



Análise por Imagens da Qualidade de Energia Elétrica em Microrredes

Palavras-chave: Qualidade de energia elétrica, Microrredes, Visualização.

Autores:

Lucas S. K. Iijima – FEEC – UNICAMP

José A. Pomilio (orientador) – FEEC – UNICAMP

Léo P. Magalhães (coorientador) – FEEC – UNICAMP

João I. Y Ota – FEEC – UNICAMP

OBJETIVOS DA PESQUISA

No contexto do projeto de redes inteligentes desenvolvido na UNICAMP, a análise da qualidade de energia elétrica (QEE) desempenha um papel importante na operação deste sistema elétrico. Este trabalho teve como objetivo o mapeamento de sinais de baixa tensão (tensão nominal de 127 V na frequência de 60 Hz) para imagens que identifiquem eventos e características específicas tais como, elevações e afundamentos, harmônicas e transitórios. No decorrer do projeto foram realizados constantes aprimoramentos na forma de representação das imagens visando um mapeamento robusto e intuitivo para um operador humano associar a sinais de tensão.

METODOLOGIA DA PESQUISA

O objetivo dos mapeamentos e representação em imagens é fornecer ao operador humano uma forma alternativa de visualização da dinâmica da rede elétrica que permita uma identificação intuitiva de eventos em baixa tensão. Uma grande variedade de mapeamentos de sinais de tensão em imagens foi elaborado e abrangem representações 3D (e suas projeções) baseadas em diferentes combinações de forma, cor e textura associadas a diferentes aspectos da tensão tais como, elevações e afundamentos, harmônicas e transitórios.

Mapeamento para Imagens 3D

As imagens com perspectiva tridimensional possuem diversos parâmetros adicionais que podem ser utilizados na associação a características de tensão. Uma característica expressiva desta nova representação é a possibilidade de mapear, de forma organizada, os sinais do sistema trifásico em uma única imagem. Além disso, a área da superfície pode ser utilizada para representar os harmônicos de tensão, o que é uma característica importante a se analisada do ponto de vista de QEE. Neste sentido, foi proposto um mapeamento para uma superfície esférica.

O mapeamento do sinal de tensão para uma imagem foi feito a partir de um ciclo do sinal e segue três etapas: extração de características, comparação com limites pré-estabelecidos e construção da superfície.

Na etapa de extração de características são calculadas, para cada fase, as tensões instantâneas, os módulos e defasagens das tensões fundamentais de cada fase e do neutro, o valor de suas componentes harmônicas individuais (ímpares, até a 13a), a THD (Total Harmonic Distortion) e o Fator de Desequilíbrio (FD).

Na segunda etapa, os atributos obtidos são comparados com limites estabelecidos de maneira a definir as propriedades da imagem que representem o conjunto de características extraídas.

Na terceira etapa, a imagem é gerada a partir de superfícies cujos elementos estão indicados na **Figura 1**. Nesta etapa, somente as características que excedem os limites estabelecidos pelo menos uma vez (e.g. em uma ou mais fases) são associadas à imagem.

A imagem resultante do mapeamento é composta por quatro superfícies: a superfície principal, sua projeção no plano xy, a esfera do terra (cor azul) e a esfera do neutro. A primeira delas é dividida em três seções que representam cada tensão de fase e estão defasadas de acordo com os ângulos entre as fases das componentes fundamentais. Cada uma delas possui um conjunto composto por um gomo, uma faixa, torres e contornos, sendo que a quantidade destes últimos identifica cada fase (1–fase A; 2–fase B; 3–fase C). Vale ressaltar que o comprimento dos “gomos” e das “torres” são proporcionais, respectivamente, ao nível das tensões fundamentais e das harmônicas individuais e reforçam tais características das tensões na imagem. Ademais, para facilitar a identificação de componentes harmônicas, a N-ésima harmônica em uma dada fase é representada por uma torre na superfície do gomo correspondente, como evidencia a **Figura 2**. Além disso, as componentes foram agrupadas com base nas normas do PRODIST. Dessa forma, é feita a identificação:

- DTT: Distorção harmônica total de tensão;
- DTTi: Distorção harmônica total de tensão para as componentes ímpares não múltiplas de 3;
- DTT3: Distorção harmônica total de tensão para as componentes múltiplas de 3.

Em relação às duas últimas superfícies da imagem, a distância relativa da esfera do terra em relação à esfera do neutro é um elemento adicional que contribui para a representação de desequilíbrios.

O papel deste mapeamento é alertar o operador da ocorrência de um evento na rede de modo que possa ser tomada uma decisão pertinente em tempo real. Uma desvantagem expressiva é o tempo excessivo para a execução de montagem e agrupamento das superfícies (em média, trinta segundos por imagem), não sendo possível aplicação em tempo real.

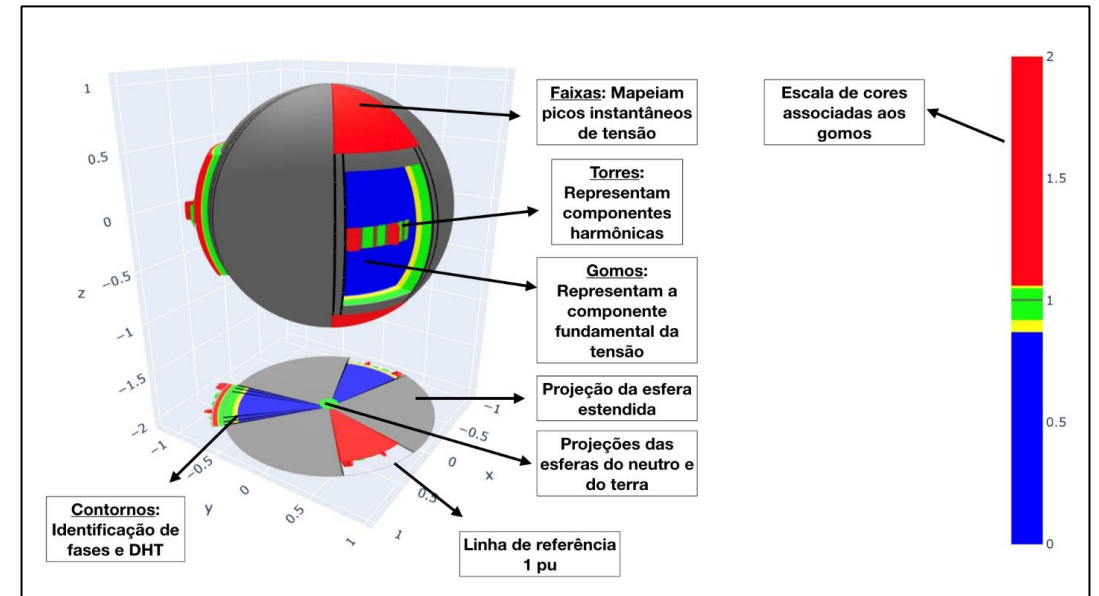


Figura 1: Esquema de associação de características de tensão à imagem.

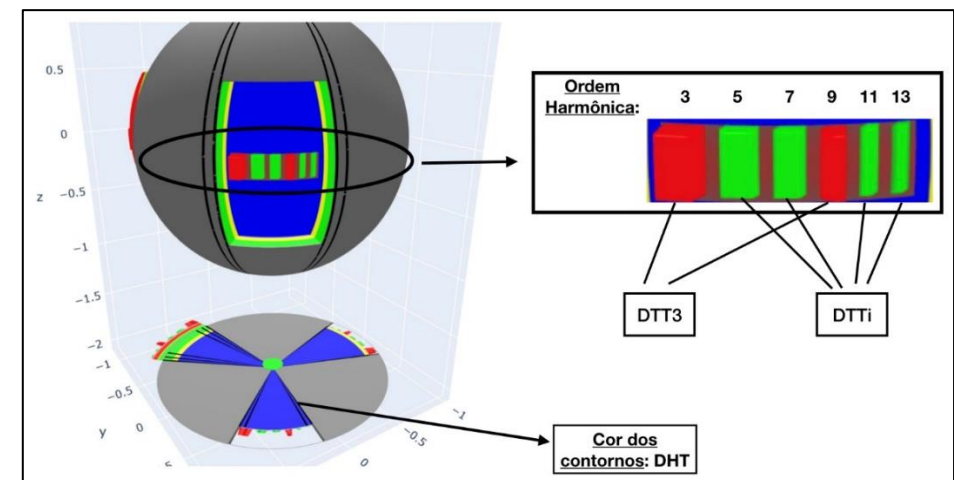


Figura 2: Esquema de associação de harmônicas de tensão à imagem.

Mapeamento para a Projeção de Imagens 3D

Com o objetivo de contornar o problema do tempo excessivo, considerou-se somente a projeção da esfera 3D (**Figura 1**) uma vez que esta agrupa toda a informação do sinal de tensão necessária para a tomada de decisão. O objetivo desta nova representação é a aplicação em tempo real, ou seja, de modo a ser mostrada para o operador com informações fornecidas pelos medidores a cada 12 ciclos da rede de 60 Hz assim, as imagens devem ser feitas em menos de 200 milissegundos. Uma forma possível de implementação é criar uma base de imagens e, uma vez identificado o evento, resgatar a imagem correspondente de tal base. Assim, propõe-se montar uma imagem para cada estado possível de cada fase separadamente. Para exemplificar, considera-se a situação de normalidade para as três fases, representadas na **Figura 3**. Note que nesta nova representação, o fundo preto indica situação de normalidade enquanto o fundo branco indica a ocorrência de algum evento de QEE.

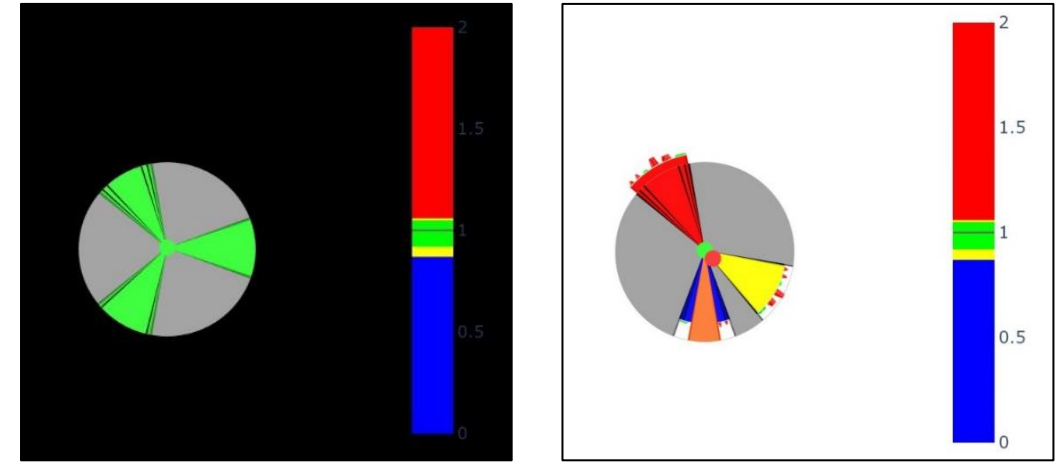


Figura 3: Mapeamento por projeção da esfera 3D modificado.

Resultados

Para testar a dinâmica do sistema (**Figura 4**), foram simuladas situações em ambiente MATLAB para diversos eventos, mostrados na **Figura 5**. A seguir, extraiu-se as características dos sinais de tensão as comparou com os limites estabelecidos, gerando flags de sinalização que, por sua vez, correspondem a um conjunto de três imagens (uma por fase) da base. Por fim, a imagem é montada e mostrada para o operador. Ressalta-se que a base de imagens foi idealizada de modo que são apresentadas amostras de algumas situações mais frequentes de eventos de QEE cujos mapeamentos são mostrados na **Tabela 1**.

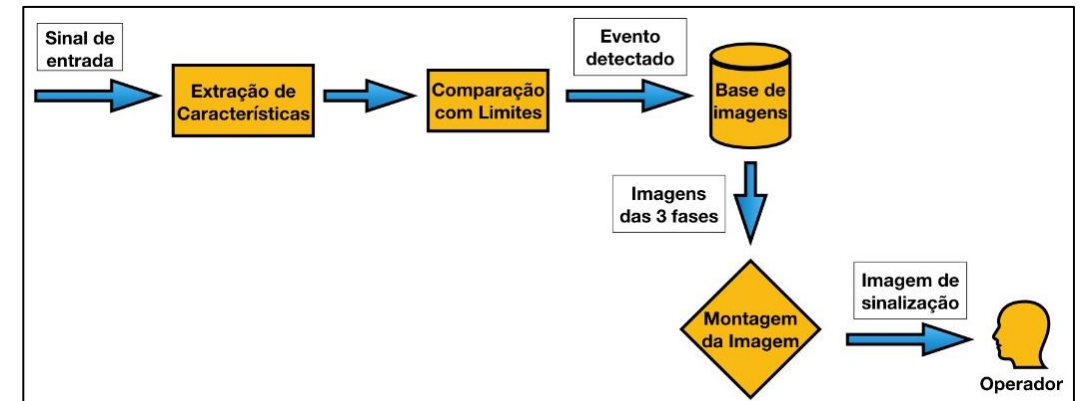


Figura 4: Diagrama do sistema para mapeamento de sinais de tensão em imagens.

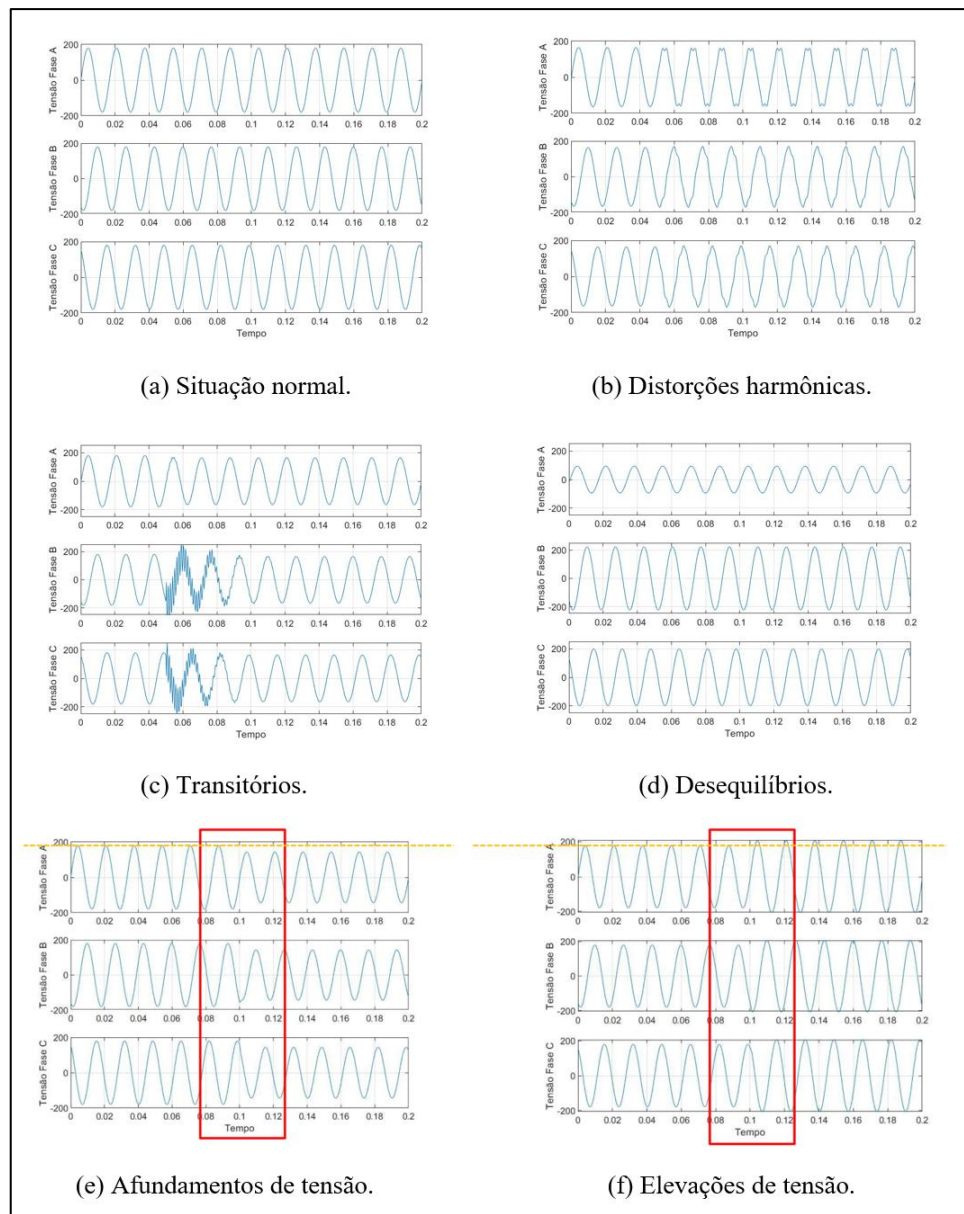


Figura 5: Formas de onda de cada fase dos eventos simulados em ambiente MATLAB.

Descrição	Mapeamento	Descrição	Mapeamento
Situação normal		Elevação crítica nas três fases	
Afundamento precário na fase A, afundamento crítico na fase B e elevação crítica na fase C + Sistema desequilibrado		DTT ₃ acima do limite nas três fases	
DHT, DTT ₁ e DTT ₂ acima do limite nas três fases		Picos de tensão instantâneos nas fases A e C	
Descrição		Mapeamento	
<p>Afundamento precário na fase A, afundamento crítico na fase B e elevação crítica na fase C (sistema desequilibrado)</p> <p>+ Pico de tensão na fase B</p> <p>+ DTT₁ acima do limite nas três fases</p> <p>+ Neutro desconectado do terra</p>			

Tabela 1: Mapeamentos propostos para eventos de QEE e suas combinações.

DISCUSSÃO

Do ponto de vista da análise da qualidade de energia elétrica, a representação em imagem inclui as principais características de tensão e oferece ao operador uma alternativa de visualização compacta da dinâmica da rede. Ao decorrer do projeto, a sucessão de mapeamentos teve como objetivo incrementar o anterior de maneira a resultar na representação em uma superfície esférica (modificada) que melhor inclui as características do sinal de tensão e da forma mais intuitiva para o operador humano.

O processo de mapeamento dos sinais inicial se mostrou custoso no tempo de execução de maneira que em uma situação em tempo real a geração das imagens não acompanha a velocidade de geração de dados pelos medidores. Em razão disso, foi considerada somente a projeção ortogonal da superfície. Com isso, foi possível a implementação de uma dinâmica que identifique eventos de QEE em janelas de 200 milissegundos e que, dentro deste intervalo, mostre uma representação visual intuitiva para o operador, que tomará as decisões adequadas. No contexto de microrredes, por exemplo, um problema identificado na rede de distribuição principal pode levar o operador a rapidamente abrir a conexão no ponto de acoplamento, tornando a microrrede isolada.

CONCLUSÕES

Neste trabalho, foi apresentada uma proposta de dinâmica que transforme sinais de tensão em imagens no intuito de fornecer ao operador uma representação que sintetize toda a informação relevante dos sinais e estimule, de forma intuitiva, a tomada rápida de decisão. Como perspectivas para trabalhos futuros, uma maior variedade de bibliotecas poderia ser testada visando uma representação mais intuitiva dos sinais de tensão e que tenham menor custo computacional de modo a, eventualmente, possibilitar a implementação de imagens tridimensionais em tempo real.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, FAPESP (processos 2016/08645-9 e 2019/24635-1) e à CPFL Energia pelo apoio e financiamento.

BIBLIOGRAFIA

S.M. Deckmann e J. A. Pomilio, **Avaliação da Qualidade da Energia Elétrica**, FEEC/Unicamp, 2017. Disponível em <http://www.fee.unicamp.br/dse/antenor/it012>.

V. Miranda, P. A. Cardoso, R. J. Bessa, I. Decker, **Through the looking glass: Seeing events in power systems dynamics**, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Volume 106, 2019, Pages 411-419, ISSN 0142-0615.