



## **Aula 12 – SEL0409**

# **Avaliação dos dados de medição, aplicação de sistemas inteligentes e normas para o monitoramento da QEE**

Prof. Assoc. Mário Oleskovicz (olesk@sc.usp.br)

USP/EESC/SEL

# *Qualidade da Energia Elétrica*

## Avaliação dos dados de medição

- ✓ À medida que as concessionárias e os clientes industriais expandiram seus sistemas de monitoramento de QEE, as **funções de gerenciamento, análise e interpretação dos dados** tornaram-se os desafios mais significativos no monitoramento geral da qualidade.
- ✓ Além disso, a mudança conceitual de um **monitoramento off-line** para um **on-line**, com a identificação automática dos problemas, tornou as tarefas de gerenciamento e análise dos dados ainda mais complexas.

## Avaliação dos dados de medição

- ✓ Existem dois fluxos de análise de dados em QEE: **análises off-line** e **on-line**.
- ✓ A análise de QEE **off-line** é realizada nos locais de processamento central.
- ✓ A análise dos dados **on-line** é realizada no próprio instrumento de medição para disseminação imediata das informações.

# Qualidade da Energia Elétrica

## Avaliação dos dados de medição

- ✓ A avaliação de dados de QEE **off-line** é realizada separadamente dos instrumentos de monitoramento.
- ✓ Softwares dedicados são usados para esta finalidade (grande volume de dados).
- ✓ Os softwares devem integrar-se aos equipamentos de monitoramento e fazer uso de modernas ferramentas de processamento, análise e de gerenciamento de dados.
- ✓ O armazenamento de grandes quantidades de dados de medição requer um banco de dados eficiente e adequado.
- ✓ A automação das tarefas de gerenciamento de dados e geração de relatórios deve ser suportada, permitindo a expansão e a personalização futuras.

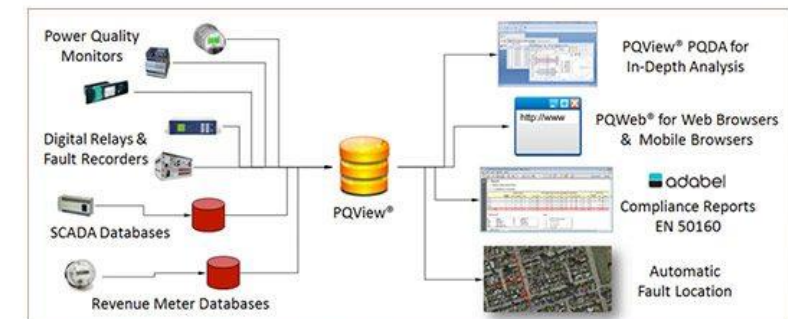
Fonte: DUGAN, R. C.; McGRANAGHAN, M. F.; SANTOSO, S.; BEATY, H. W. *Electrical Power Quality Systems*, Third Edition, Mc Graw Hill, 2012.

# Qualidade da Energia Elétrica

## Avaliação dos dados de medição

- ✓ O formato/padrão para intercâmbio de dados de QEE (*Power Quality Data Interchange Format - PQDIF*) torna viável o compartilhamento de dados entre diferentes tipos de sistemas de monitoramento.
- ✓ Os aplicativos para gerenciamento e análise de dados podem ser escritos por terceiros e os dados de medição de uma ampla variedade de sistemas de monitoramento podem ser acessados por esses sistemas.
- ✓ O **PQView** é um exemplo desse tipo de aplicativo de terceiros.

<https://www.dranetz.com/product/electrotek-pqview/>



Fonte: DUGAN, R. C.; McGRANAGHAN, M. F.; SANTOSO, S.; BEATY, H. W. *Electrical Power Quality Systems*, Third Edition, Mc Graw Hill, 2012.

## Avaliação dos dados de medição

- ✓ O software de avaliação de dados de **QEE off-line** geralmente executa, dentre outras, as seguintes funções:

1) Visualização de eventos individuais.

2) Análise da variação do valor RMS que inclui tabulações de afundamentos e elevações de tensão, gráficos de dispersão de magnitude-duração baseados na CBEMA, ITIC ou curvas de magnitude-duração especificadas pelo usuário, e cálculos de uma ampla gama de índices baseados no valor RMS, como SARFI (*System Average RMS Variation Frequency Index*), e CAID (*Customer Average Interruption Duration Index*).

3) Análise de estado estacionário que inclui tendências das tensões e correntes, e desequilíbrios de sequência negativo e zero. Além disso, muitos sistemas fornecem uma análise estatística (probabilidade mínima, média, máxima, desvio padrão, contagem e cumulativa). As estatísticas podem ser agregadas temporalmente e filtradas dinamicamente.

# *Qualidade da Energia Elétrica*



## Avaliação dos dados de medição

- 4) Análise harmônica (espectro harmônico) de tensão e corrente, análise estatística de vários índices harmônicos e tendências ao longo do tempo.
- 5) Análise transitória que inclui uma análise estatística da tensão máxima, duração e frequência dos transitórios.
- 6) Relatórios padronizados de QEE (diários, mensais, de desempenho/estatístico, resumos para a empresa e consumidores).
- 7) Análise da operação/desempenho dos dispositivos de proteção (identificar problemas).
- 8) Correlação dos distúrbios de QEE com outros eventos (ocorrências de afundamentos de tensão *versus* a densidade de relâmpagos/descargas atmosféricas).

Fonte: DUGAN, R. C.; McGRANAGHAN, M. F.; SANTOSO, S.; BEATY, H. W. *Electrical Power Quality Systems*, Third Edition, Mc Graw Hill, 2012.



# *Qualidade da Energia Elétrica*

## Aplicação de sistemas inteligentes

- ✓ Muitos sistemas avançados de monitoramento de QEE são equipados com **sistemas inteligentes off-line** ou **on-line** para avaliar distúrbios e condições do sistema para concluir sobre a causa do problema, ou até mesmo, prever problemas antes que eles ocorram!
- ✓ As aplicações de **sistemas inteligentes** ou **sistemas especialistas autônomos** em instrumentos de monitoramento ajudam a determinar rapidamente a condição do sistema. Isso é especialmente importante ao restaurar o serviço após grandes distúrbios.



## Aplicação de sistemas inteligentes

- ✓ A implementação de **sistemas inteligentes** dentro de um instrumento de monitoramento pode aumentar significativamente o valor de um aplicativo de monitoramento, pois pode gerar informações ao invés de apenas coletar dados.
- ✓ Os **sistemas inteligentes** são desenvolvidos como **módulos individuais de sistemas especialistas autônomos**, onde cada módulo desempenha uma função específica.
- ✓ Exemplos: módulo de sistema especialista para analisar transitórios decorrentes do chaveamento de Bancos de Capacitores (BCs) e que determina a localização relativa do BCs, e módulo de sistema especialista para determinar a localização relativa da falta (curto-circuito) que causa um afundamento de tensão.

## Aplicação de sistemas inteligentes

- ✓ Projeto básico de um sistema especialista para aplicativos de monitoramento

O desenvolvimento de um sistema especialista autônomo exige, por exemplo, conhecimentos em **processamento de sinais** e técnicas baseadas em regras e **mineração de dados**.

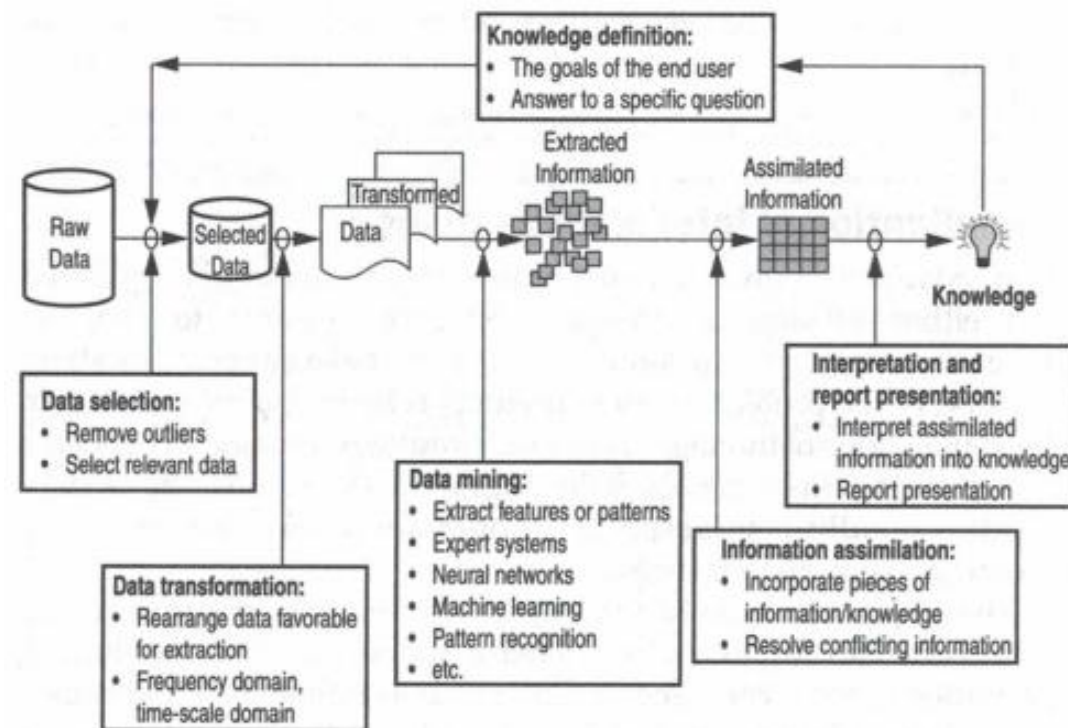
As **funcionalidades** ou **objetivos** do módulo especialista devem ser claramente definidos.

Deve se ter uma compreensão clara sobre o que se está tentando abstrair/conhecer a partir do **volume de dados brutos de medição**.

# Qualidade da Energia Elétrica

## Aplicação de sistemas inteligentes

- ✓ O processo de **transformar dados brutos de medição em conhecimento** envolve seleção e preparação dos dados, extração das informações dos dados selecionados, assimilação das informações e apresentação de relatórios. Essas etapas são comumente conhecidas como **descoberta do conhecimento** ou **mineração de dados**.



Fonte: DUGAN, R. C.; McGRANAGHAN, M. F.; SANTOSO, S.; BEATY, H. W. *Electrical Power Quality Systems*, Third Edition, Mc Graw Hill, 2012.

# Qualidade da Energia Elétrica

## Aplicação de sistemas inteligentes

- ✓ O **primeiro passo** na descoberta do conhecimento é **selecionar as grandezas de medição apropriadas** e desconsiderar outros tipos de medições que não fornecem informações relevantes.

No processo de seleção de dados, geralmente são realizadas análises preliminares para garantir a **qualidade da medição**. Por exemplo, um módulo de sistema especialista é desenvolvido para recuperar uma resposta específica e requer que as medições instantâneas das formas de onda de tensão e corrente trifásicas estejam disponíveis. A tarefa da seleção dos dados é responsável por garantir que todos os dados da forma de onda de corrente e tensão de fase necessários estejam disponíveis antes de prosseguir para a próxima etapa. Em alguns casos, pode ser necessário interpolar ou extrapolar dados nesta etapa. Outros testes preliminares incluem a verificação de magnitudes discrepantes, sequências de dados ausentes, dados corrompidos, etc. O exame da qualidade dos dados é essencial, pois a precisão do conhecimento é determinada pela **qualidade dos dados**.

Fonte: DUGAN, R. C.; McGRANAGHAN, M. F.; SANTOSO, S.; BEATY, H. W. *Electrical Power Quality Systems*, Third Edition, Mc Graw Hill, 2012.

## Aplicação de sistemas inteligentes

- ✓ A **segunda etapa** irá representar/projetar os dados em domínios nos quais uma solução será mais favorável para ser analisada.

São aplicadas técnicas de processamento de sinais e análises de sistemas de potência. Um exemplo dessa etapa é transformar os dados de um para outro domínio, onde as informações possam estar localizadas.

A **Transformada de Fourier** pode ser aplicada para descobrir informações no domínio da frequência para sinais em regime permanente. Já a **Transformada Wavelet** pode ser aplicada para encontrar as informações temporais e de frequência para sinais transitórios, bem como outras transformadas podem ser consideradas.

## Aplicação de sistemas inteligentes

- ✓ **Terceiro passo:** extrair as informações desejadas. As técnicas para extrair as informações variam de sofisticadas, como reconhecimento de padrões, redes neurais artificiais e aprendizado de máquina, a simples, como encontrar o valor máximo no sinal transformado, ou contar o número de pontos em que a magnitude de uma forma de onda de tensão está acima de um valor limite predeterminado.

Um exemplo é procurar frequências harmônicas de uma forma de onda distorcida. Na segunda etapa, a forma de onda é transformada usando a Transformada de Fourier, resultando em um sinal no domínio da frequência. Um processo simples de extração de frequências harmônicas pode ser realizado primeiro calculando o nível de ruído no sinal no domínio da frequência e, posteriormente, definir um limite (*threshold*). Qualquer magnitude maior que o *threshold* estabelecido pode indicar a presença de frequências harmônicas.



## Aplicação de sistemas inteligentes

- ✓ A etapa de **mineração de dados** geralmente resulta em informações dispersas. Essas informações são então **assimiladas (quarta etapa)** para formar o conhecimento.

Em alguns casos, a **assimilação das informações** não é prontamente possível, pois algumas informações entram em conflito umas com as outras. Se as informações conflitantes não puderem ser resolvidas, a qualidade da resposta fornecida pode ter uso limitado.

- ✓ A última etapa da cadeia é a **interpretação do conhecimento** e a **apresentação do relatório**.



## Aplicação de sistemas inteligentes

### ✓ Exemplos de aplicações de sistemas especialistas

Um ou mais módulos de sistemas especialistas autônomos podem ser implementados em um sistema avançado de monitoramento de QEE.

Quando um evento de QEE é capturado, todos os módulos serão ativados.

Cada módulo tentará descobrir o conhecimento único que foi projetado para procurar.

Uma vez que o conhecimento único é descoberto, o conhecimento estará disponível para os usuários inspecionarem.

O conhecimento pode ser visualizado pelo usuário em um navegador padrão (internet), ou enviado como e-mail, ou mensagens de texto (SMS).

## Aplicação de sistemas inteligentes

- ✓ **O monitoramento da QEE em instalações industriais**
  - Perfil do consumo de energia e demanda com a identificação de oportunidades de economia e redução de demanda.
  - Avaliações dos harmônicos para identificar problemas de carga do transformador, fontes de harmônicos, problemas indicando a operação incorreta de equipamentos (como conversores) e problemas de ressonância associados à correção do fator de potência.
  - Avaliação dos impactos dos afundamentos de tensão para identificar equipamentos sensíveis e possíveis oportunidades para melhoria do processo.
  - Avaliação da correção do fator de potência para identificar o funcionamento adequado de BCs, problemas de chaveamentos e de ressonância, e otimização do desempenho para minimizar gastos com a energia.
  - Avaliação da partida de motores para identificar problemas de chaveamento e com a corrente de partida, e a operação de dispositivos de proteção.
  - Avaliação da proteção contra curto-circuito para avaliar a operação adequada dos dispositivos de proteção com base nas características da corrente de curto-circuito, curvas de tempo-corrente, etc.

Fonte: DUGAN, R. C.; McGRANAGHAN, M. F.; SANTOSO, S.; BEATY, H. W. *Electrical Power Quality Systems*, Third Edition, Mc Graw Hill, 2012.

## Aplicação de sistemas inteligentes

- ✓ **Avaliação de desempenho do sistema de energia e *benchmarking***
  - Análise de parâmetros de QEE em regime permanente (regulação de tensão, desequilíbrio, flutuação de tensão, harmônicos) para observar as tendências de desempenho, correlação com as condições do sistema (BCs, geração, carregamento, etc.) e a identificação de condições que precisam de atenção.
  - Caracterização e avaliação de afundamentos de tensão para identificar as causas (transmissão ou distribuição), classificação e análise (incluindo agregação de eventos múltiplos e identificação de sub eventos para análise em relação às operações dos dispositivos de proteção).
  - Caracterização dos chaveamentos de BCs para identificar a origem do transitório, localizar o BCs e caracterizar os eventos para um gerenciamento e análise do banco de dados.
  - Cálculos e relatórios de índices de desempenho para fins de *benchmarking* e para priorização de investimentos em manutenção e melhoria do sistema.

# Qualidade da Energia Elétrica

## Aplicação de sistemas inteligentes

### ✓ Aplicações para a operação, manutenção e confiabilidade do sistema

**Localização de faltas** para melhorar drasticamente o tempo de resposta reparando circuitos e também identificar condições de várias faltas ao longo do tempo no mesmo local. **Avaliação de desempenho do BCs** para identificar fusíveis queimados, falhas, problemas de chaveamento e de ressonância. **Avaliação de desempenho do regulador de tensão** para identificar operações incomuns, problemas de arco e de regulação, etc. **Avaliação de desempenho do gerador distribuído** para identificar problemas de interconexão e de coordenação com dispositivos de proteção, de injeção harmônica, e de ilhamento, etc. **Identificador de falta incipiente** para apontar falhas em cabos/condutores e falhas de para-raios que são frequentemente precedidas por descargas de correntes que ocorrem semanas antes da falha real. **Avaliação de carga do transformador** para avaliar questões de perda da vida útil do transformador relacionadas ao carregamento e também incluir impactos da carga harmônica nos cálculos. **Avaliação de desempenho do disjuntor do alimentador** para identificar problemas de coordenação, operação adequada para condições de curto-circuito, disparos incorretos, etc.

## Aplicação de sistemas inteligentes

### ✓ Monitoramento da QEE e a internet

Muitas concessionárias adotaram sistemas de monitoramento da QEE para avaliar continuamente o desempenho do sistema e fornecer uma resposta mais rápida aos problemas.

O acesso à informação pela intranet e internet tem sido fundamental para o sucesso desses sistemas.

Um exemplo é o resultado de pesquisas iniciadas pela TVA e o EPRI (*Electric Power Research Institute*). O resultado foi um sistema modular com uma arquitetura totalmente aberta para que possa ser integrada com uma ampla variedade de plataformas.

## Aplicação de sistemas inteligentes

- ✓ A TVA está implantando os sistemas de monitoramento baseados na web em importantes clientes e subestações, bem como nas demais distribuidoras
- ✓ O novo sistema está integrado à infraestrutura do sistema de monitoramento já existente na central de gerenciamento de dados.
- ✓ Isso fornece a capacidade de fornecer análise de todo o sistema das informações de QEE. O futuro desses sistemas envolve a integração com outros dispositivos de coleta de dados na subestação e na instalação.
- ✓ Interfaces padrão como o PQDIF e o COMTRADE são usadas para compartilhar as informações e protocolos padrão como UCA (*Utility Communications Architecture*) são usados para comunicações.
- ✓ As aplicações inteligentes descritas serão aplicadas tanto no nível da subestação quanto no nível corporativo, conforme apropriado.

# *Qualidade da Energia Elétrica*

## Normas/padrões para o monitoramento da QEE

- ✓ As normas são muito importantes na área de monitoramento da QEE.
- ✓ O IEEE 1159 é um Grupo de Trabalho do IEEE que coordena o desenvolvimento de normas para o monitoramento da QEE.
- ✓ Fornece diretrizes e definições gerais para monitorar a QEE, e há três forças-tarefas separadas que estão trabalhando em diretrizes e requisitos mais específicos. Grande parte desse trabalho está sendo coordenado com atividades do IEC para que os requisitos para o monitoramento possam ser mais consistentes internacionalmente.



# Qualidade da Energia Elétrica

## Normas/padrões para o monitoramento da QEE

- ✓ **IEEE 1159:** Guia para monitoramento da QEE. O padrão IEEE 1159 foi desenvolvido para fornecer diretrizes gerais para medições de QEE. Após a publicação das diretrizes básicas de monitoramento, foram estabelecidos grupos de trabalho para desenvolvimento de guias mais avançados para o monitoramento da QEE.
- ✓ Foram criados três grupos de trabalho. O progresso pode ser acompanhado no site IEEE 1159:  
  

*<http://grouper.ieee.org/groups/1159/>*
- ✓ O grupo de trabalho **IEEE 1159.1** desenvolveu diretrizes para os requisitos de instrumentação associados a diferentes tipos de fenômenos de QEE. Esses requisitos tratam de questões como taxa de amostragem, sincronização, precisão da amostragem A/D, e do número de ciclos para amostrar.

## Normas/padrões para o monitoramento da QEE

- ✓ O grupo de trabalho **IEEE 1159.2** desenvolveu diretrizes para caracterizar diferentes fenômenos de QEE. Inclui a definição de importantes características para relacionar os impactos das variações da QEE (como magnitude mínima, duração, deslocamento de fase e número de fases para afundamentos de tensão). Exemplos de formas de onda foram coletados ilustrando a importância de diferentes características das variações de QEE. Os grupos de trabalho **IEEE 1159.1** e **1159.2** foram combinados em uma única força-tarefa coordenado com o desenvolvimento de um padrão internacional para a caracterização de variações de QEE com equipamentos de monitoramento - IEC 61000-4-30.

# *Qualidade da Energia Elétrica*

## Normas/padrões para o monitoramento da QEE

- ✓ O grupo de trabalho **IEEE 1159.3** definiu um formato padrão para as informações de monitoramento de QEE entre aplicativos.
- ✓ O PQDIF (*Power Quality Data Interchange Format*) é o padrão definido para QEE.
- ✓ O formato comum de dados permite que os desenvolvedores de software desenvolvam aplicativos para analisar eventos e problemas de QEE independentemente dos fabricantes dos equipamentos empregados para o monitoramento da QEE.

# Qualidade da Energia Elétrica

## Normas/padrões para o monitoramento da QEE

- ✓ **IEC 61000-4-30:** Técnicas para teste e medição da QEE

As normas IEC para o monitoramento de fenômenos de QEE são fornecidas em uma série de documentos com o número 61000-4-xx.

Os padrões individuais desta série cobrem requisitos específicos para cada tipo de variação ou problema de QEE. Por exemplo, a IEC 61000-4-7 fornece as especificações para monitorar os níveis de distorção harmônica. A IEC 61000-4-15 fornece as especificações para monitoramento da flutuação de tensão.

Os requisitos gerais para caracterizar os fenômenos de QEE estão resumidos em um novo padrão que está sendo concluído dentro da IEC (61000-4-30). Este novo padrão refere-se aos padrões individuais (61000-4-7 e 61000-4-15) para especificações detalhadas.

Fonte: DUGAN, R. C.; McGRANAGHAN, M. F.; SANTOSO, S.; BEATY, H. W. *Electrical Power Quality Systems*, Third Edition, Mc Graw Hill, 2012.

# Qualidade da Energia Elétrica

## Normas/padrões para o monitoramento da QEE

- ✓ Este padrão fornece requisitos detalhados para os procedimentos de medição e os requisitos de precisão das medições.
- ✓ Foram definidas duas classes de equipamentos de medição que podem ser consideradas em conformidade com os procedimentos da IEC 61000-4-30.
- ✓ Os da **Classe A** são para medições onde é necessária uma ótima precisão. Dois instrumentos que atendam aos requisitos da **Classe A** devem fornecer os mesmos resultados (dentro dos níveis de precisão especificados) para qualquer um dos tipos de distúrbios de QEE considerados. Esses instrumentos podem ser apropriados para laboratórios ou para aplicações especiais onde são necessários resultados altamente precisos.
- ✓ Os da **Classe B**, para os quais os procedimentos recomendados para caracterizar os fenômenos de QEE também são usados, apresentam uma precisão inferior. Esses instrumentos são apropriados para a maioria dos sistemas de monitoramento de QEE (pesquisas, resolução de problemas, caracterização de desempenho, etc.).

## Normas/padrões para o monitoramento da QEE

- ✓ O conceito de **agregação** também é introduzido nesta norma.
- ✓ A agregação é usada para que várias medições associadas essencialmente ao mesmo evento não sejam contadas várias vezes.
- ✓ Por exemplo, vários afundamentos de tensão causados por operações de religamento devem ser contados apenas como um único evento para avaliar o impacto nos clientes e o número de eventos de problemas no sistema.
- ✓ Três diferentes intervalos de agregação são definidos na IEC 61000-4-30: 3 s, 10 min e 2 h. Conforme mencionado, o trabalho na IEC 61000-4-30 também é a base para atualizações e aprimoramentos dos padrões de monitoramento da QEE no IEEE (série IEEE 1159). Isso faz parte da tendência geral de internacionalização dos padrões de QEE.