



**XX SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0
GTM.YY
22 a 25 Novembro de 2009
Recife - PE

GRUPO –XIII

**GRUPO DE ESTUDO DE TRANSFORMADORES, REATORES,
MATERIAIS E TECNOLOGIAS EMERGENTES - GTM**

CONFIABILIDADE EM SISTEMAS DE MONITORAMENTO ON-LINE DE TRANSFORMADORES

**David William Scaquetti (*)
SIEMENS**

**Hugo Rafael Thomazelli Pelogia
SIEMENS**

RESUMO

As condições atuais do mercado brasileiro de energia, reguladas pela disponibilidade de equipamentos e penalizadas através de pesadas multas (Parcela Variável por Indisponibilidade), impõem mudanças nas filosofias de operação e manutenção de usinas e subestações. Especificamente para os transformadores, que são os bens de maior valor de uma subestação, é consenso que a aplicação de sistemas de monitoramento on-line torna-se importante para a estratégia de manutenção e operação dos equipamentos.

O objetivo deste trabalho é apresentar experiências e soluções encontradas para aumentar a confiabilidade nos dados adquiridos, processados e informados ao usuário pelos sistemas de monitoramento on-line.

PALAVRAS-CHAVE

Transformador, sistema de monitoramento, sensores, confiabilidade

1.0 - INTRODUÇÃO

Os dispositivos de medição das diversas grandezas do transformador têm evoluído consideravelmente ao longo dos anos. Com essa evolução, aumentou-se a quantidade de informações disponíveis e conseqüentemente a necessidade de concentração dessas informações. Entretanto, apenas concentrar dados não é suficiente para obter informações confiáveis sobre a atual situação equipamento monitorado.

Com isso, foram desenvolvidos sistemas de monitoramento capazes de, além de concentrar e armazenar tais informações, realizar cálculos simplificados para emissão de alertas aos usuários. Esses primeiros sistemas, porém, possuíam algumas limitações que possibilitavam a emissão de alarmes falso-positivos.

Com intuito de mitigar tais limitações, novos sistemas foram desenvolvidos a fim de aumentar a confiabilidade das informações disponibilizadas, além de fornecer maiores detalhes do desvio encontrado no equipamento monitorado. Para tal, softwares para análise dos dados necessitam de desenvolvimento baseado no conhecimento profundo de cada grandeza adquirida e de seu comportamento no equipamento monitorado. O objetivo deste trabalho é apresentar algumas técnicas para avaliar a consistência de dados, garantindo uma informação com elevado grau de confiabilidade, permitindo assim a emissão de diagnósticos e análises confiáveis.

2.0 - CONFIABILIDADE EM SISTEMAS DE MONITORAMENTO E DIAGNÓSTICOS DE TRANSFORMADORES

2.1 Histórico

Por volta de 1940, os componentes eletrônicos possuíam baixa confiabilidade, dando origem à necessidade de se desenvolver técnicas que melhorassem esse quesito. As primeiras técnicas para aumentar a confiabilidade foram os códigos de controle de erros e a redundância. A redundância pode estar presente em um sistema em diversas formas: redundância de informações, redundância de hardware, redundância de software e redundância de tempo. A redundância de informações utiliza mais dados do que são necessários para a operação do sistema, dados estes que agem como verificadores de erros. A redundância de hardware, utiliza dispositivos físicos extras a fim efetuar a contingência de falhas. Já a redundância de software faz o uso de rotinas com propósitos iguais, porém com códigos diferentes. Finalmente, a redundância de tempo faz a utilização de períodos adicionais de tempo para a detecção e isolamento de falhas.

Em sistemas de monitoramento, os códigos de controle de erros e redundância vêm sendo cada vez mais empregados. A redundância de hardware ocorre no nível dos dispositivos de processamento e armazenamento de dados, bem como na comunicação entre estes e os dispositivos de aquisição de dados. Um exemplo da aplicação desta técnica em sistemas de monitoramento de transformadores é a implementação de anel óptico entre os sensores instalados nos transformadores e os servidores situados, geralmente, na sala de controle da subestação ou usina. Além deste, pode-se citar a utilização de dois discos rígidos nos servidores de armazenamento e processamento dos dados. Já a aplicação de redundância de hardware nos dispositivos de aquisição de dados não é prática comum devidos aos custos elevados, sendo necessário o conhecimento amplo de seu funcionamento de forma a implementar códigos de controle de erro.

A redundância de software é outra técnica também bastante empregada nos sistemas de monitoramento, principalmente em sistemas onde parte do tratamento de dados é realizada em controladores lógicos programáveis (CLPs) e outra parte é realizada em servidores específicos. Nestes casos, é comum a utilização de rotinas que visam aferir a qualidade dos dados em duas etapas, cada uma implementada com um código diferente.

No caso de contenção de alarmes de sensores de bucha e de sensores de gases, é utilizada a redundância de tempo. Esta contenção será discutida em detalhe na seqüência.

2.2 Desenvolvimento

Para o desenvolvimento dos softwares de análise adequados faz-se necessário, primeiramente, conhecer as características e particularidades de funcionamento de cada sensor que fará parte do monitoramento.

É necessário que se desenvolvam drivers de comunicação com estes dispositivos que contemplem também a validação dos dados recebidos, não somente no que diz respeito à integridade do pacote de dados recebidos quanto também à qualidade dos dados. Há que se considerar que os valores lidos neste dispositivo muitas vezes tem restrições devido à certas condições de contorno. Para isso, é necessário um hardware dedicado, não sendo suficiente apenas concentrar sinais recebidos diretamente dos sensores e disponibilizá-los ao usuário através de anunciadores ou sistemas supervisórios adaptados à este fim.

Como primeiro exemplo, pode-se citar a rotina de consistência de dados para supressão da saturação nas saídas analógicas (fim de escala) de alguns analisadores de gases ocasionadas por subtensões na sua alimentação (condição de contorno). Esse comportamento foi detectado no dispositivo, entretanto, não se configura como um defeito, mas sim como uma característica operativa. Muitos equipamentos analógicos recorrem a indicação, em sua saída analógica, de valor de fundo de escala ou início de escala, ou ainda variações constantes entre limites para informar impossibilidade de leitura. Dessa forma, esses comportamentos devem ser tratados pelo driver de comunicação. Neste caso, tomando-se como premissa que o tempo de resposta do sensor é de aproximadamente 10 minutos, pode-se implementar uma lógica que considere variações bruscas ocorridas em intervalos de tempo pequenos (entre duas leituras consecutivas – inferior a 1 segundo) um alerta sobre o funcionamento inadequado do sensor e não representam o fenômeno físico real de crescimento de gases.

Outro exemplo é o caso de dispositivos com interface serial de protocolo proprietário que não implementam tratamento de erro, e, portanto devem-se desenvolver lógicas no driver de comunicação para contornar esta condição, implementando a verificação de consistência dos dados.

Assim, um fator a ser considerado como essencial para que os níveis de confiabilidade estejam adequados às necessidades e expectativas dos clientes é a qualidade dos dados utilizados pelo sistema durante o processamento e comparação com os limites de alarmes.

Entretanto, garantir a coerência dos valores recebidos dos sensores não é suficiente para embasar a emissão de um diagnóstico confiável. Faz-se necessário o emprego de modelos de engenharia específicos para o tratamento de cada grandeza monitorada, desenvolvidos a partir de sólido conhecimento do comportamento de cada variável e também da experiência no projeto e construção, operação e manutenção de transformadores e reatores.

Esses modelos devem ser capazes de estabelecer limites estatísticos para variáveis onde o conceito de limite fixo não se mostra totalmente adequado, o que é possível através do uso de técnicas como aprendizado estatístico.

No caso do monitoramento de desvio de capacitância das buchas, por exemplo, através de ferramentas estatísticas, o modelo define qual o desvio considerando normal entre as fases de um transformador com as buchas em condições normais num período definido pelo usuário. Após este período, o sistema passa a calcular médias estatísticas dos valores medidos e comparar com os desvios normais aprendidos. Desta forma, alarmes falsos devido às variações de carga, topologia do sistema, flutuações na tensão e outros problemas são evitados.

Os modelos devem também realizar a análise de tendência baseada em métodos matemáticos consolidados e considerar as características operativas de cada sensor (precisão, repetibilidade, tempo de resposta, etc).

Existem softwares desenvolvidos para inferir a tendência de geração de gases dissolvidos no óleo do transformador, entre outras grandezas. Neste caso, é determinada a reta da tendência de crescimento de gases e conseqüentemente o tempo para atingir o limite máximo definido pelo usuário, baseado em sua inclinação. Entretanto, basear-se apenas neste método para emissão do diagnóstico pode levar a falsos alarmes, dependendo principalmente do intervalo de tempo em que a tendência é calculada.

A figura abaixo mostra a taxa de crescimento calculada por um sensor de monitoramento de gases no óleo do transformador. Pode-se notar que as oscilações são bruscas e inconstantes, devido às condições de operação, precisão do sensor e intervalo para o cálculo da tendência. O comportamento dificulta a definição de um limite para alarme e facilita a emissão de alarmes falso-positivos.

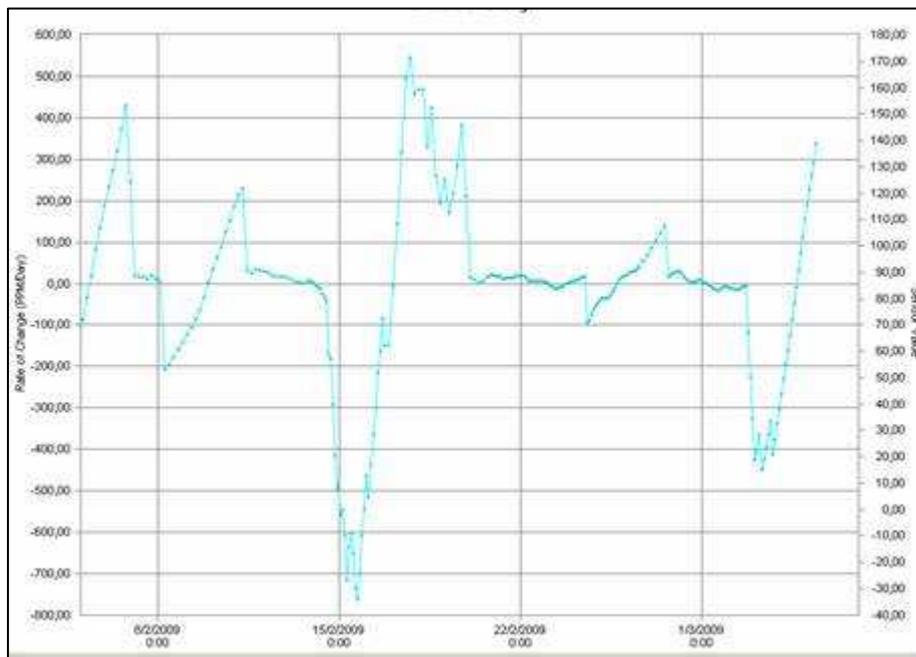


FIGURA 1

A solução é, novamente, a utilização de tratamentos estatísticos e também a redundância de tempo. Em alternativa às taxas diárias, pode-se utilizar o cálculo de taxas considerando dois ou três dias. Adicionalmente, realiza-se o tratamento estatístico da variável levando em conta seu comportamento dentro do sistema no qual

está inserida. Por isso, é de extrema importância a aplicação do conhecimento do comportamento do equipamento monitorado no desenvolvimento das ferramentas que realizarão este tratamento. Neste tratamento, o modelo compara a amostra estatística dos últimos dias com uma população móvel, evitando assim falsos alarmes devido à imprecisão dos sensores (ver Figura 2).

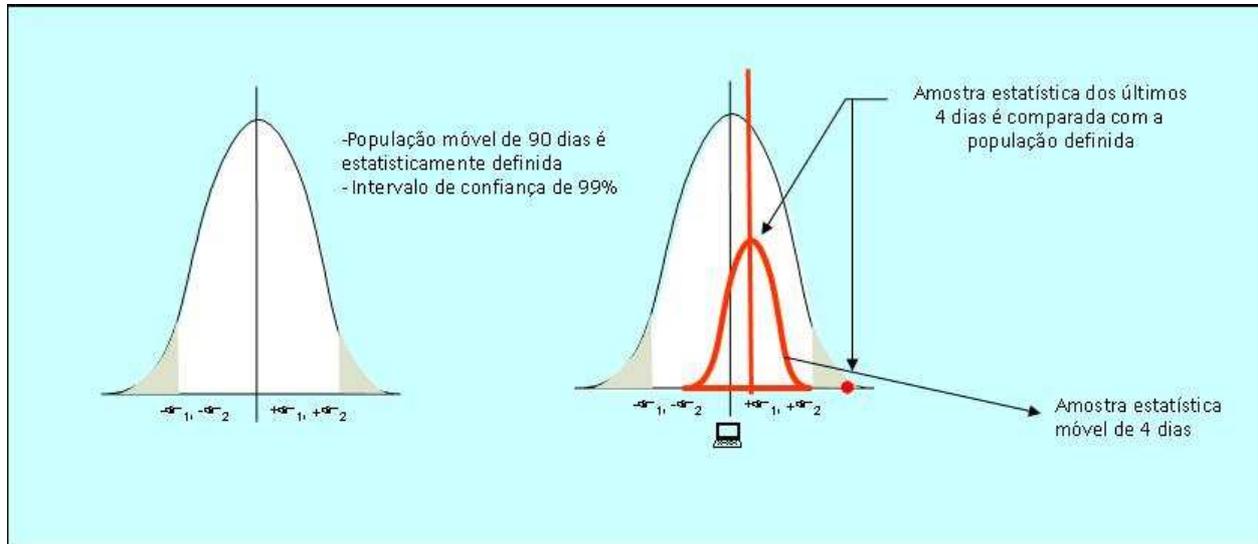


FIGURA 2

Num segundo estágio, de forma a aumentar a confiabilidade do diagnóstico inicial, o sistema de monitoramento deve ainda realizar correlações entre as diversas grandezas monitoradas de um transformador, pois é sabido que uma alteração em uma variável poderá ter efeito em outras, uma vez que o transformador é um sistema fechado (ver Figura 3). Além disso, é possível correlacionar a anormalidade encontrada em uma unidade com outras unidades de projeto elétrico e mecânico idênticos (ver Figura 4). Este conceito é definido como correlação entre unidades irmãs, e auxilia a análise da causa raiz do problema que será realizada pelo especialista.

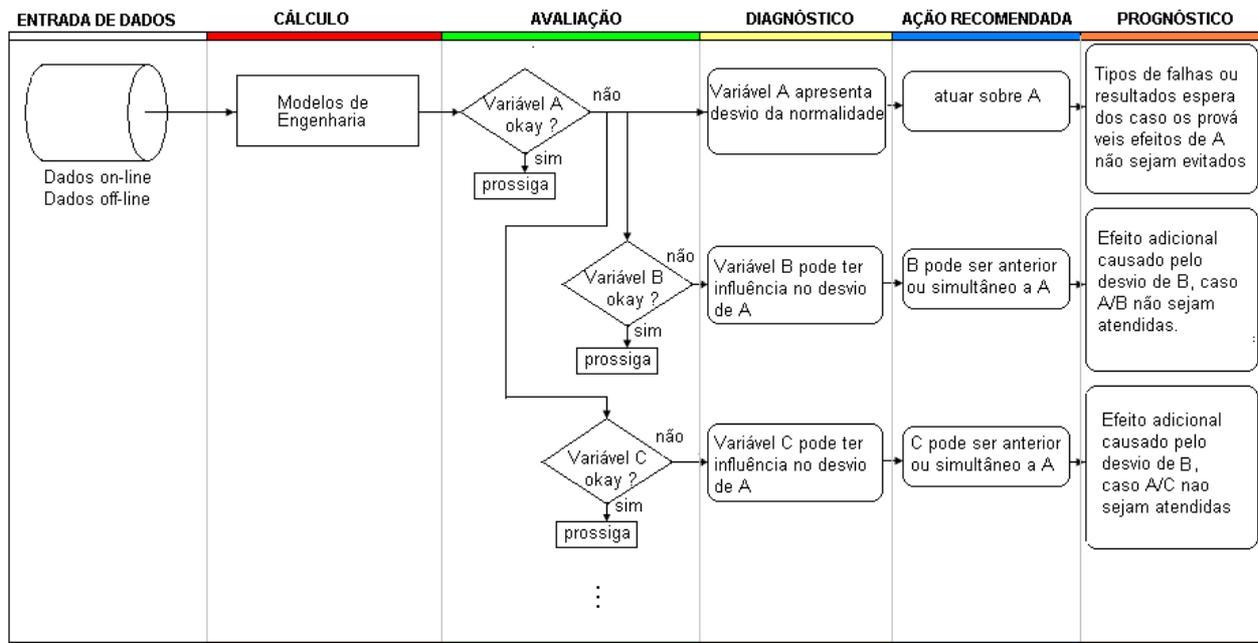


FIGURA 3 – Correlações entre variáveis do mesmo transformador

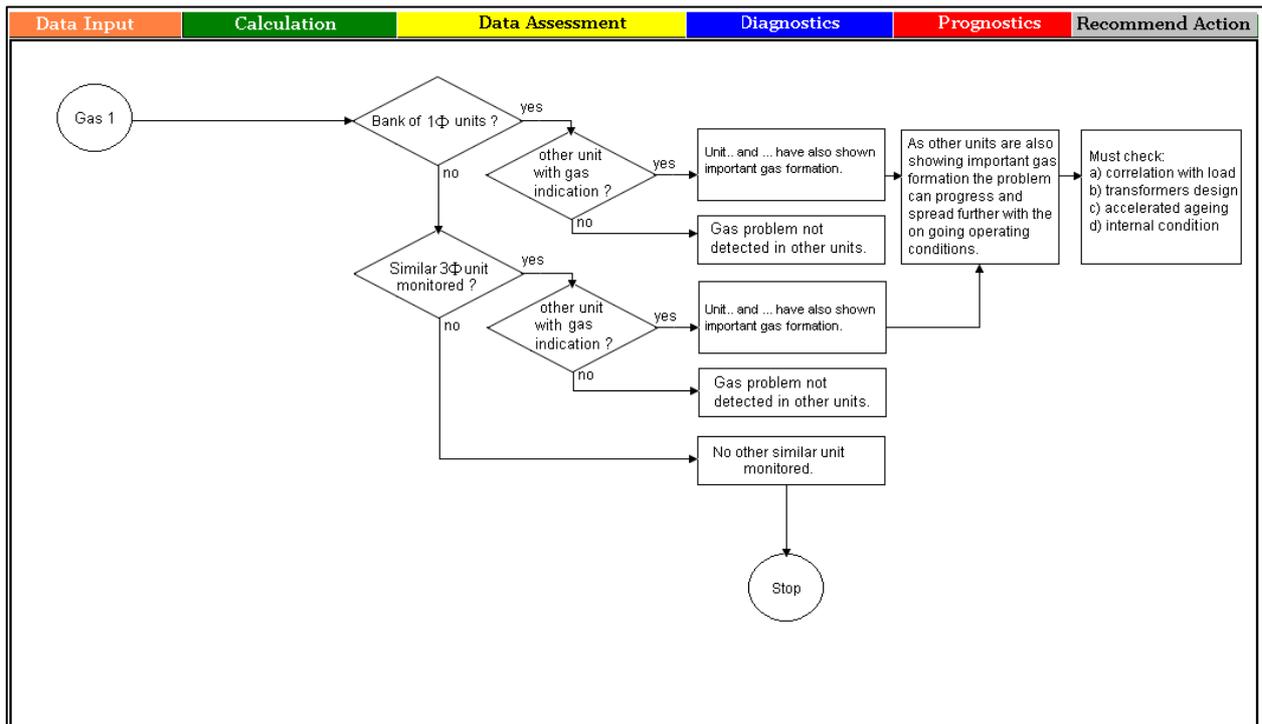


FIGURA 4 – Correlações unidades semelhantes na mesma instalação

Ainda, é necessário que o sistema emita relatórios abrangentes e não apenas informações do desvio encontrado, incluindo ações recomendadas para a mitigação da falha, bem como os efeitos que se pode ter no caso de nenhuma ação ser colocada em prática (prognóstico).

Finalmente, para garantir a confiabilidade do software desenvolvido, é importante a realização de testes dos controles de erros e redundâncias implementadas. Esses testes devem ser realizados através do uso de ferramentas especialmente desenvolvidas para este fim.

2.3 Confiabilidade e tempo de vida dos componentes do sistema

É freqüente o questionamento da confiabilidade dos sistemas de monitoramento baseado no tempo de vida útil de seus componentes, considerando também que a vida útil dos equipamentos monitorados tende a ser maior que dos equipamentos que realizam esta função.

Entretanto, a durabilidade destes equipamentos eletrônicos não pode ser confundida com sua confiabilidade, visto que sua operação é considerada adequada durante a vida útil prevista. Assim como em todo equipamento, após o fim da expectativa de vida útil, é esperado que se apresente defeito.

Assim, de forma a garantir a viabilidade técnica e econômica da aplicação destes sistemas, deve-se considerar o benefício financeiro contra a expectativa de vida útil dos equipamentos de monitoramento durante sua aquisição, evidenciando que o *pay-back time* do sistema de monitoramento on-line deve ser menor que do transformador.

3.0 - CONCLUSÕES

Os sistemas de monitoramento vêm se mostrando como uma importante ferramenta para auxílio nas tomadas de decisões, sejam elas operacionais ou de mitigação de riscos em transformadores. Logo, é fundamental que esses sistemas forneçam informações confiáveis aos seus usuários. Para isso, técnicas como correlação de variáveis, tratamentos estatísticos, controles de erros e redundâncias são aplicadas. A aplicação de conhecimento do equipamento monitorado no desenvolvimento do sistema de monitoramento é também identificado como fator essencial para o aumento da confiabilidade desses sistemas.

4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) JENS, R.D Modelo de Monitoramento e Avaliação da Confiabilidade e Disponibilidade de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica com Base nas Condições de Uso de Transformadores, Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

(2) AVIZIENIS, A.; LAPRIE, J.; RANDELL, B. Fundamental Concepts of Dependability, Information Survivability Workshop 2000, paper 56, 2000.

(3) JOHNSON B. W. Design and Analysis of Fault-Tolerant Digital Systems, Addison-Wesley, 1989.

5.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

David William Scaquetti é graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Paulista (UNIP), e MBA pela Fundação Getúlio Vargas. Desde 1997 atua na divisão de Transformadores da Siemens Ltda., trabalhando nas áreas de Vendas e Project Management. Entre 2004 e 2006, atuou na Siemens EUA em Jackson, MS na divisão de Transformadores. Atualmente é responsável pela área de Monitoramento e Diagnóstico de Transformadores da Siemens Ltda.

Hugo Rafael Thomazelli Pelogia é graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Iniciou suas atividades na Siemens em 2005 na área de Qualidade da divisão de Transformadores. Desde 2006, atua no desenvolvimento, projeto e instalação de sistemas de monitoramento em transformadores na área de Monitoramento e Diagnóstico de Transformadores.