



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

FI/GTM/19
18 a 21 de Outubro de 2015
Foz do Iguaçu - PR

GRUPO – XIII

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

METODOLOGIA PARA DETECÇÃO DE DESCARGAS PARCIAIS A PARTIR DE EMISSÕES ACÚSTICAS

**Tania P. L. Arango (*)
Alessandro J. S. Dutra
Alexandre P. A. da Silva
Bruno P. Leão**

GE Centro Brasileiro de Pesquisas

**Débora C. S. Reis
Luiz F. W. de Souza
Rodrigo H. Salim**

**Flávio L. A. de Souza
Auctoritas Consultoria
Augustinho Simões
Maria R. V. Pinto
Elecnor**

RESUMO

Neste artigo será apresentado o desenvolvimento e aplicação de uma metodologia que permite realizar o diagnóstico de descargas parciais (DP) a partir dos dados medidos utilizando um equipamento de detecção de emissões acústicas (EA). Será apresentado um estudo de caso de dois reatores similares de 500 kV, conectados em terminais de linhas de uma mesma subestação. Um dos reatores apresentou aumento considerável no nível total de gases combustíveis (TGC), indicando a possível ocorrência de descargas parciais ou outro fenômeno de origem elétrica no ativo.

PALAVRAS-CHAVE

Transformadores de potência, descargas parciais, emissão acústica, diagnóstico, análise de gases dissolvidos.

1.0 - INTRODUÇÃO

Os transformadores representam a maior parte do capital de investimento em subestações de transmissão e distribuição. A perda de uma única unidade pode ter um impacto enorme no dia a dia de uma concessionária, afetando a continuidade do suprimento de energia elétrica e a confiabilidade do sistema. Assim, a determinação da condição do transformador é importante para dar suporte a decisões de curto prazo, referentes à operação e manutenção do equipamento, e para a gestão de ativos em longo prazo.

As descargas parciais são um dos principais sintomas de envelhecimento e degradação do isolamento de transformadores e reatores. Monitorá-las possibilita a identificação de problemas incipientes no isolamento, dificilmente detectados por AGD, permitindo à concessionária o planejamento de paradas para manutenção ou substituição do ativo. Uma das técnicas utilizadas para detecção de descargas parciais nos transformadores é a monitoração de emissões acústicas (EA).

Diferentes metodologias para identificar e localizar eventuais defeitos elétricos, partindo das informações dos sinais de EA, já foram abordadas em alguns trabalhos. Em [1] foram apresentados os resultados de ensaios de EA realizados em transformadores de potência, tanto no campo, como no laboratório. Estes ensaios monitoram os sinais acústicos provenientes do interior dos transformadores. Neste trabalho são analisadas as principais características dos sinais obtidos de descargas parciais, em comparação com os de fontes mecânicas. Em [2] foi desenvolvida uma metodologia que usa ensaios de emissão acústica para a identificação e localização tridimensional de descargas parciais em transformadores de potência. Esta metodologia consegue separar os sinais acústicos emitidos pelas descargas parciais dos demais ruídos gerados por outras fontes dentro do transformador. Em [3] foram utilizadas as informações obtidas dos sinais de emissão acústica para fornecer resultados como a identificação e localização de eventuais defeitos dielétricos.

(*) Rua 36 (Praia dos Coqueiros), Ilha do Bom Jesus – Cidade Universitária – CEP 21.941-600 – Rio de Janeiro, RJ – Brasil – Tel: (+55 21) 35486370 – Email: tania.arango@ge.com

O objetivo deste artigo é apresentar a análise dos resultados da aplicação de uma proposta de metodologia de detecção de descargas parciais utilizando medições de EA. Esta metodologia permite realizar o diagnóstico a partir da análise de métricas como o cálculo da taxa de ocorrências e da localização de eventos utilizando dados do ensaio de emissões acústicas. A metodologia apresentada é usada em conjunto com a Análise de Gases Dissolvidos (AGD) para a obtenção de um diagnóstico mais robusto dos transformadores/reatores.

2.0 - METODOLOGIA PROPOSTA PARA DETECÇÃO DE DESCARGAS PARCIAIS USANDO EMISSÃO ACÚSTICA

Dentre as várias técnicas disponíveis para a detecção de falhas internas em transformadores, a medição de EA tem a vantagem de não demandar o desligamento do equipamento, permitindo que o equipamento de medição possa ser instalado com o transformador/reator em operação.

O princípio básico do ensaio de emissão acústica é a detecção de ondas elásticas. Estas ondas são captadas e convertidas em sinais elétricos por meio da utilização de sensores piezelétricos. Os sensores são instalados nas faces externas do tanque do transformador, de tal forma que cubram todo seu volume. Depois de obter os sinais elétricos, estes são amplificados e transmitidos a um sistema de análises de EA[1].

Com o ensaio de EA, é possível detectar e localizar o ponto de ocorrência de DPs dentro do transformador de potência. Outra vantagem deste método é sua imunidade à interferência eletromagnética. Dentre as principais desvantagens, estão a dificuldade em separar sinais significativos de EA dos ruídos de fundo e a interpretação das diferentes métricas e gráficos resultantes da análise.

Nas seções subsequentes, será apresentada a metodologia de localização de eventos a partir dos dados medidos, utilizando-se o sistema PASA Trafo, da Physical Acoustics South America. Ensaio com o equipamento de EA foram realizados na subestação de Corumbá, da Elecnor. Os resultados desses ensaios foram analisados de forma comparativa e utilizados para desenvolvimento das técnicas descritas a seguir.

2.1 Emissão Acústica – Algoritmos de Localização

Foram utilizados dois métodos de solução para encontrar a localização de eventos no interior do transformador a partir de sinais de emissão acústica, a função *fsolve()* do Matlab e o método iterativo de Newton-Raphson. O método Newton-Raphson foi definido como método preferencial de solução do sistema de equações de localização gerado, porque pode ser desenvolvido em qualquer tipo de linguagem computacional e independe de software proprietário.

2.1.1 Leitura dos Arquivos

Para cada ensaio realizado utilizando o equipamento da PASA, pode-se exportar um arquivo .txt contendo todos os hits detectados pelos diferentes sensores, informando qual sensor efetuou a aquisição e o instante da ocorrência (tendo como referência o tempo inicial da medição). Além dessas duas informações - indispensáveis para a filtragem dos dados – informações adicionais, como energia e frequência, podem ser obtidas para cada hit.

Os dados (tempo(hit) e sensor(hit)) são importados para o Matlab em forma matricial, e as diferenças de tempo entre hits consecutivos são calculadas. Conhecer o tempo relativo entre 2 hits é importante para a formação dos eventos, que será descrita posteriormente.

2.1.2 Processamento dos dados: Formação de Eventos

Um evento é considerado uma mudança de material no transformador dando origem à emissão acústica. Cada evento é composto por um número de hits, detectados pelos sensores localizados nas paredes do transformador. Através da análise numérica, o agrupamento de hits em eventos é feito basicamente através de uma aproximação temporal. Foram desenvolvidas funções de análise para permitir comparação dos resultados usando diferentes critérios de formação de eventos. Além disso, foram desenvolvidas outras funcionalidades para permitir diferentes tipos de análises.

O algoritmo de localização desenvolvido utilizou o equacionamento apresentado por Markalous et al. [4], [5]. São necessários ao menos 4 sensores adquirindo o mesmo sinal para garantir que seja possível caracterizar um evento. Retiram-se da análise valores adquiridos sob condições meteorológicas adversas, como vento e chuva, que são detectadas pelo sensor de controle. Nestas situações, são detectados ruídos aleatórios nos demais sensores. Em seguida, são descartados também os sensores que possuem um número muito elevado de hits, que podem ser consequência de mau acoplamento ou sensor defeituoso.

2.2 Diagnóstico de Descargas Parciais

Para o diagnóstico de descargas parciais são utilizadas as informações de identificação de eventos recorrentes, de sua localização e da análise de algumas métricas do ensaio de EA: taxa de ocorrência, amplitude, energia e frequência média do sinal.

2.2.1 Processamento dos Ensaio de Emissão Acústica

São três as principais análises elaboradas durante o processamento dos dados de EA:

- Cálculo e análise da taxa de ocorrências;
- Identificação de eventos recorrentes;
- Análise da localização.

Aqui são definidos os parâmetros de saída do software e o que será analisado em cada etapa. Além disso, cada ensaio possui características únicas definidas pelo equipamento. As duas principais delas são as dimensões do equipamento e o posicionamento dos sensores durante o ensaio. É necessário padronizar a entrada desses dados no software de diagnóstico. Optou-se por criar dois arquivos de texto com os dados de configuração do ensaio, um com a definição da dimensão do equipamento e posicionamento dos sensores, denominado "sensors.dat", e outro com a configuração desejada para a análise dos dados, denominado "config.dat".

2.2.2 Processo de Diagnóstico de DP

A Figura 1 apresenta o fluxograma das etapas necessárias para análise dos resultados e realização de diagnóstico a partir do ensaio de EA. Aqui são expostos cada um dos passos necessários para a análise de resultados do ensaio de EA e o diagnóstico preliminar de operação do equipamento.

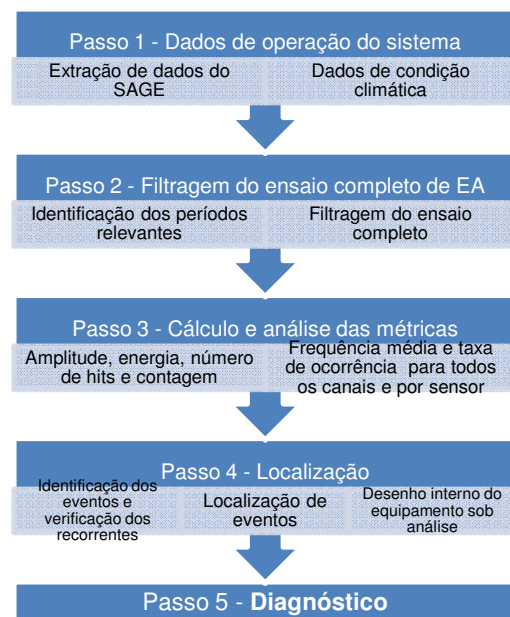


FIGURA 1 – Fluxograma de análise e diagnóstico de EA.

2.3. Regras de Inferência e Diagnóstico

Existem comportamentos característicos das métricas utilizadas que indicam com maior ou menor certeza a presença de descargas parciais. Isto significa que os eventos e sua localização precisam ter certos padrões para se chegar ao diagnóstico da presença de descargas parciais. A partir desses padrões, foram criadas regras de inferência. Para facilitar o processamento destas regras no software desenvolvido, foram associados rótulos numéricos a cada uma delas.

2.3.1 Comportamento das Métricas

Taxa de ocorrência: Para o desenvolvimento das regras de inferência, será considerado que a taxa de ocorrência tem o valor “1” quando os eventos ocorrem em 60 s^{-1} e em seus múltiplos e submúltiplos. Caso contrário, será atribuído o valor “0”.

a) No caso da frequência média, foram identificados três possíveis comportamentos:

- Valores concentrados em altas frequências (entre 30 e 150 kHz). É um padrão de comportamento que indica a possível presença de descargas parciais.
- Valores concentrados em baixas frequências: Este comportamento está relacionado às vibrações de origem mecânica, dissociada do funcionamento da parte ativa do transformador (atuação dos motoventiladores, por exemplo).

- Valores dispersos em várias faixas de frequências: também relacionado às vibrações de origem mecânica, dissociada do funcionamento da parte ativa do transformador.

b) **Localização:** Ao longo das análises realizadas durante todo o projeto, chegou-se à conclusão de que existem quatro comportamentos que devem ser considerados:

- **Localização não definida** - Quando os eventos se encontram distribuídos dentro do transformador ou reator de forma irregular.
- **Localização definida** – Neste caso os eventos se encontram localizados em uma ou várias regiões específicas (clusters) dentro do transformador ou reator.
- **Localização definida em intervalos pequenos de tempo** – Neste caso, além dos eventos estarem localizados em uma região específica, eles também se encontram distribuídos uniformemente ao longo do tempo.
- **Localização definida pós-filtro** – Os eventos ainda apresentam uma localização definida, mesmo após ter sido aplicado o filtro para eliminar eventos não característicos (i.e., formados por grupos de sensores não vizinhos).

c) **Amplitude e Energia:** As métricas amplitude e energia têm uma influência menor no diagnóstico, ajudando na identificação da presença de atividade acústica anormal [1].

Após a análise de diversos dados obtidos do campo, concluiu-se que a faixa de variação da energia é muito ampla, tanto na presença de DP como nos casos nos quais não existem DPs no ativo analisado. Decidiu-se, nesta versão do software, desconsiderar esta métrica. A amplitude será usada apenas para descartar eventuais outliers associados a trepidações ou abalos. O valor de referência para descarte de outliers é 90 dB.

O resumo do comportamento das métricas é apresentado a seguir, na Tabela I. A cada comportamento foi atribuído um valor. Quanto maior o valor atribuído ao rótulo, mais o comportamento contribuirá para um diagnóstico positivo da presença de descargas parciais no ativo.

Tabela 1 – Resumo das Métricas

Métrica	Comportamento	Rótulo
Taxa de ocorrência	$\neq 60 \text{ s}^{-1}$, múltiplos e submúltiplos	0
	$= 60 \text{ s}^{-1}$, múltiplos e submúltiplos	1
Localização	Não definida	0
	Definida	1
	Definida - Intervalos pequenos de tempo	2
	Definida pós-filtro	3
Frequência	Concentradas em baixas frequências	1
	Dispersas em várias faixas	2
	Concentradas em altas frequências	3

2.3.2 Regras de Inferência

Cada combinação de métricas poderá ter como saída um dos quatro diagnósticos listados a seguir:

- **Diagnóstico 1: Ruído Mecânico Genérico** – Vibração de origem mecânica, dissociada do funcionamento da parte ativa do transformador (atuação dos motoventiladores, por exemplo).
- **Diagnóstico 2: Ruído Parte Ativa** – Vibração de origem mecânica, associada ao funcionamento da parte ativa do transformador (magnetostricção do núcleo, por exemplo).
- **Diagnóstico 3: Possível DP** – Possibilidade de presença de descarga parcial, a ser confirmada por outros indícios como a análise dos gases dissolvidos.
- **Diagnóstico 4: Presença de DP** – Presença de descargas parciais dentro do ativo analisado.

Os diagnósticos foram obtidos analisando o comportamento dos ensaios realizados, utilizando a experiência prática, particularmente a adquirida ao longo de todo o projeto e os resultados apresentados em bibliografia específica. Se a taxa de ocorrência dos eventos for diferente de 60 s^{-1} e seus múltiplos e submúltiplos, o evento não será considerado uma DP. Neste caso, não é necessária a análise das outras métricas e considera-se que o evento detectado é uma vibração de origem mecânica, dissociada do funcionamento da parte ativa do transformador (atuação dos motoventiladores, por exemplo).

Na Tabela I o conhecimento heurístico é apresentado sob a forma de métricas que resultam da intuição, do bom senso e do conhecimento do especialista. A partir destas métricas, um sistema especialista contendo regras para diagnóstico de presença de DPs foi desenvolvido. A cada combinação das três métricas, cujos comportamentos estão definidos na Tabela I, atribui-se um diagnóstico por meio de variáveis linguísticas [6], que podem, inclusive, apresentar recomendações ao usuário para complementar o diagnóstico utilizando outras técnicas de detecção de descargas parciais.

3.0 - CASO DE APLICAÇÃO

Nesta seção, será apresentado o caso do ensaio realizado em um reator de 230 kV, 20 Mvar, da LT Corumbá-Anastácio, na SE Corumbá, em março de 2014, para ilustrar o processo de diagnóstico de DPs desenvolvido até o momento.

O ensaio realizado na subestação Corumbá teve por finalidade avaliar as condições de operação do reator (RTANCO1), cujos resultados recentes da análise de gases dissolvidos têm indicado concentrações acima do normal, como pode ser visto nas Figuras 2 e 3. O Método TGC (Total de Gases Combustíveis) indica que o ativo se encontra na *Condição 2* de operação [7]. Esta condição aponta para a possível existência de uma falta dentro do reator. A análise por gases chaves indicou a presença de altas concentrações de monóxido de carbono, indicando a presença de defeito térmico.

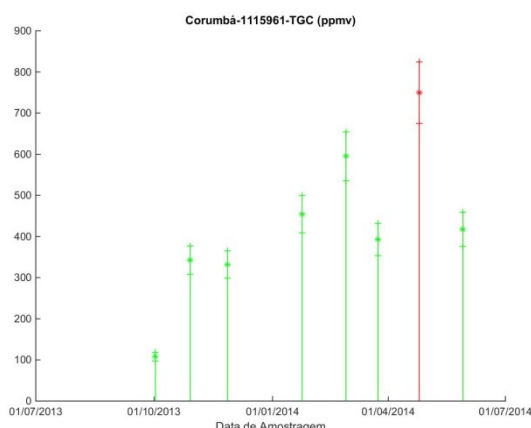


FIGURA 2 – Concentração do Total de Gases Combustíveis

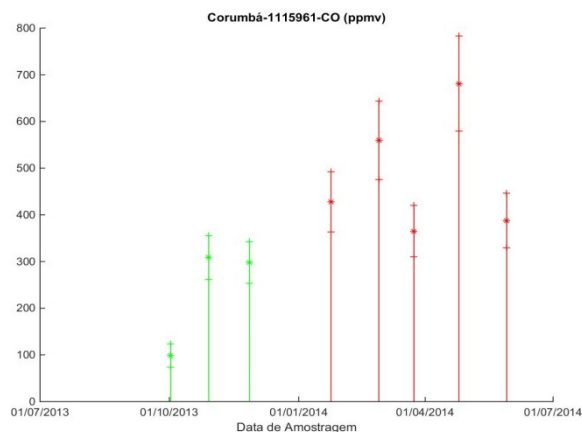


FIGURA 3 – Concentração de monóxido de carbono - CO

Durante o ensaio foram realizados três testes distintos – uma nova coleta de óleo para análise da concentração de gases (AGD), o teste para monitoramento de emissões acústicas (EA) utilizando o equipamento PASA e, por fim, um teste para detecção de descargas parciais (PD) no interior do equipamento pelo monitoramento de pulsos eletromagnéticos através das buchas de conexão do reator com a linha.

3.1 Dados de Operação do Reator

A fim de possibilitar um melhor entendimento das condições de operação dos equipamentos da subestação, foram também analisadas as informações provenientes do SAGE (sistema de gerenciamento de energia usado pela Elecnor), para os períodos de tempo durante os quais foram realizados os testes de emissão acústica no reator ver Tabela 2. Cabe ressaltar que o reator em questão tem um irmão “gêmeo” (RTANCO2), localizado na mesma subestação, que não apresentou alterações nos resultados de AGD realizadas até o momento.

Tabela 2 – Horários de início e fim dos ensaios realizados na SE Corumbá

Nome	Data	Início	Fim
P1	11-Mar e 12-Mar	13:22	2:36
P2	12-Mar	3:13	4:36
P3	12-Mar	5:07	17:46
P4	12-Mar e 13-Mar	19:49	9:14

A Tabela 3 apresenta os valores médios da potência reativa, temperatura no enrolamento e temperatura no óleo dos dois reatores.

Tabela 3 – Condições de operação dos reatores RTANCO1 e RTANCO2

Período	RTANCO1			RTANCO2		
	Preativa (Mvar)	T°Enrol (°C)	T°Óleo (°C)	Preativa (Mvar)	T°Enrol (°C)	T°Óleo (°C)
P1	22,14	95,00	76,36	22,11	97,91	79,37
P2	21,56	74,20	65,50	21,64	96,50	77,50
P3	22,17	93,52	76,57	22,14	101,16	83,93
P4	22,06	102,13	83,03	22,11	104,92	86,12

Dos dados apresentados destaca-se que as temperaturas no enrolamento e no óleo do reator RTANCO2 são parecidas, sendo as do segundo equipamento até mais altas que as do RTANCO1. No período P2 as temperaturas do reator RTANCO1 são consideravelmente mais baixas que as do RTANCO2 devido ao desligamento do primeiro reator entre os períodos P1 e P2 para a instalação de sensores para realização da medição via tap capacitivo da bucha.

Dos dados de operação avaliados, pode-se dizer que os dois reatores apresentam praticamente a mesma condição de operação. Portanto, não se pode concluir que os problemas apresentados pelo RTANCO1 sejam devidos exclusivamente a seu regime de trabalho, já que o RTANCO2 apresenta temperaturas parecidas no enrolamento e no óleo, mas não apresenta problemas de funcionamento. Utilizando-se a metodologia de identificação e diagnóstico da presença de descargas parciais apresentada neste artigo, serão analisados os resultados do ensaio de EA no reator RTANCO1.

3.2 Ensaio de Emissões Acústicas

O primeiro passo do ensaio foi definir quantos sensores seriam necessários para fazer a aquisição de dados com as condições mínimas para encontrar a localização das descargas parciais presentes. Os sensores devem ser posicionados na parede externa do transformador, na região onde haja óleo isolante presente no interior do mesmo. Não existe um número pré-estabelecido de sensores na literatura, dependendo especialmente do tamanho do transformador. Essa definição é empírica e com base na experiência da equipe. Inicialmente utiliza-se um número grande de sensores, que pode ser modificado durante o ensaio conforme a necessidade.

Como regra geral, define-se um vértice do transformador para ser o ponto de origem e, em seguida, inicia-se o posicionamento do primeiro sensor bem próximo à origem em uma das faces. A partir desse, alternam-se os pontos entre inferiores e superiores. O esquema de posicionamento proposto é apresentado na Figura 4.

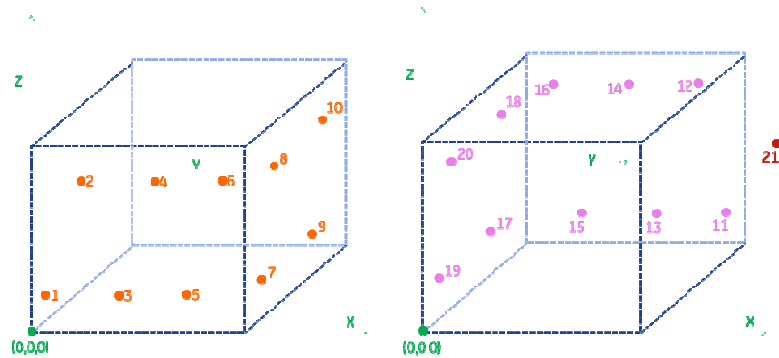


FIGURA 4 – Posicionamento esquemático dos sensores.

No ensaio aqui descrito foram utilizados 20 sensores de dados e 1 sensor de controle. A utilização de um sensor de controle em todos os ensaios é crucial para a análise, e filtragem, dos dados. Ele deve ser posicionado preferencialmente em alguma superfície metálica próxima ao transformador, como postes ou outras hastes de apoio. A função desse sensor é captar sinais de ruídos externos como intempéries (chuva e vento) e outras interferências gerais do ambiente. Com base na informação desse sensor, observam-se os períodos de tempo onde há a presença de fontes de sinais externos e filtram-se os sinais dos demais sensores. Assim, evita-se a análise desnecessária de eventos que não representam sinais provenientes de fenômenos elétricos de interesse. Uma vez instalados todos os sensores, é necessário realizar o teste da aquisição de sinais, assegurando assim uma efetiva acuracidade dos sensores, inclusive no que diz respeito às suas condições de instalação.

3.2.1 Ensaio período P2

Nesta seção, apresentam-se os resultados obtidos para o ensaio de emissão acústica realizado durante o período P2 na SE Corumbá. A Figura 5 apresenta a localização dos eventos que são gerados caso pelo menos 4 sensores registrem hits em um intervalo estabelecido de tempo. Como pode ser facilmente visto na Figura 5, o número de eventos é considerável para este ensaio.

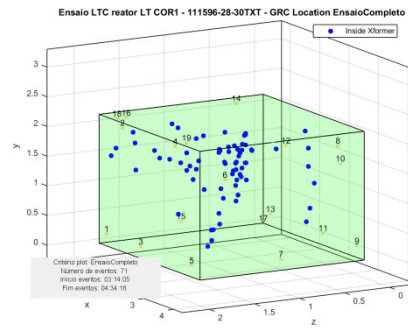


FIGURA 5 – Localização dos eventos durante o ensaio P2 Corumbá

Nas Figuras 6 e 7 podem ser observadas as métricas do ensaio: frequência média do sinal e taxa de ocorrência. É a partir delas, e da localização, que a análise e o diagnóstico do ensaio serão realizados.

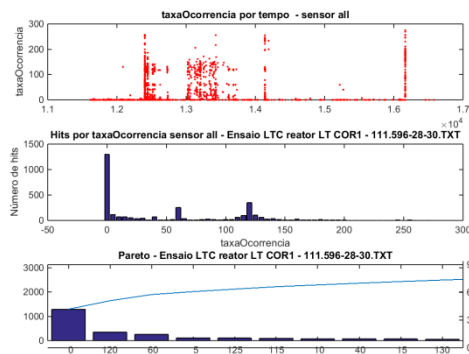


FIGURA 6 – Hits Vs. Frequência Média do ensaio P2 Corumbá

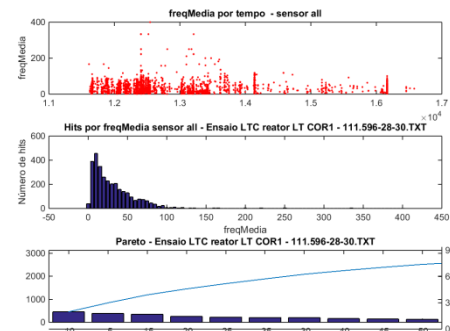


FIGURA 7 – Taxa de ocorrência do ensaio P2 Corumbá

Das Figuras 6 e 7, tem-se que:

- As taxas de ocorrência de hits são sincronizadas com a rede (há uma grande concentração de eventos em 60 s^{-1} e em seus múltiplos e submúltiplos) - comportamento correspondente ao Rótulo 1 (Tabela I).
- Além dos eventos estarem localizados numa região específica, eles também se encontram distribuídos uniformemente ao longo do tempo, enquadrando-se no Rótulo 2 (Tabela I).
- A frequência média possui valores variando entre 5 e 50 kHz - correspondente ao Rótulo 2 (Tabela I).

Conclui-se que no período P2 os eventos detectados estão possivelmente relacionados a fenômenos elétricos, com possível presença de DP e localização estimada na Fase B, parte superior do equipamento, indicando enquadramento em Diagnóstico 3 (cfe. Item 2.3.2 acima). A recomendação é de acompanhamento mais frequente do ativo com a realização de medições periódicas de descargas parciais e observação da evolução dos gases por meio da análise cromatográfica.

Para comparação de resultados e confirmação do diagnóstico, neste mesmo período foram realizadas medições de descargas parciais pelo método elétrico. Para isso, o reator foi desligado para conexão do adaptador do sensor no tap capacitivo da bucha. O diagnóstico obtido pelo método elétrico confirmou a presença de descargas parciais de baixa intensidade por bolha ou cavidade. A Tabela 4 resume os diagnósticos obtidos.

Tabela 4 – Diagnóstico de DP no Reator 1 usando métodos distintos

Método	Localização	Diagnóstico
EA com regras de inferência	Fase B	Possível presença de DP
Método eletromagnético	Fase B	DP de baixa intensidade – bolha ou cavidade

CONCLUSÃO

A metodologia apresentada neste trabalho permite diagnosticar a presença de eventos relacionados a falhas elétricas, como as descargas parciais, assim como sua localização dentro do equipamento monitorado, a partir do ensaio de emissões acústicas (EA).

Na técnica de ensaio de EA, sensores acústicos são instalados nas paredes externas dos transformadores - número e localização são definidos em função da geometria do equipamento monitorado. Os dados registrados no ensaio são processados automaticamente, resultando em uma série de métricas de EA.

Foi criado um sistema especialista com regras de inferência, a partir das métricas de EA, que servirá de suporte ao usuário final no diagnóstico da presença de descargas parciais no equipamento.

A metodologia apresentada foi validada por meio da comparação dos diagnósticos realizados com o método de emissões acústicas e o método elétrico (detecção através do tap capacitivo). Ambos os diagnósticos coincidem ao afirmar a presença de DP. Embora o método elétrico seja bastante preciso na identificação da falha, ele necessita do desligamento do transformador para instalação dos sensores. Já o método de EA permite instalação dos sensores acústicos com o transformador em operação. Além disso, é capaz de fornecer informações mais precisas sobre a localização das falhas.

Como trabalhos futuros, o algoritmo de diagnóstico proposto será testado em um número maior de equipamentos, permitindo sua mais criteriosa validação e eventual ajuste de parâmetros e limites criados, aprimorando a ferramenta de diagnóstico de transformadores/reatores de potência.

Ao longo da realização do trabalho ora apresentado, foi constatado que técnicas de AGD são melhor vocacionadas a diagnósticos incipientes de falhas; já técnicas de EA, à localização de pontos de falhas. A integração das duas técnicas pode conduzir tanto a uma maior taxa de acerto quanto à antecipação de diagnósticos. Assim, também está sendo desenvolvido um algoritmo de diagnóstico híbrido, que realiza a fusão das medidas de AGD com emissão acústica, produzindo diagnósticos unificados do estado dos transformadores com maior taxa de sucesso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) M. B. Trindade, H. S. A. Martins, R. C. Menezes, "Descargas parciais em transformadores de potência – Detecção e análise por meio da técnica de medição acústica," no XXII SNPTEE, 8pp, 2013.
- (2) P. G. Da Silva, C. G. Gonzales, E. S. Neto, "Sistema Especialista Inteligente para Diagnóstico de Defeitos Elétricos Internos em Transformadores de Transmissão Utilizando Sinais de Emissão Acústica e Análise de Gases." Jornadas Técnicas ISA 2012.
- (3) C. H. B Azevdo, A. P Marques, C. J. Ribeiro, "Estudo sobre Transformadores de Potência: Sistema Elétrico Celg." no Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos - SBSE, 2012.
- (4) M. S. Markalous, K. Feser, "All-Acoustic PD Measurements of Oil/ Paper-insulated Transformers for PD-Localization," APT ADM, 2004.
- (5) M. S. Markalous, S. Tenbohlen, K. Feser, "Detection and Location of Partial Discharges in Power Transformers using Acoustic and Electromagnetic Signals," IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 15 pp, 2008.
- (6) L. N. Biondi, P. H. Gouveia, J. L. Machado, "Minicurso de Sistema Especialista Nebuloso" apresentado no XXXVIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2006.
- (7) IEEE Guide for the Interpretation of Gases in Oil-immersed Transformers, IEEE Standard C57.104.-2008.

DADOS BIOGRÁFICOS



Tania Paola Ledesma Arango é engenheira eletricista pela Universidad del Valle - Colômbia (2000), mestrado e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo, USP (2003 e 2009). Foi pesquisadora no Enerq USP de 2001 a 2005, na Daimon Engenharia de 2005 a 2010 e Consultora na área de sistemas de potência de 2010 a 2014. Desde 2014, é pesquisadora na área de Sistemas Inteligentes no Centro de Pesquisas Global da GE no Brasil.

Alessandro J. S. Dutra é Engenheiro Eletrônico formado pelo IME (1993) e possui mestrado pela COPPE/UFRJ (1999) e doutorado pelo Rensselaer Polytechnic Institute (2010), ambos em Engenharia Elétrica. Foi Oficial do Quadro de Engenheiros Militares do Exército Brasileiro. Foi pesquisador de Pós-doutorado no Programa de Engenharia Elétrica da COPPE/UFRJ. Desde 2012, é pesquisador na área de Sistemas Inteligentes, no Centro de Pesquisas Global da GE no Brasil.

Alexandre P. A. da Silva possui graduação em Engenharia Elétrica pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, PUC-Rio (1984), mestrado em Engenharia Elétrica pela PUC-Rio (1987) e doutorado em Engenharia Elétrica pela University of Waterloo (1992). Realizou estágio de pós-doutorado na University of Washington (1999). Trabalhou na Universidade Federal de Itajubá de 1993 a 2002. Foi professor titular da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE) de 2002 a 2011. Atualmente é Diretor de Pesquisa e Tecnologia da área de Sistemas Inteligentes no Centro de Pesquisas Global da GE no Brasil.

Bruno Paes Leão é engenheiro de controle e automação (UFMG, 2003), mestre em engenharia aeronáutica e mecânica (ITA, 2006) e doutor em engenharia eletrônica e computação (ITA, 2011). Sua área de interesse é a aplicação e desenvolvimento de métodos estatísticos e de inteligência computacional para análise de dados, com foco principalmente no diagnóstico e prognóstico de falhas de equipamentos. Trabalhou de 2004 a 2012 na Embraer. Desde 2012, é pesquisador no Centro de Pesquisas Global da GE no Brasil.

Débora C. S. Reis graduou-se e fez o Mestrado em Engenharia Elétrica na UFJF (2005 e 2007) e fez o doutorado em Sistemas de Energia na Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ, 2012). Tem experiência em otimização, monitoramento e qualidade de energia e desenvolvimento de sistemas de apoio à decisão. Foi professora assistente na Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Desde 2012, é pesquisadora na área de Sistemas Inteligentes, no Centro de Pesquisas Global da GE no Brasil.

Flávio Luciano Alves de Souza é engenheiro eletricista formado pela Universidade Federal Fluminense (1972) e possui pós-graduação pela COPPE/UFRJ (1977). Também possui graduação em Direito e Filosofia pela UFRJ (2005 e 2007). Atuante na área de sistemas de potência, com os últimos 15 anos dedicados à área de P&D setorial.

Luiz Felipe Willcox de Souza é engenheiro eletricista (UFF, 1994), mestre (COPPE, 1998) e doutor em engenharia elétrica (COPPE, 2007). Suas principais áreas de interesse são eletrônica de potência, qualidade de energia e análise de sistemas elétricos. Trabalhou de 1994 a 1996 em Furnas. Foi pesquisador do Cepel de 1996 a 2012. Desde 2012, é líder de pesquisa no Centro de Pesquisas Global da GE no Brasil.

Maria Rita Valério Caetano Alves é engenheira eletricista formada pela Universidade Veiga de Almeida em 2007. Trabalha na Celeo Redes desde 2011 na área de Manutenção de Equipamentos de Subestação.

Rodrigo H. Salim possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS (2006), mestrado em Engenharia Elétrica pela UFRGS (2008) e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo, USP/SC (2011). Trabalhou como pesquisador no Centro de Pesquisas Global da GE de 2012 a 2013. Atualmente é Gerente de Desenvolvimento de Negócios nas áreas de Geração, Transmissão, e Distribuição de Energia Elétrica no Centro de Pesquisas Global da GE no Brasil.

Augustinho José Menin Simões é engenheiro eletricista formado pela Escola Federal de Engenharia de Itajubá em 2001. De 2003 a 2010 trabalhou em manutenção de subestações nas empresas Transener e Terna. Trabalha na Celeo Redes desde 2010 coordenando as áreas de Engenharia e Manutenção, incluindo a Gestão de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento.