

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

### SOBRE O APOIO A TOMADA DE DECISÃO EM TEMPO REAL ADVINDA DO MONITORAMENTO ONLINE DA CORRENTE DE FUGA DAS BUCHAS DE TRANSFORMADORES – A COLABORAÇÃO DA ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO A OPERAÇÃO SEGURA DOS ATIVOS DA TRANSMISSÃO

**DANIEL CARRIJO POLONIO ARAUJO(1); LÍLIAN FERREIRA QUEIROZ(2); DENIS DE OLIVEIRA  
NETO(2); WANDRÉ MATOS DE MEDEIROS(2); RAFAEL PRUX FEHLBERG(1); GABRIEL DE  
SOUZA(3); MURILO MARQUES PINTO(3); MARCIO DA COSTA(1)  
TREETECH TECNOLOGIA LTDA(1); ELETROBRAS ELETRONORTE(2); RADICE ENGENHARIA(3)**

#### RESUMO

Este trabalho apresentará a corrente de fuga como uma nova e importante variável para fins operacionais, além da já tradicional abordagem para fins de diagnóstico preditivo e preventivo.

Serão apresentados dois casos conclusivos onde a corrente de fuga foi o principal parâmetro indicativo da evolução de um defeito para falha. O uso da corrente de fuga advinda da monitoração on-line de buchas para gerar alarmes com ação operativa é um desafio, já que faltam dados consolidados que orientem a sua utilização de maneira padronizada.

Serão apresentadas algumas das principais lacunas de conhecimento na área e listados alguns tópicos para discussões iniciais sobre o tema.

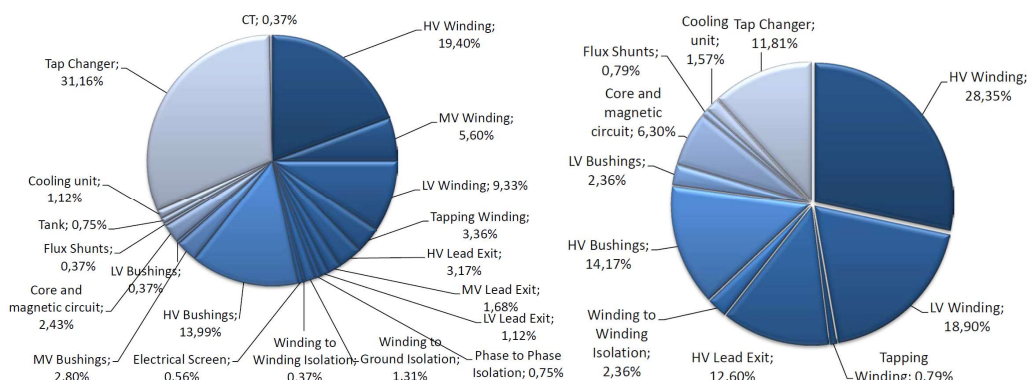
#### PALAVRAS-CHAVE

Buchas capacitivas, Capacitância, Tangente delta, Corrente de fuga, Monitoramento on-line

#### 1.0 INTRODUÇÃO

Os transformadores e reatores de potência são os equipamentos mais críticos de uma subestação por conta tanto da função que desempenham no sistema como pelo seu elevado valor monetário e morosidade de reposição. Neste contexto, as buchas capacitivas de alta tensão são, individualmente, um dos acessórios mais críticos para a confiabilidade dos transformadores de potência.

Uma pesquisa do Cigré [1] publicada em 2016 traz dados atualizados das estatísticas de falhas, como mostrado na Figura 01. Para transformadores de subestações, temos que buchas de alta tensão correspondem isoladamente a 14% das falhas e para transformadores elevadores de usinas, 14,2%.



Obviamente, os primeiros IEDs focavam prioritariamente no já consagrado acompanhamento dos valores de tangente delta e capacitância, considerando que estes fossem suficientes para prever o estado deste componente e prevenir todos os tipos de defeitos e falhas.

Esta nova abordagem – através da corrente de fuga – permite que a equipe de engenharia de manutenção e a equipe de operação em tempo real tenham novas e importantes informações acerca das condições reais de operação deste componente.

Como este modelo – que considera a corrente de fuga como variável primordial – apresenta elevado grau de ineditismo, os autores perceberam que falta orientação normativa ou mesmo trabalhos técnicos relevantes em quantidade e qualidade sobre o tema em questão. Isso torna a utilização padronizada e em ampla escala desta técnica muito mais desafiadora do que poder-se-ia imaginar. Deve-se destacar que esta falta de informações não é apenas causada pelo ineditismo da iniciativa, mas muito pelo fato de que os próprios fabricantes das buchas não contemplam este parâmetro de nenhuma forma em sua documentação de montagem, testes e ensaios, operação e manutenção.

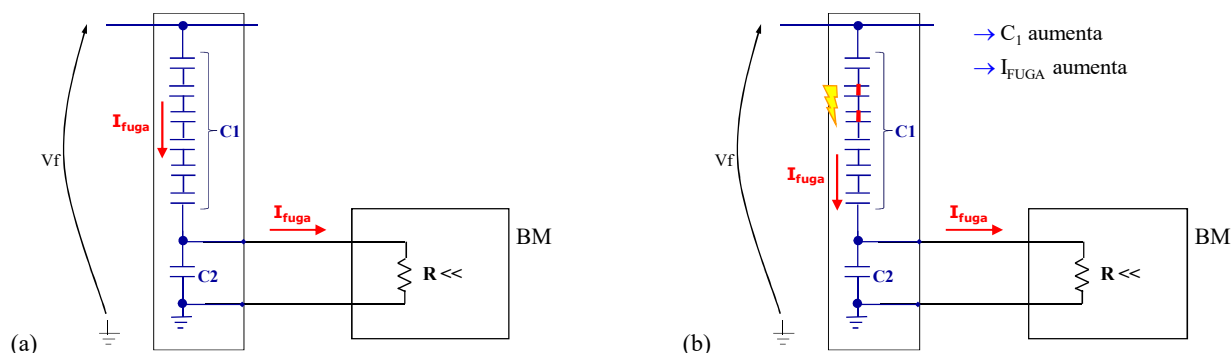
Posto isso, definições importantes tais como a média da corrente de fuga para uma determinada tensão, a sua variação em função de fatores como temperatura, harmônicos, etc., o limite máximo para operação normal e suas variações típicas admissíveis, entre outros dados correlatos são completamente desconhecidos ou, se não desconhecidos, conhecidos apenas pelo especialista em buchas condensivas.

## 2.0 A MEDIÇÃO DAS CORRENTES DE FUGA DAS BUCHAS

As buchas são elementos de isolamento essenciais para os equipamentos elétricos. Pelo seu princípio construtivo, a bucha capacitiva possui uma tomada (tap) onde a corrente de fuga resultante de sua operação normal pode escoar de forma segura para o terra. O tap também pode ser utilizado como ponto de conexão para instrumentos de ensaios off-line e monitoração online, além de outros usos [3].

Em cada uma das buchas condensivas, a corrente de fuga flui através da capacitância  $C_1$  para terra, passando pelo tap capacitivo, sendo esta corrente função da tensão fase-terra e da impedância da isolação. Desta forma, qualquer alteração na impedância da isolação se refletirá em uma alteração correspondente na corrente de fuga. Com o uso de algoritmos adequados, é possível extrair destes dados a capacitância e a tangente delta da bucha.

Como mostra a figura 02.(a), ao ser energizada a bucha seu arranjo construtivo dá origem a uma corrente de fuga predominantemente capacitiva, que circulará em direção ao tap e à entrada de medição do monitor de buchas, escoando então para terra.



**Figura 02 – Corrente de fuga capacitiva com a bucha energizada. (a) Com a bucha em condições normais; (b) Com camadas da isolação em curto-circuito.**

O módulo da corrente de fuga é determinado pela tensão fase-terra do sistema, por sua frequência angular e pela capacitância  $C_1$  da bucha. A figura 2.(b) ilustra a situação em que a bucha está com a isolação principal deteriorada e parcialmente em curto-circuito. Neste caso, o número de capacitores em série diminui, aumentando a capacitância equivalente  $C_1$  e aumentando consequentemente a corrente de fuga da bucha.

## 3.0 A VISÃO TRADICIONAL DA MONITORAÇÃO DE BUCHAS CONDENSIVAS

Sob o ponto de vista do conhecimento sedimentado e amplamente aceito entre diversos especialistas [4] [5] [6], é considerado que a evolução dos defeitos em buchas é lenta e gradual, com tempos da ordem de semanas ou meses. De fato, experiências com a medição periódica off-line de Capacitância e Tangente Delta [7], e também com a monitoração on-line [8], corroboram essa noção.

No entanto, deve-se levar em conta que a maior parte dos dados acumulados pela experiência de manutenção em buchas é originária de medições periódicas off-line, com intervalos da ordem de vários anos [5]. Considerando que, na grande maioria das vezes, as medições off-line somente serão capazes de detectar defeitos em evolução e evitar falhas de buchas nos casos em que o defeito tiver evolução lenta, é natural, portanto, que se

transmitisse a impressão de que todas as falhas têm evolução lenta. Nos casos em que a bucha chegava a falhar no intervalo entre os ensaios off-line era impossível saber qual foi de fato a velocidade de evolução da falha, e muitas delas podem ter tido evolução rápida.

Exatamente nesta ausência de informações é que se insere-se a corrente de fuga advinda da monitoração on-line como variável preponderante para o diagnóstico da condição – operativa e de manutenção – da bucha, no intuito de evitar falhas e colaborar para o mais importante: Evitar maiores indisponibilidades operativas advindas de falhas de maior magnitude.

#### 4.0 ESTUDO DE CASO 01: FALHA DA BUCHA EM CERCA DE QUATRO MINUTOS

Em 2018, houve uma falha em um transformador trifásico 230/138/13,8 kV de 100 MVA, com dois anos de operação, com consequente explosão de uma das buchas de 138 kV, após oito segundos da atuação do alarme de corrente de fuga. Este caso é um dos casos mais rápidos que se tem notícia, já que a literatura até então conhecida sobre o tema apresenta casos similares, mas com tempos até a falha na ordem de minutos e não de poucos segundos como ocorrido. A figura 03 mostra a condição da bucha após a falha.



**Figura 03 - Bucha após explosão, detalhe do papel saindo da bucha.**

O incidente foi de tal gravidade, e tamanha energia, que jogou papel para fora da bucha e também para o interior do transformador, como pode ser visto na figura 04. Os registradores de máxima corrente indicaram cerca de 11 kA de corrente durante a falha. Também foi inspecionada a conexão do monitor de buchas ao tap da bucha, que é efetuada através de um adaptador de tap, não se encontrando quaisquer sinais de falha na conexão.

O monitor de bucha instalado neste transformador coletou dados que indicam uma falha de evolução muito rápida, onde o tempo total entre a identificação do alarme e a explosão da bucha foi de cerca de 4 minutos. O monitor de buchas alarmou às 22:03, horário local, e a bucha entrou em colapso às 22:07. A tabela 01 apresenta estes dados.

**Tabela 1 - Dados de medição**

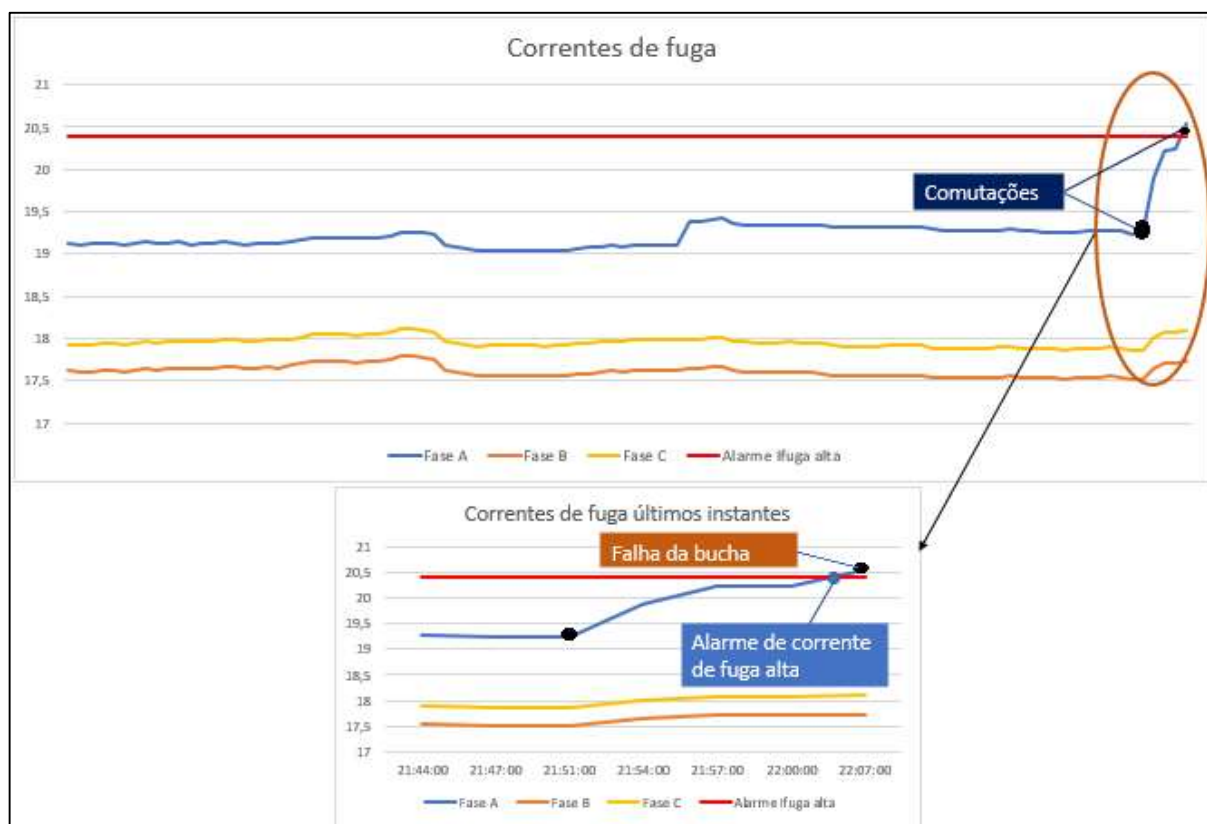
	<b>Capacitância C1</b>	<b>Tangente Delta</b>	<b>Corrente de fuga</b>
<b>Inicial / esperado</b>	589,0 pF	0,340 %	≈18 mA
<b>Alarmes</b>	607,7 pF	0,700 %	20,4 mA
<b>No momento da falha</b>	<b>597,6 pF</b>	<b>0,359 %</b>	<b>&gt; 21 mA</b>



**Figura 04 - À direita papel encontrado fora da bucha. À esquerda papel dentro do transformador após inspeção interna.**

Na figura 05 pode-se observar que logo após a mudança de tap do comutador houve um incremento da corrente de fuga na fase A, diferente das correntes de fuga das demais fases. Este incremento ocorreu em duas etapas:

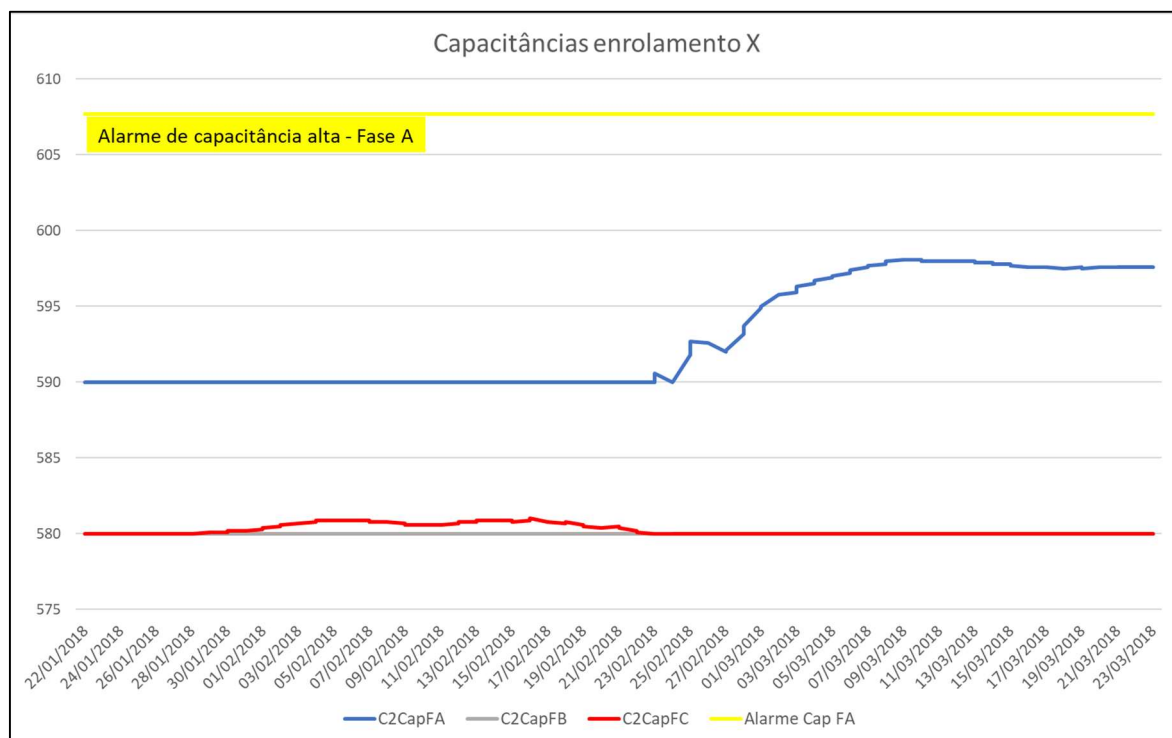
1. Na comutação das 21h51min, a corrente de fuga subiu, mas se manteve dentro do limite de operação.
2. Na comutação das 22h03min, a corrente de fuga subiu fora do limite e o BM sinalizando a anormalidade de corrente de fuga alta.



**Figura 05 - Correntes de fuga enrolamento X.**

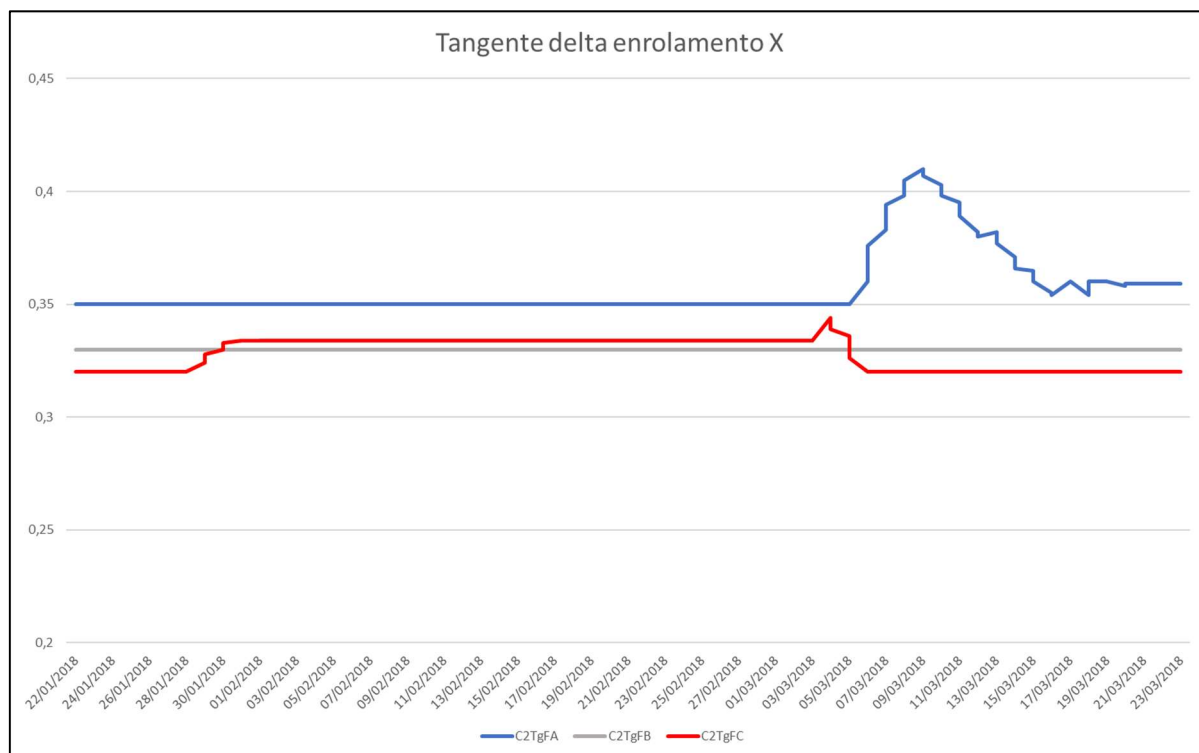


A capacitância da bucha em questão já havia apresentado uma alteração prévia de cerca de 1,5%. Apesar de consistente, esta alteração permaneceu abaixo do valor limite para alarme de capacitância alta (3%), como pode ser verificado na figura 06.



**Figura 06 - Gráfico das capacitâncias das buchas do enrolamento X.**

A tangente delta da bucha sofreu pequenas alterações, porém sem atingir o valor limite para alarme (0,7%), conforme mostrado na figura 07.

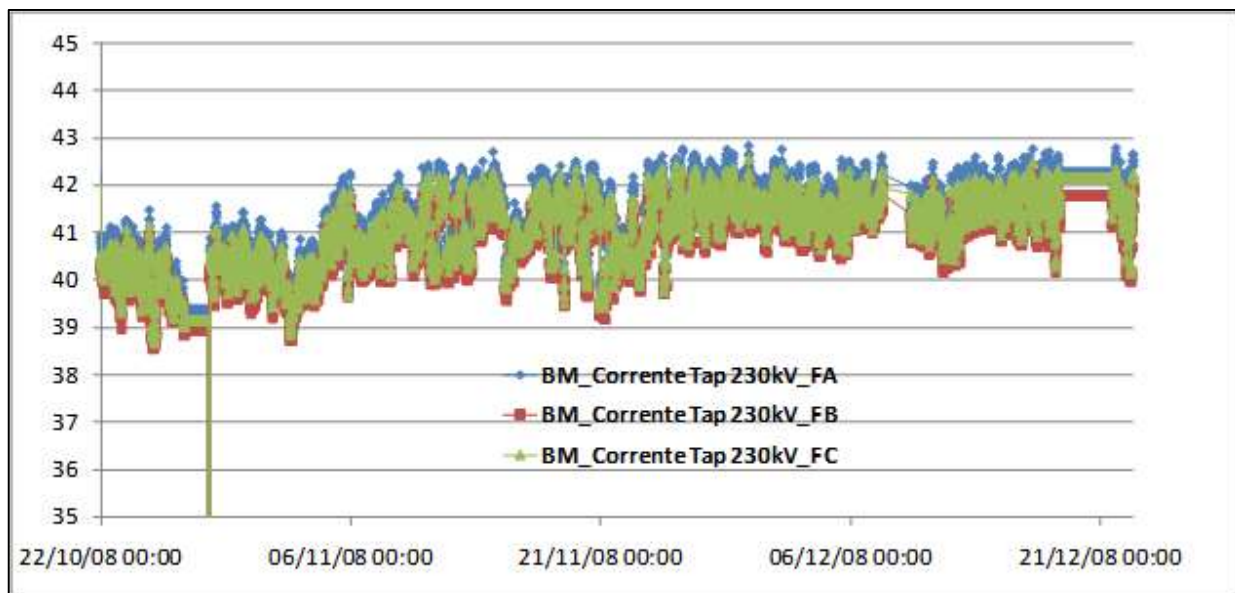


**Figura 07 - Tangente delta das buchas do enrolamento X.**

## 5.0 ESTUDO DE CASO 02: FALHA EM CERCA DE QUINZE MINUTOS

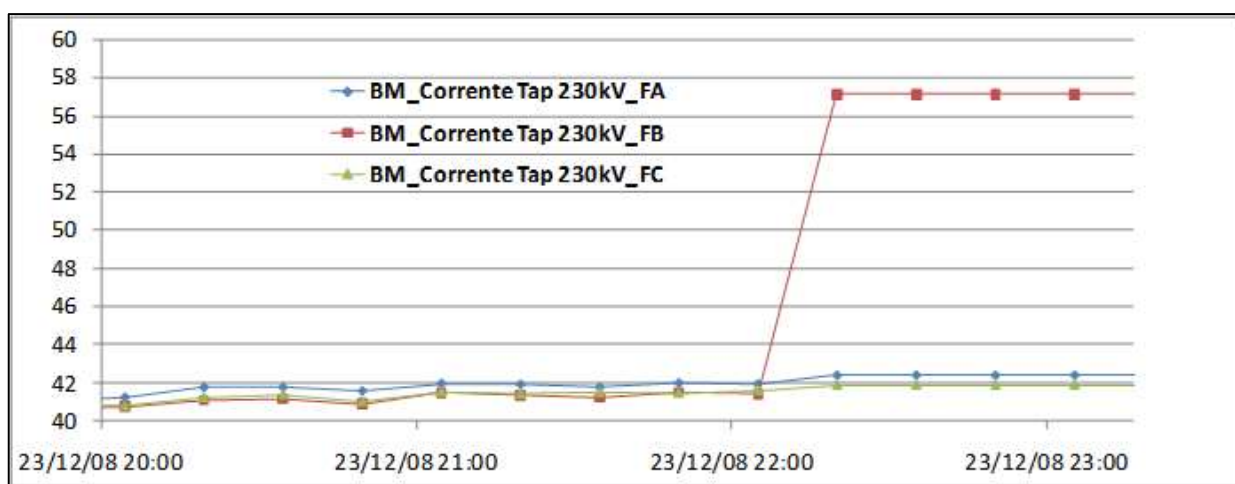
Ocorrência similar, bem documentada em [9], apresenta comportamento análogo para a evolução da corrente de fuga em uma condição pré-falha.

Em condição normal, as correntes de fuga oscilam ao redor de 41 mA, conforme a figura 08. Isso indica que, durante este período, as capacitâncias C1 das buchas encontravam-se próximas de seu valor nominal, ou seja, não existiam porções da isolamento principal em curto-circuito.



**Figura 08 – Histórico de dois meses das correntes de fuga das buchas de 230 kV.**

Já a figura 09 mostra a condição específica pré-falha, onde todas as correntes de fuga apresentavam valores normais, ao redor dos 41 mA teóricos. Subitamente, em algum instante de tempo entre um registro e outro, a corrente de fuga da fase B aumentou cerca de 40%, ultrapassando 57 mA. Como a corrente de fuga é diretamente proporcional à capacitância C1, isso indica a ocorrência de um aumento de  $\approx 40\%$  nessa capacitância, o que significa que  $\approx 40\%$  da isolamento estariam em curto-circuito.



**Figura 09 – Correntes de fuga das buchas 230 kV nos instantes próximos à falha da fase B**

Posteriormente o transformador foi inspecionado internamente, constatando-se que houve explosão da extremidade inferior da bucha. Também foi inspecionada a conexão do monitor de buchas ao tap da bucha, que é efetuada através de um adaptador de tap, não se encontrando quaisquer sinais de falha na conexão.

## 6.0 A VISÃO DA MONITORAÇÃO DE BUCHAS CONDENSIVAS SOB O ASPECTO OPERACIONAL DO ATIVO

A monitoração de buchas, assim como a monitoração de qualquer ativo, componente ou subsistema serve a um propósito final: Aumentar a sua segurança operativa. Para que isso aconteça, a engenharia de manutenção tem papel preponderante no uso dos dados advindos dos sistemas de monitoração, planejando manutenções, agindo proativamente assim que alguma anomalia se manifesta, etc.

Com a consolidação do modo de falha rápida nas buchas condensivas, que passou a ser conhecido a partir do conhecimento gerado pelo uso dos sistemas on-line de monitoração de buchas, esta monitoração é instada a participar dos aspectos operacionais do ativo. Ou seja, através da corrente de fuga, dados de monitoração passam a ter importância direta em parâmetros operativos, similarmente aos dados advindos dos relés de proteção.

Isso é uma interessante possibilidade, já que comprova a sinergia que tais sistemas possuem quando são bem planejados, instalados e utilizados. Contudo, traz uma série de desafios para os engenheiros de manutenção, especialistas em buchas condensivas e outros envolvidos na questão.

A corrente de fuga como principal parâmetro a ser avaliado sob a ótica operativa é resultado direto da sua capacidade de rapidamente indicar se a bucha – e consequentemente o ativo – pode permanecer ligado. Esta é a nuance. Aqui não se fala mais apenas sob a ótica da evolução do defeito e das ações preventivas ou corretivas planejadas. Aqui se fala sobre se o ativo ainda pode permanecer em operação e se sim o quão seguro ele ainda está.

Sob o aspecto operacional, é uma nova forma de enxergar a monitoração de buchas, a corrente de fuga e o uso dos sistemas de monitoramento. E como qualquer novo aspecto técnico, existe a pesquisa, a obtenção e consolidação de dados, as discussões técnicas, o necessário aprendizado, a adequação e criação de práticas operacionais. Este é motivo deste trabalho.

## 7.0 OS DESAFIOS PRÁTICOS PARA O USO DA CORRENTE DE FUGA COMO UM ALERTA OPERATIVO IMPORTANTE

A partir dos casos apresentados, é simples perceber a importância da monitoração da corrente de fuga para evitar falhas catastróficas. Uma rápida atuação – equiparável a atuação de um relé de proteção - é necessária, para prover a devida segurança ao ativo

Posto isso, quais são os desafios práticos para o uso da corrente de fuga das buchas como um alerta de risco operativo imediato, e não apenas um alerta de manutenção?

Por um lado, é necessário que o mecanismo utilizado para a monitoração em tempo real da corrente de fuga possua critérios rígidos de confiabilidade, precisão, estabilidade e assertividade da medição, de forma a impedir indicações errôneas. Por outro lado, é necessário que o responsável pelo ativo tenha um plano de resposta adequado.

Um estudo apresentado em [10] mostra um caso onde houve um aumento repentino na corrente de fuga ao longo de duas horas, gerando um alarme. Os responsáveis pelo ativo tinham um plano de resposta estruturado, e baseado nele, exigiu-se que o transformador fosse desenergizado. O plano foi seguido, a bucha foi testada, apresentando fator de potência e capacitância elevados, e substituída. A subsequente desmontagem da bucha confirmou a deterioração avançada. Este caso destaca a necessidade de um plano de resposta ao aplicar o monitoramento e também a necessidade de aprender sobre os modos de falha relevantes.

Do ponto de vista da análise, a corrente de fuga é, dentre todos os dados medidos por um sistema de monitoramento de buchas, um dos, senão o mais, mais seguro e simples de se analisar. Mas, ocasionalmente, comportamentos inesperados ocorrerão e devem ser prontamente investigados. Devemos ter expectativas ao aplicar o monitoramento de condição aos transformadores. Se soubermos o que esperar, podemos identificar medidas que são inesperadas ou anômalas e merecem uma investigação mais profunda.

Fica claro o desafio de conciliar um processo decisório que tradicionalmente ocorre somente após a avaliação de um especialista com a necessidade de resposta rápida frente a um evento que pode afetar em questão de poucos minutos a disponibilidade operacional de um ativo de grande porte.

Contribuindo com esta discussão, são apresentados alguns poucos pontos importantes onde o conhecimento atual é escasso.

1. Qual é o comportamento de referência para a corrente de fuga em uma determinada família de buchas em diversas situações operativas?
2. Pesquisas baseadas em dados empíricos indicam que o comportamento da corrente de bucha em caso de falha varia muito com o projeto e com a tecnologia da bucha condensiva. Se isso ocorre, como estabelecer parâmetros comparativos de desempenho?
3. Qual variação da corrente de fuga pode ser considerada segura de modo geral?

Como consequência imediata destes pontos, temos:

1. Ausência normativa ou mesmo orientativa para quais valores de alerta e alarme devem ser utilizados.
2. Dificuldade na realização de comparações entre dados de ocorrência similares.

E com isso fica claro o desafio presente para a engenharia de manutenção em definir critérios, procedimentos e normativas para a tomada de decisão frente aos valores monitorados da corrente de fuga em buchas condensivas. Pretende-se com este trabalho que o conhecimento básico seja apresentado e a discussão possa ser iniciada, para que esta nova e relevante ferramenta passe a efetivamente contribuir para evitar que defeitos evoluam para falhas e consequentemente toda a cadeia de produção, transmissão e distribuição de eletricidade seja beneficiada com a introdução desta tecnologia.

## 8.0 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou a corrente de fuga, já bastante conhecida dos especialistas em buchas, como uma nova e importante variável para fins operacionais, além da já tradicional abordagem para fins de diagnóstico preditivo e preventivo.

Foram apresentados dois casos conclusivos onde a corrente de fuga foi o principal parâmetro indicativo da evolução de um defeito para falha, sendo que um caso é considerado como falha rápida – quinze minutos entre o início do evento e a falha da bucha – e o outro como falha muito rápida – quatro minutos entre o início do evento e a falha da bucha.

O uso da corrente de fuga advinda da monitoração on-line de buchas para gerar alarmes com ação operativa é um desafio, já que faltam dados consolidados que orientem a sua utilização de maneira padronizada. Este trabalho hoje fica a cargo do especialista responsável pelo ativo.

A implantação das tecnologias mais recentes de monitoração on-line de buchas condensivas é um caminho sem volta, e ter a oportunidade de utilizar esta tecnologia de maneira mais ampla e sinérgica é um benefício colateral preponderante, levando-se em conta que poder-se-á evitar que defeitos evoluam para falhas, geralmente catastróficas.

Algumas das principais lacunas de conhecimento na área foram listadas e alguns tópicos para discussões iniciais sobre o tema expostos.

A intenção dos autores de forma alguma foi exaurir o tema, mas, apresentar fatos e experiências, lançando as bases para o início da discussão deste importante assunto, que afeta os principais ativos do sistema elétrico.

## 9.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ELECTRA, "TRANSFORMER RELIABILITY SURVEY", PARIS, CIGRÉ WG A2.37, REF. NO. 284, 2016
- [2] COSTA, M. A. ; DANIEL CARRIJO POLONIO ARAUJO ; MARTINS, A. J. A. L. . ARQUITETURAS DE MONITORAMENTO E DIAGNÓSTICO DE TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA. IN: XVIII SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - SENDI 2008, 2008, OLINDA - PERNAMBUCO - BRASIL. ARQUITETURAS DE MONITORAMENTO E DIAGNÓSTICO DE TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA. OLINDA - PERNAMBUCO - BRASIL: SENDI, 2008. V. 1. P. 1-10.
- [3] DANIEL CARRIJO POLONIO ARAUJO; SILVINO, J. L. ; AGUIAR, E. R. ; MARTINS, A. J. A. L. ; RESENDE, P. . METODOLOGIA DE DIAGNÓSTICO DE TRANSFORMADORES BASEADA EM ANÁLISE DA RESPOSTA EM FREQUÊNCIA. ELETROEVOLUÇÃO (RIO DE JANEIRO), V. 2007, P. 42-48, 2007.
- [4] SOKOLOV, V., ET.AL., "BUSHING AND HV CURRENT TRANSFORMER ON-LINE MONITORING USING M4000 ANALYSER".
- [5] LACHMAN, M., ET. AL., "ON-LINE DIAGNOSTICS OF HIGH-VOLTAGE BUSHINGS AND CURRENT TRANSFORMERS USING THE SUM CURRENT METHOD", IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 15, NO. 1, JANUARY 2000.
- [6] GILL, P., "ELECTRIC POWER EQUIPMENT MAINTENANCE AND TESTING", 2A ED., 2009, CRC PRESS.
- [7] MELO, MARCOS A. C., "INVESTIGAÇÃO DE OCORRÊNCIAS EM BUCHAS DE TRANSFORMADORES E REATORES UTILIZANDO O DOBLE M-4000", IV CONFERÊNCIA DA DOBLE BRASIL – CEMIG. BELO HORIZONTE, BRASIL, 2003.
- [8] MELO, MARCOS A. C., ALVES, MARCOS, "EXPERIÊNCIA COM MONITORAÇÃO ON-LINE DE CAPACITÂNCIA E TANGENTE DELTA DE BUCHAS CONDENSIVAS", XIX SNTPEE – SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. RIO DE JANEIRO, BRASIL, 2007.
- [9] MARCOS E. G. ALVES, MIGUEL C. MEDINA PENA, CLAUDIO SEVERINO - BUSHING FAILURES WITH RAPID AND VERY RAPID EVOLUTION TIME DETECTED BY ONLINE MONITORING - A2-114 - CIGRE SESSIONS 2012
- [10] WYPER, G. MACKAY, T. MCGRIL, "CONDITION MONITORING IN THE REAL WORLD," 81ST INTERNATIONAL CONFERENCE OF DOBLE CLIENTS, BOSTON, USA, 2013



## DADOS BIOGRÁFICOS



Graduado em Engenharia Elétrica pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (2006), mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Minas Gerais (2008) e Doutorado na Universidade de São Paulo (2021), na área de Sistemas Dinâmicos. É Diretor de Engenharia / PD&I na Tretech e Pesquisador Especialista na Radice. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, ênfase em Máquinas Elétricas e Dispositivos de Potência e Alta Tensão, atuando nos temas: Monitoração Online, Sensoriamento Remoto, Subestações, Técnicas e Metodologias de Manutenção para Equipamentos de Alta Tensão, Transformadores e Reatores, Buchas Condensivas, Inteligência Computacional, Sistemas Inteligentes, Processamento Digital de Sinais.

## (2) LÍLIAN FERREIRA QUEIROZ

Graduação em ENGENHARIA ELÉTRICA Pós- Graduação MBA EXECUTIVO EM LIDERANÇA E GESTÃO DE EMPRESAS ESTATAIS; MBA LIDERANÇA, INOVAÇÃO E GESTÃO 3.0; MBA – FINANÇAS, INVESTIMENTOS E BANKING; FORMAÇÃO EM COACHING Advanced Executive Coaching. Gerente Engenharia de Manutenção de Equipamentos de Linhas de Transmissão; Gerente de Departamento de Gestão de Ativos da Transmissão Oeste Superintendente de Engenharia de Manutenção da Geração e Transmissão; Atualmente Superintendente de Gestão da Manutenção. Membro CE A2 CIGRE BRASIL Representante na Força Tarefa de Manutenção – Abrate Membro do GT7 CEE251 Brasileiro – Gestão de Ativos Apresentações e Relatora no SNPTEE e no CIGRE SESSION Bienal Paris.

## (3) DENIS DE OLIVEIRA NETO

MBA EM GERENCIAMENTO DE PROJETOS / FGV - FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS 01/03/2018 à 01/10/2020 PEL PROGRAMA ESPECIAL DE FORMAÇÃO PEDAGÓGICA – UniCEUB 01/07/2003 à 25/05/2004 ENGENHARIA ELÉTRICA / UEMG – UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MINAS GERAIS 01/01/1996 à 19/12/2001

## (4) WANDRÉ MATOS DE MEDEIROS

Wandrê Matos de Medeiros é engenheiro eletricitista formado pela Universidade Federal de Goiás – UFG, possui Especialização em Gestão de Inovação Tecnológica pela Unicamp, Mestrado em Engenharia Civil com ênfase em Produção – Gestão Orientada por Processos pela Universidade Federal do Pará – UFPA. Foi gerente do Departamento de Manutenção Alta Tensão da Eletrobras Distribuição Amazonas 2015 – 2017. Atualmente atua como Gerente do Departamento de Gestão da Manutenção de Subestações e Linhas de Transmissão Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A Eletrobras-Eletronorte 2017 - 2021. Possui 15 anos de experiência na gestão de manutenção de ativos de transmissão de energia na Eletrobras Eletronorte.

## (5) RAFAEL PRUX FEHLBERG

Mestrando em Engenharia Elétrica pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, possui graduação em Engenharia de Controle e Automação pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (2003) e MBA em Gerenciamento de Projetos pela Unilasalle Canoas (2016). Atualmente é Engenheiro Eletricista Senior na Tretech Sistemas Digitais e Gestor de Projetos pela Radice Tecnologia. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em subestações de energia, transformadores de potência, disjuntores e seccionadores. Também possui experiência com gestão de projetos e certificação PMP.

## (6) GABRIEL DE SOUZA

Graduado com Honra ao Mérito em Engenharia Eletrônica e Mestre em Engenharia Elétrica pela UNIFEI. Doutorando em Sistemas Inteligentes pela EESC-USP.

## (7) MURILO MARQUES PINTO

Murilo Marques é graduado em Engenharia Eletrônica pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) e cursando mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo (2021). Atualmente trabalha na Radice Tecnologia. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica/Eletrônica, nas áreas de programação, Data Science, inteligência artificial, processamento digital de sinais, projetos de circuitos eletrônicos, diagnóstico de falhas e sistemas de potência.

## (8) MARCIO DA COSTA

Especialista, Diretor Comercial, Engenharia de Aplicação, Pesquisador. Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade de Mackenzie e especialização em Proteção de Sistemas Elétricos na FUPAI (UNIFEI). Possui mais de 25 anos de experiência no setor elétrico e de telecomunicações, nas áreas de Engenharia de Aplicação em medições de grandezas elétricas, mecânicas e químicas. Atualmente lidera o time comercial da Radice auxiliando na promoção de inovação nos setores de Geração, Transmissão e Distribuição de energia elétrica.

