nacionais e internacionais. Dentre os diversos itens que o programa avalia, aqueles associados à qualidade da energia é de fundamental importância, até porque o analisador de energia realiza as medições dos itens que caracterizam uma rede com qualidade da energia comprometida.

A qualidade de energia pode ser avaliada sob o aspecto da qualidade do serviço ao consumidor e sob a ótica da qualidade do produto energia elétrica. A qualidade do produto esta relacionada aos diversos fenômenos que podem ocasionar algum desvio nos valores de referência que caracterizam um sinal de qualidade: forma de onda senoidal, frequência e magnitude. Neste sentido, a ANEEL estabeleceu no Prodist – módulo 8 os itens que definem um sistema elétrico com qualidade comprometida bem como os valores de referência os quais não devem ser ultrapassados. A título de exemplificação, vale citar: variações da tensão em regime permanente, distorções na forma de onda de tensão e corrente, desequilíbrio de tensão e corrente, flutuação de tensão, variações de tensão de curta duração, entre outros [3].

A Tabela 3 fornece os valores de referência a serem utilizados para a avaliação do desempenho do sistema de distribuição quanto às flutuações de tensão. Observa-se a delimitação de três faixas para classificação dos indicadores estabelecidos: valor adequado, valor precário e valor crítico. Esses valores servem para referência do planejamento elétrico em termos de QEE [3].

Tabela 5 – Pontos de conexão em Tensão Nominal igual ou inferior a 1 kV (380/220)

Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de Variação da Tensão de Leitura (Volts)
Adequada	$(350 \leq TL \leq 399)/(202 \leq TL \leq 231)$
Precária	$(331 \leq TL < 350 \text{ ou } 399 < TL \leq 403)/$ $(191 \leq TL < 202 \text{ ou } 231 < TL \leq 233)$
Crítica	$(TL < 331 \text{ ou } TL > 403)/(TL < 191 \text{ ou } TL > 233)$

Tab. 3. Valores de referência – Tensão Nominal igual ou inferior a 1 kV (380/220) - ANEEL – Prodist – Módulo 8

Mediante os valores estipulados pela norma, o programa é capaz de elaborar uma avaliação de cada amostra baseando-se nos valores de referência e limite estipulados para o sistema de baixa tensão analisado.

V. CONCLUSÕES

O presente artigo apresentou uma ferramenta computacional com objetivo de realizar uma análise estatística/probabilística de grandes volumes de dados pertencentes a sinais elétricos monitorados ao longo do tempo. Devido ao grande de número de informações que estão inseridas nas medições de sinais elétricos ao longo do tempo, faz-se necessária identificar características que podem auxiliar o profissional da engenharia elétrica avaliar e estabelecer conclusões sobre o desempenho de sistemas ou equipamentos elétricos.

Para tanto, a equipe de pesquisadores do núcleo de pesquisa em energias renováveis – NUPSOL elaborou um programa computacional com interface gráfica que possibilita a leitura das medições realizadas pelo analisador de energia existente nos laboratórios do referido núcleo. Utilizando-se dos conceitos da estatística descritiva medidas de dispersão, valores de tendência central, bem como gráficos que

possibilitam uma melhor análise das grandezas elétricas medidas. Adicionalmente, o programa disponibiliza um relatório no formato “.txt” onde compara os valores medidos com aqueles estabelecidos em normas como sendo de referência, a exemplo aqueles documentados no Prodist – Módulo 8 da ANEEL.

A elaboração do programa computacional que possibilita a realização de análises de sinais elétricos medidos ao longo do tempo e com isso avaliar o desempenho de equipamentos, teve por diretriz principal oferecer ao usuário uma plataforma amigável e autoexplicativa de forma que o trabalho de aquisição dos sinais armazenados pelo analisador de energia e a elaboração e interpretação dos dados ocorressem de forma rápida e objetiva. Dentro deste contexto, foram apresentadas as telas do programa mostrando, desta forma, a potencialidade da ferramenta computacional.

REFERÊNCIAS

- [1] Vaccaro, Guilherme L. R., “Análise Estatística da Qualidade de Níveis de Tensão em Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica”, UNISINOS, São Leopoldo, RS, Brasil, 2010.
- [2] Souto, Olívio C. N., “Modelagem e Análise do Desempenho Térmico de Motores de Indução Trifásico sob Condições Não Ideais de Alimentação”, Tese de Doutorado, UFU, Uberlândia, MG, Brasil, 2001.
- [3] Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, “Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional” – PRODIST, Módulo 8 – Qualidade de Energia Elétrica. Revisão 7, vigente desde 01/01/2010.
- [4] Papoulis, A., “Probability, Random Variables and Stochastic Process”, New York, USA, McGraw-Hill, 1991.
- [5] G. Carpinelli, P. Caramia, E di Vito, A. Losi, P. Verde, “Probability Evaluation of the Economical Damage due to Harmonic Losses in Industrial Energy Systems”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. PWD-11, No. 2, April-1996.
- [6] Assunção, Teresa C. B. N., “Diagnóstico e Análise da Qualidade de Energia na UFSJ”, Projeto de Iniciação Científica, Universidade Federal de São João Del-Rei, MG, 2009.
- [7] Alves, Marleide F., Lotufo, Anna D. P., Lopes, Mara L. M., “Seleção de Variáveis *Stepwise* Aplicadas em Redes Neurais Artificiais para Previsão de Demanda de Cargas Elétricas”, Departamento de Engenharia Elétrica – UNESP, SP, 2013.
- [8] Souto, C. N. Olívio., Silva, B. S.1, Viajante, P. Ghunter, Vagner, R., Oliveira, J. C: “Statistical and Economic Analysis of Power Quality Impact on Thermal Behaviour and Life Expectancy of Three-Phase Induction Motors”, IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering – IEEEIC 2016.

DADOS BIOGRÁFICOS

Guilherme Alves Arantes, bacharelado em Engenharia Elétrica pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e

Tecnologia de Goiás – Itumbiara (ingresso 2011), participou do programa Ciências sem Fronteiras (chamada nº 127 - USA) na Texas A&M University (2014) e California State University (2015), bolsista de iniciação científica (PIBIC – 2015) em três diferentes projetos vinculados à qualidade de energia elétrica e máquinas elétricas.

José Flávio dos Santos Amaral, bacharelado em Engenharia Elétrica pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Itumbiara (ingresso 2014), bolsista de iniciação científica (PIBIC – 2015) vinculados à qualidade de energia e fontes renováveis.

Olívio Carlos Souto do Nascimento, nascido em 05/06/1963 em Uberlândia-MG, Brasil. Graduiu-se como Engenheiro Eletricista e obteve o título de Mestre e Doutor pela Universidade Federal de Uberlândia em 1998 e 2003, respectivamente. Atualmente, é professor no curso de engenharia elétrica do Instituto Federal de Goiás, em Itumbiara, GO. Sua área de pesquisa está relacionada a qualidade da energia elétrica, eficiência energética, fontes renováveis de energia, geração distribuída e impacto no sistema elétrico.

Sergio Batista Silva, nascido em 28/02/1975 em Tupaciguara-MG, Brasil. Graduiu-se como Engenheiro Eletricista e obteve o título de Mestre pela Universidade Federal de Uberlândia em 1998 e 2003, respectivamente. Doutor pela Universidade de Brasília em 2010. Atualmente, é professor na engenharia elétrica do Instituto Federal de Goiás, em Itumbiara. Atuando principalmente na área de energia solar fotovoltaica.