



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

### **ESTUDO DE VIABILIDADE PARA IMPLANTAÇÃO DE MEDIÇÃO DE RESISTÊNCIA TRIFÁSICA DOS ENROLAMENTOS, UTILIZANDO MÉTODO VOLTÍMETRO-AMPERÍMETRO**

**BERNARD DA SILVA(1);GUILHERME MASCHIO(1);LUIZ FERNANDO DE OLIVEIRA(1)  
WEG EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS S.A.(1)**

#### **RESUMO**

A medição de resistência dos enrolamentos é um ensaio de rotina realizado em transformadores para diagnóstico de falhas, análise do estado do equipamento e determinação da temperatura média dos enrolamentos.

Os autores deste trabalho propõem uma metodologia de medição da resistência dos enrolamentos no formato trifásico, utilizando o método de teste voltímetro-amperímetro. O objetivo do estudo é validar os circuitos que possibilitam essa medição em mais de um enrolamento simultaneamente.

Os resultados mostraram uma melhora nos tempos de estabilização das medidas, aumentando o número de medições válidas em um mesmo período de tempo seguindo as normas dos ensaios.

#### **PALAVRAS-CHAVE**

Resistência dos enrolamentos, método de medição trifásico, simulação, voltímetro-amperímetro.

#### **1 INTRODUÇÃO**

A medição de resistência dos enrolamentos em máquinas elétricas é algo consolidado no meio acadêmico e industrial devido a sua importância na validação de critérios de projeto, contribuição no diagnóstico de falhas e análise do estado dos equipamentos. Tal medição consiste em aplicar uma corrente contínua de até 15% da nominal do transformador e realizar medida da queda de tensão nos terminais de aplicação. Atualmente os laboratórios utilizam a aplicação de corrente monofásica para a medição da resistência, sendo necessária a repetição do processo de medição em cada uma das fases nos casos de transformadores trifásicos. Para agilizar este processo, será proposta uma nova metodologia para esta medição, realizada simultaneamente nas três fases.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: na seção 2 será descrita base teórica que possibilitou a elaboração e validação da nova proposta de medição. Nela serão abordados os critérios das normas relacionadas aos ensaios de medição de resistência e além disso, serão expostas as diferenças teóricas entre o método monofásico e trifásico, discutindo a influência do comportamento indutivo do transformador com a medição de resistência com corrente contínua. Em seguida, será demonstrada a importância da realização do ensaio, abordando os temas de manutenção preventiva e os resultados significativos ao longo do tempo.

Na seção 3 será vista uma breve explicação sobre a metodologia utilizada na modelagem do transformador no software ANSYS Electronics Desktop®. Nela também serão apresentados os circuitos de medição definidos para simulação e testes em laboratório, além dos equipamentos utilizados para a aquisição dos dados.

Na seção 4, para avaliar a viabilidade da implantação do método de medição proposto, são apresentados os fenômenos eletromagnéticos de um transformador de potência, submetido a uma excitação externa com corrente contínua, onde foi elaborado um modelo de circuito, sendo modelado através de simulações numéricas utilizando o Método dos Elementos Finitos. Além disso, será mostrado o desenvolvimento do software em LabVIEW, utilizado para aquisição de dados de forma automatizada durante as medições em laboratório.

Por fim, para comparação e validação das simulações, alguns resultados de ensaios serão apresentados de forma comparativa, onde o transformador utilizado nas medições foi o mesmo modelado no software. Os resultados obtidos são avaliados e as comparações entre os métodos de medição monofásico e trifásico serão expostas a fim de destacar as vantagens do método proposto.

#### **2 BASE TEÓRICA**

A medição de resistência dos enrolamentos é um ensaio de rotina realizado periodicamente em laboratórios de ensaios de fabricantes e em manutenções preventivas em campo. Nesse ensaio é possível avaliar alguns critérios

como: resistência calculada, equilíbrio entre fases, resistência dos contatos, apertos das conexões, contatos do comutador entre outras características.

Além disso, a medição de resistência é um método indireto utilizado para obtenção da temperatura média dos enrolamentos durante o ensaio de aquecimento, sendo determinada após o desligamento da fonte de alimentação do transformador e desconexão do curto-circuito. A medição da resistência se inicia após a conexão do circuito de corrente contínua, sendo aplicada uma corrente máxima de 15% da nominal do transformador utilizando uma fonte de corrente constante e estabilizada eletronicamente ou um banco de baterias de grande porte.

No início da medição, as primeiras leituras de resistência são consideradas inválidas, devido a influência da estabilização da corrente, ocasionada pelo efeito indutivo do transformador [1]. Essa influência pode ser visualizada nos dois primeiros pontos apresentados na Figura 1. As normas de ensaios indicam a necessidade de possuir três leituras válidas em um tempo máximo de quatro minutos [1] [2] [3].

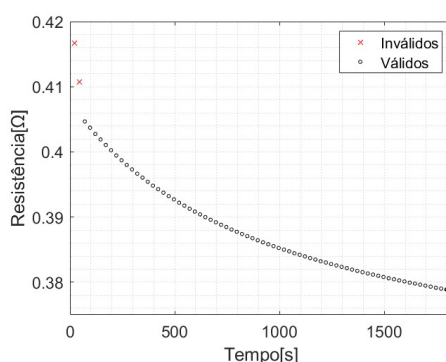


Figura 1 - Extrapolação de resistência

Em campo, esse teste normalmente é realizado em desligamentos planejados, com o objetivo de comparar os valores medidos com os ensaios de fábrica ou medições anteriores, com isso, é possível visualizar o estado da máquina e progressão de possíveis problemas [4]. A parada indevida de um transformador de potência pode gerar diversos prejuízos, tanto para o consumidor quanto para as empresas, e o tamanho do impacto vai depender da importância do ativo no contexto em que ele está inserido. As concessionárias de transmissão no Brasil são remuneradas pela disponibilidade dos seus equipamentos, sendo assim, desligamentos indevidos podem gerar penalidades por conta da indisponibilidade do transformador [4].

Devido sua relevância, é importante obter uma medição com valores confiáveis, sendo necessária uma solução consolidada para essa medição. O método voltímetro-amperímetro geralmente é utilizado nesses circuitos, visto que o mesmo minimiza fontes de erros como a influência de resistência de circuitos externos e tem precisão na aquisição de resistências de baixo valor.

Para realizar a medição da resistência, é necessária uma fonte de corrente contínua e estável, sendo aplicada de forma constante sobre o enrolamento, e um multímetro digital ou analógico para avaliar a queda de tensão nos terminais do transformador. A resistência é calculada de forma indireta conforme Lei de Ohm e as medições são registradas de forma que quando estiverem estabilizadas possam ser utilizadas, por exemplo, para o cálculo da temperatura média dos enrolamentos [3].

O método atual empregado largamente na indústria consiste em medir de forma individual (por fase) a corrente e a queda de tensão, conforme exibido na Figura 2. Sendo assim, para transformadores trifásicos, são necessárias repetições do processo de medição de resistência, possibilitando o resfriamento do óleo do transformador, inserindo incertezas na extrapolação da resistência. Caso não haja a estabilização correta da temperatura do transformador, entre os desligamentos, poderá ocorrer o cálculo incorreto da temperatura média dos enrolamentos através da resistência.

O método proposto consiste em medir de forma simultânea todas as fases do transformador conforme apresentado na Figura 3, reduzindo as incertezas das medições de resistência, visto que será necessário apenas um único desligamento da máquina. Além disso, o tempo de estabilização da medição tende a ser menor, tendo mais pontos válidos nos quatro primeiros minutos de ensaio. Isso acontece devido a estabilização da corrente ser diretamente afetada pela indutância de magnetização do circuito medido, conforme será detalhado neste documento. Estes pontos válidos adicionais permitem uma extrapolação mais precisa para a resistência no instante exato do desligamento, informação importante para a obtenção da temperatura máxima dos enrolamentos em operação.

O ramo de magnetização do circuito típico do transformador pode ser representado pelos parâmetros RL em condições nominais, no entanto, o parâmetro indutivo é não-linear e se altera de acordo com o caminho a ser

percorrido pelo fluxo magnético [5]. A constante de tempo  $\tau$  de um circuito RL, dada por ( $\tau = L/R$ ), considerando os parâmetros construtivos de um transformador de potência, pode ser elevada (na casa dos minutos, interferindo na estabilização dos resultados das medições de resistência).

### 3 METODOLOGIA

A metodologia proposta inicia-se com a modelagem de um transformador, seguido da definição dos circuitos de medição e comparação dos resultados. Na modelagem computacional serão apresentados os dados utilizados para a simulação numérica. Em seguida serão expostos os circuitos de medição, equipamentos e arquitetura de rede definida para os testes em laboratório.

#### 3.1 Modelagem computacional

Para avaliar a viabilidade de implantação do método de medição trifásico e para compreender os efeitos magnéticos da parte ativa da máquina, foram elaboradas 12 simulações utilizando o modelo de um transformador religável trifásico de 30 MVA e tensões 69/34,5 R 13,8 kV (YNyn R YNd), realizando a aplicação de tensão e corrente contínuas nos enrolamentos conforme indicado pelas normas, possibilitando a análise do comportamento e dos fenômenos eletromagnéticos apresentados.

Na Tabela 1 são apresentados os 6 circuitos simulados, todos sendo executados para cada grupo de ligação do transformador modelado, ou seja, 6 simulações para o grupo de ligação YNyn e 6 simulações para o grupo de ligação YNd.

Tabela 1 - Tipos de circuitos de medição.

ID	Alimentação	Tipo de Circuito	Quantidade de Enrolamentos Medidos Simultaneamente
1	Monofásico	Individual	1
2	Monofásico	Autotrafo	2
3	Monofásico	Duas fontes	2
4	Trifásico	Individual	3
5	Trifásico	Autotrafo	6
6	Trifásico	Duas fontes	6

#### 3.2 Circuitos

Foram elaborados seis circuitos de medição, conforme apresentado na Tabela 1. Três pelo método de medição monofásico, conforme a Figura 2, e três pelo método trifásico, conforme Figura 3. Na Figura 2a é mostrado o circuito de medição utilizado em transformadores com mais de dois grupos de enrolamentos. Na Figura 2b, é apresentado o circuito utilizado nos casos onde a corrente aplicada por uma fonte atende os dois grupos de enrolamento. Na Figura 2c o circuito é aplicado em transformadores onde a relação de transformação é demasiadamente grande, sendo necessário correntes diferentes para cada grupo de enrolamento. Na Figura 3 a análise é análoga a Figura 2.

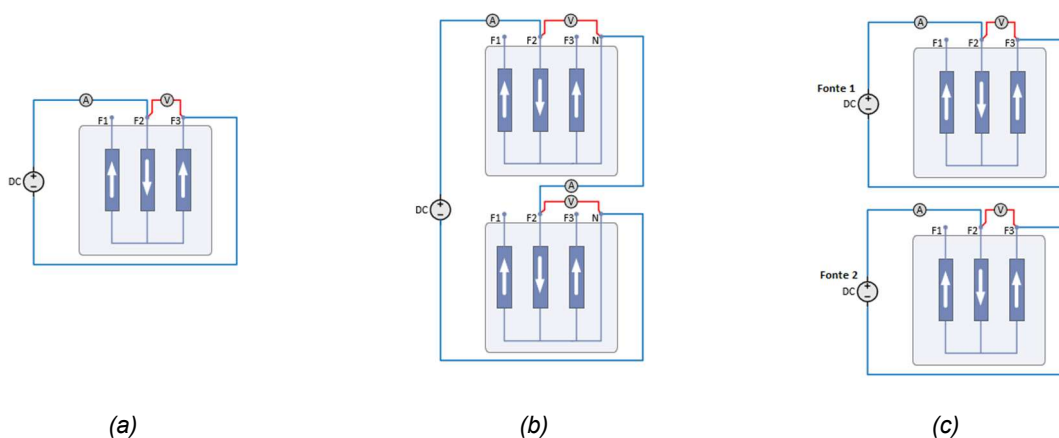


Figura 2 – Circuitos monofásicos - (a) circuito 1, (b) circuito 2, (c) circuito 3.

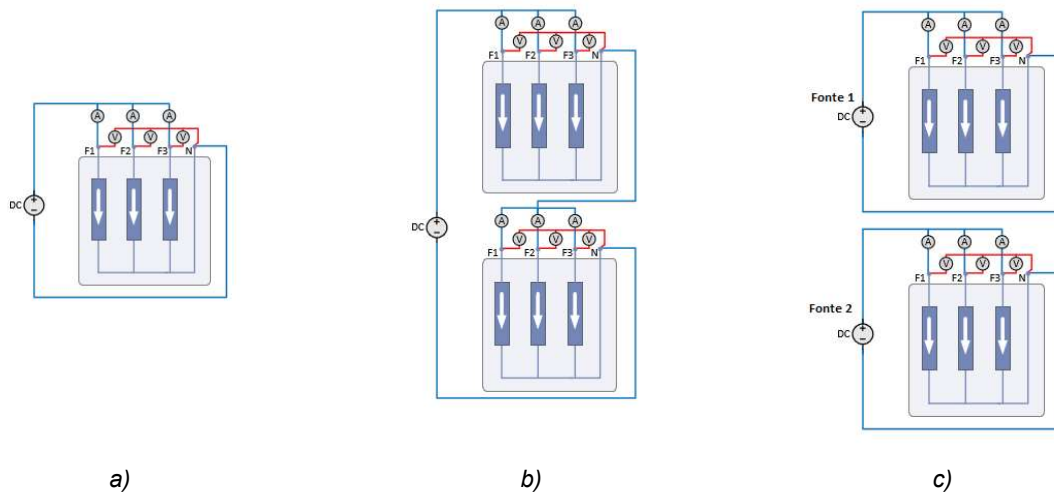


Figura 3 – Circuitos trifásicos - (a) circuito 4, (b) circuito 5, (c) circuito 6.

### 3.3 Equipamentos

Para realizar as medições em laboratório, foram utilizados os equipamentos conforme descritos abaixo:

- 2 fontes de corrente modelo 6882A e 6884A da marca Agilent;
- 6 multímetros digitais modelo 34450A de  $5\frac{1}{2}$  dígitos da marca Keysight;
- 6 transdutores de corrente modelo LA 55-P/SP1 da marca LEM;
- 1 CLP modelo PLC300 da marca WEG;
- 1 expansão analógica modelo RUW02 da marca WEG.

### 3.4 Arquitetura de rede

Para possibilitar a aquisição de dados automática, foi elaborada uma arquitetura de rede onde é utilizado comunicação GPIB, TCP/IP e CANOpen entre os equipamentos e o computador, conforme apresentado na Figura 4. O objetivo de automatizar o processo de aquisição foi aumentar a confiabilidade do teste e facilitar a documentação dos resultados. Para realizar a integração e gerenciamento da rede, foi desenvolvido um software em LabVIEW que será apresentado na seção 4.2.

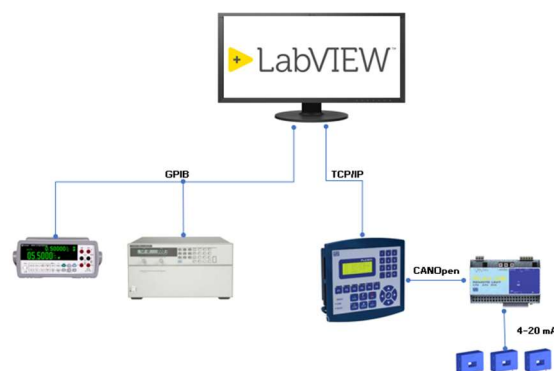


Figura 4 – Arquitetura de rede.

## 4 DESENVOLVIMENTO

Nessa seção será explicado como foi realizado o desenvolvimento das simulações numéricas, apresentando a modelagem em três dimensões (3D) do transformador, além do circuito de excitação utilizado. Em seguida será apresentado o desenvolvimento do software de comunicação e aquisição em LabVIEW, onde é explicado sobre a estruturação do software e dos dados fornecidos pelo mesmo. Por fim, será exposto como foram desenvolvidos os circuitos em laboratório que possibilitaram a realização das medições.

### 4.1 Modelagem computacional

As simulações numéricas foram realizadas utilizando o método de elementos finitos em três dimensões (3D), onde é possível modelar com detalhes a geometria completa do transformador, conforme a Figura 5. Para essas simulações,

o *software* da ANSYS Electronics Desktop® foi utilizado, configurando simulações no modo transiente com alimentação por circuito externo, equivalente aos supracitados na seção 3.2 e conforme caso representativo da Figura 6, incluindo a alimentação do circuito por rampa de subida de 15 segundos, estabilização e posterior desligamento [5] [6].

Das simulações desenvolvidas, foram registradas as curvas de corrente, tensão e indução nas colunas de cada fase do núcleo, que serão posteriormente comparadas com os resultados dos respectivos ensaios. As correntes e tensões foram medidas nas exatas localizações onde estão os instrumentos de medição dos ensaios, já as induções no núcleo, são calculadas pela média da indução em cada coluna.

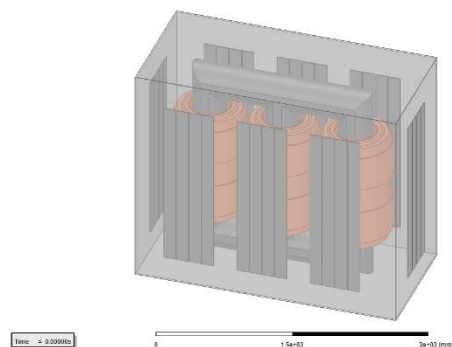


Figura 5 – Modelagem 3D do transformador.

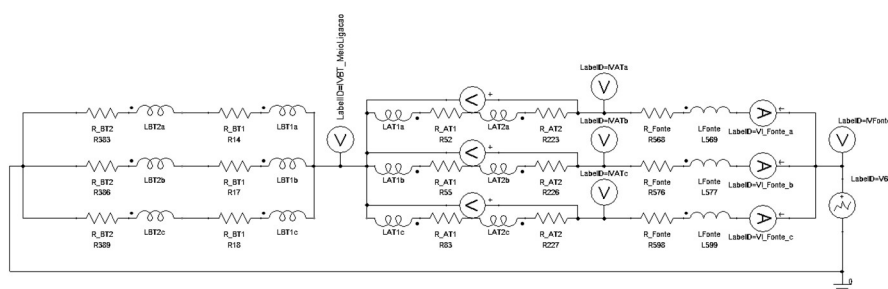


Figura 6 - Modelagem do circuito de excitação.

#### 4.2 Software LabVIEW

Para automatizar o processo de configuração e aquisição de dados dos equipamentos, foi desenvolvido um software na plataforma LabVIEW, responsável pelo gerenciamento da rede de comunicação com os equipamentos e arquivamento dos dados das medições. O software é dividido em 2 telas, conforme apresentado na Figura 7a, mostrando a tela de configuração de comunicação, onde é realizado o endereçamento dos equipamentos da rede de comunicação GPIB. Na Figura 7b é apresentada a tela de monitoramento, onde são realizadas as configurações de circuito de teste, tempo total, taxa de aquisição, corrente para cada fonte e ligações de cada grupo de enrolamento. Após configuração e inicialização do teste, são apresentadas todas as tensões e correntes do transformador em tempo real. Após finalização do teste, os dados são exportados automaticamente com todas as informações de configuração e medição.

Modelo Fonte 1: 6884      Modelo Fonte 2: 6884  
 Porta Fonte 1: GPIB:7      Porta Fonte 2: GPIB:8

Porta Mult. 1: GPIB:1  
 Porta Mult. 2: GPIB:2  
 Porta Mult. 3: GPIB:3  
 Porta Mult. 4: GPIB:4  
 Porta Mult. 5: GPIB:5  
 Porta Mult. 6: GPIB:6

(a)

Número de Fontes: 2 Fontes - 2 Enrolamentos      Temp. Desl. 0,0000  
 Tipo de medição: Trifásico      Tempo total: 5,00 min      I.Fonte1: 10,000  
 Taxa aquis.: 5,00 seg      I.Fonte2: 15,000

I.GrupoTC: 0,000000      I.Fonte: 0,000000      V.Fonte: 0,000000

Ligação: YN      I1: 0,000000      V1: 0,000000      R1: 0,000000  
 I2: 0,000000      V2: 0,000000      R2: 0,000000  
 I3: 0,000000      V3: 0,000000      R3: 0,000000

I.GrupoTC: 0,000000      I.Fonte2: 0,000000      V.Fonte2: 0,000000

Ligação: YN      I4: 0,000000      V4: 0,000000      R4: 0,000000  
 I5: 0,000000      V5: 0,000000      R5: 0,000000  
 I6: 0,000000      V6: 0,000000      R6: 0,000000

Reset Fontes      Iniciar      Adicionar

(b)

Figura 7 - Software em LabVIEW – (a) tela de configuração de comunicação, (b) tela de monitoramento.

#### 4.3 Medição em laboratório

Para possibilitar a comparação dos dados simulados de forma adequada, foi desenvolvido um circuito para realizar a medição em diferentes transformadores, levando em consideração a influência de queda de tensão entre os terminais do transformador e os equipamentos de medição. Além dos testes realizados no transformador modelado, foram aplicadas as mesmas configurações de circuitos, vistas anteriormente, em transformadores com diferentes características construtivas, sendo eles, transformador a seco 6 MVA (Dyn), a óleo 50 MVA (YNyn) e 345 MVA (YNd), conforme demonstrado na Figura 8.



Figura 8 - Circuito de medição em laboratório.

### 5 RESULTADOS

Avaliando a densidade de fluxo magnético simulado de cada circuito, três cenários foram identificados:

- Indução próxima de nula: (Figura 9a) nesse caso não há magnetização do núcleo ou é desprezível, portanto, a indutância de magnetização possui valor extremamente baixo, já que o campo magnético gerado pelos enrolamentos se concentra apenas entre os próprios enrolamentos (caminho de alta relutância). Este caso acontece quando os enrolamentos medidos são estrela com neutro e o método de medição aplicado é o trifásico;
- Indução ao nível de saturação: (Figura 9b) quando o núcleo é colocado em regime de saturação ou próximo dele, os enrolamentos são configurados de forma a serem capazes de fornecer energia suficiente (Ampère-espira) para que o núcleo seja magnetizado rapidamente. Este caso acontece quando os enrolamentos medidos são estrela com neutro e o método de medição aplicado é o monofásico;
- Indução entre valor nulo e abaixo da saturação: (Figura 9c) quando determinada configuração coloca enrolamentos de um mesmo grupo de ligação em polaridades diferentes, possibilita a magnetização do núcleo, uma vez que a fluxo em cada coluna é diferente, e por consequência uma circulação do fluxo magnético por um caminho de baixa relutância, resultando em uma alta indutância do ramo de magnetização. Este caso acontece quando um dos enrolamentos é conectado em delta, devido às características de fluxo da sequência zero que esta conexão confere ao equipamento.

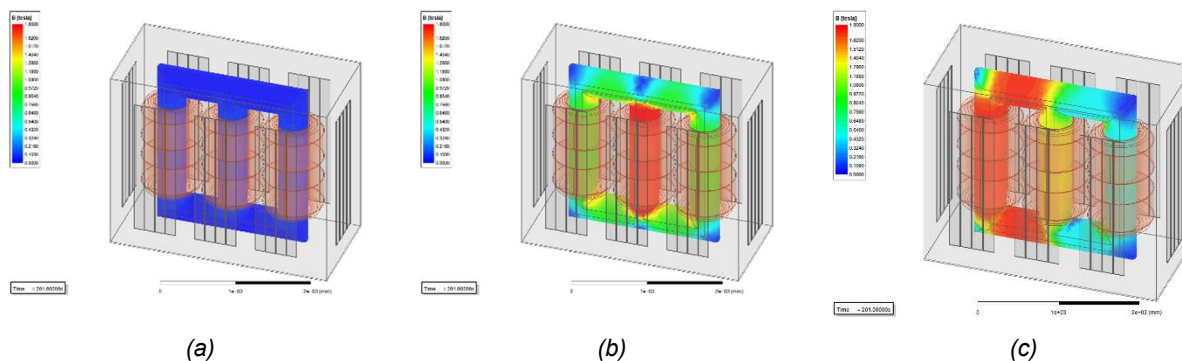




Figura 9 - Fluxo simulado circuito 1- (a) YN trifásico, (b) YN monofásico, (c) D monofásico.

Após realizada as simulações no grupo de ligação YNyn, foi possível observar que em todos os cenários os circuitos trifásicos propostos (4, 5, 6) apresentaram melhores resultados no tempo de estabilização das medições e tempo de desmagnetização dos enrolamentos. No grupo de ligação YNd apenas o circuito 4 apresentou melhoras em relação as medições monofásicas, conforme demonstrado na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados comparativos entre simulação e medição.

Circuito	Grupo de ligação	Simulação		Medições	
		Tempo de estabilização (s)	Tempo de desmagnetização (s)	Tempo de estabilização (s)	Tempo de desmagnetização (s)
1 (monofásico)	YNyn	37	33	25	22
2 (monofásico)	YNyn	24	41	30	26
3 (monofásico)	YNyn	43	27	40	25
4 (trifásico)	YNyn	21	6	25	6
5 (trifásico)	YNyn	19	3	30	9
6 (trifásico)	YNyn	39	8	40	8
1 (monofásico)	YNd	36	32	25	10
2 (monofásico)	YNd	44	24	25	12
3 (monofásico)	YNd	54	18	40	30
4 (trifásico)	YNd	32	9	35	9
5 (trifásico)	YNd	74	32	35	11
6 (trifásico)	YNd	149	17	60	31

Nas medições realizadas em laboratório, para o transformador configurado com ligação YNyn, os tempos de estabilização utilizando pelos métodos monofásico e trifásico foram similares, apresentando melhoras apenas no tempo de desmagnetização. As pequenas diferenças entre os resultados de simulação e ensaio podem ter ocorrido por conta das imprecisões naturais do método de simulação numérica ou também pelas simplificações empregadas tanto no modelo magnético (3D) do equipamento como pelo circuito de medição reproduzido.

Para a validação da hipótese dos caminhos de relutância de cada ensaio estarem influenciando os resultados das medições em laboratório, foram realizadas medições com todos os circuitos (monofásico e trifásico) em um transformador de maior porte (345 MVA). O método monofásico apresentou oscilações durante um maior período, resultando em um número menor de medições válidas em relação ao método trifásico, conforme ilustrado na Figura 10, confirmando os resultados das simulações do transformador de 30 MVA com grupo de ligação YNyn. Sendo assim, pode-se afirmar a aplicabilidade do método de medição proposto, além de evidenciar melhoras em relação ao tempo de estabilização em transformadores com grupo de ligação YNyn com indutâncias mais significativas.

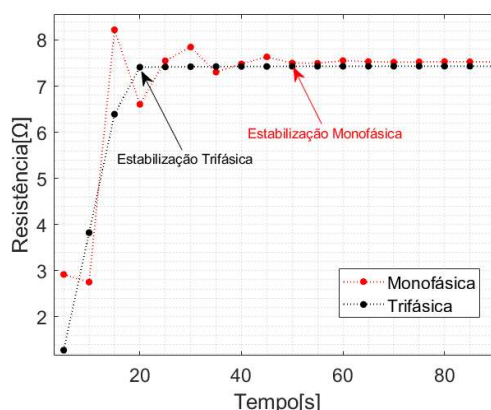


Figura 10 – Medição de resistência do transformador 350 MVA (circuitos 1 e 4).

Na Figura 11, Figura 12 e Figura 13, nota-se que as medições realizadas em laboratório apresentam valores semelhantes aos simulados, entretanto, algumas diferenças podem ser observadas como na Figura 11a, Figura 12a e Figura 13a, onde as medições monofásicas realizadas em laboratório estabilizaram antes da simulação. Na Figura

13a e Figura 13b os efeitos correspondentes ao acionamento da segunda fonte aparecem com menor intensidade nas medições do que nas simulações. Conforme supracitado, essas diferenças podem ocorrer devido a aproximações da curva de saturação do material utilizada na simulação ou ainda alguma simplificação da simulação nas questões envolvendo a montagem das chapas de aço magnético e os gaps provenientes do processo. Ainda, outro efeito desprezado pela simulação é a magnetização inicial do material magnético do núcleo por conta de medições e ensaios realizados previamente com o mesmo transformador.

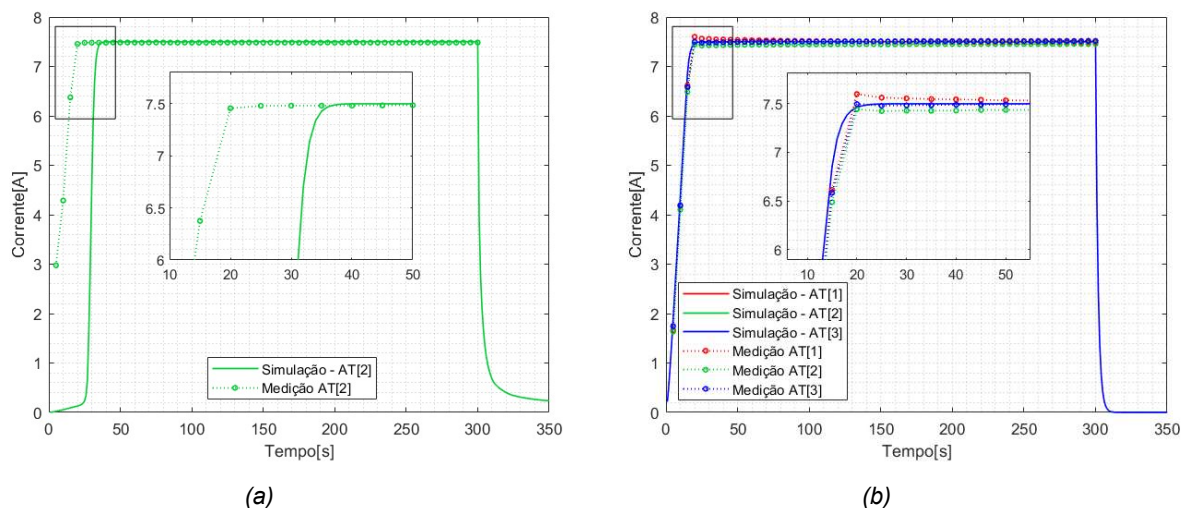


Figura 11 - Simulação x medição – (a) circuito 1, (b) circuito 4.

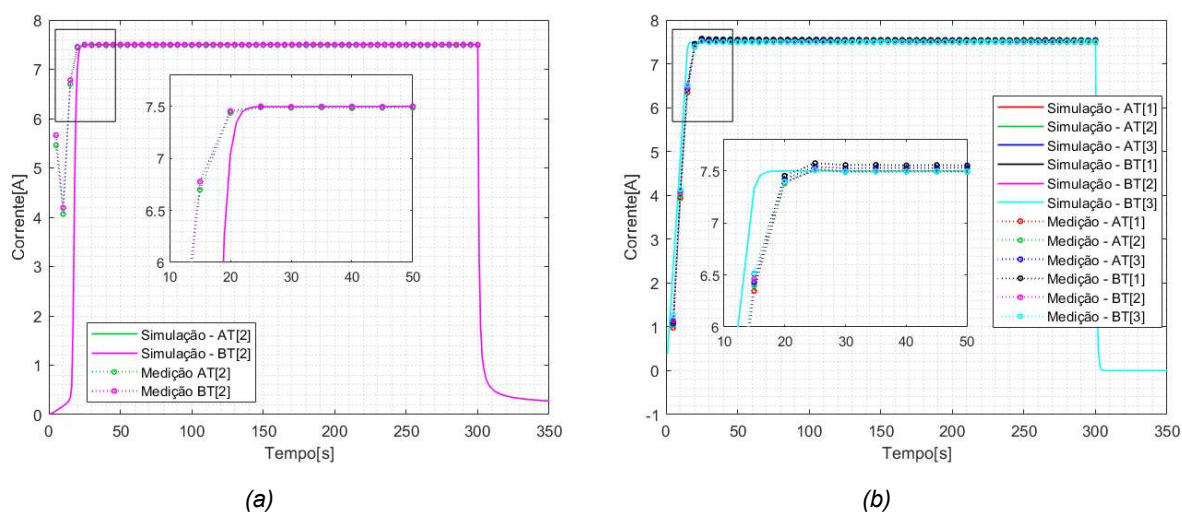


Figura 12 - Simulação x medição - (a) circuito 2, (b) circuito 5.



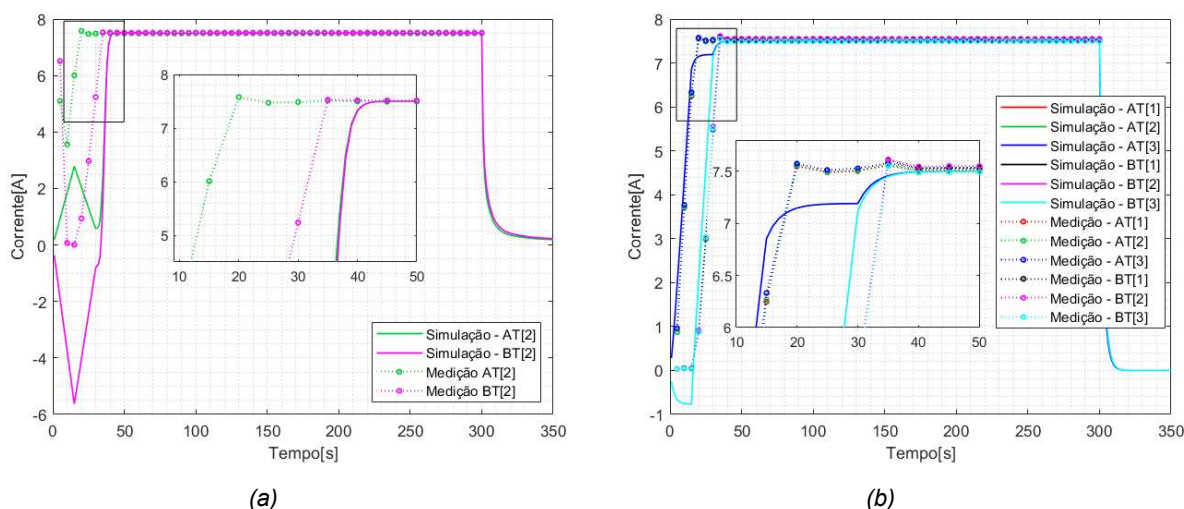


Figura 13 - Simulação x medição – (a) circuito 3, (b) circuito 6.

## 6 CONCLUSÕES

Os autores utilizaram técnicas de modelagem numérica em transformadores empregando excitação de corrente contínua com o objetivo de avaliar os comportamentos elétricos e magnéticos obtidos aplicando o método de medição utilizado atualmente (monofásico) e o novo método proposto (trifásico).

Por meio de medições realizadas em laboratório, foi possível validar a aplicabilidade do método de medição proposto, que pode ser feito em um menor tempo consequentemente aumentando a eficiência do processo laboratorial.

Referente ao grupo de ligação YNyn, os resultados obtidos se mostraram promissores. Além de validar a metodologia de ensaio proposta, foi possível identificar uma redução significativa no tempo de estabilização da resistência medida, possibilitando aquisição de maior número de pontos válidos em um mesmo período, trazendo uma determinação mais precisa da resistência e temperatura média no instante do desligamento do transformador.

Em relação ao grupo de ligação YNd, tanto nas simulações quanto nas medições, foi possível validar a aplicabilidade do método proposto, já que não trazem resultados errôneos. Porém, devido aos comportamentos magnéticos que permitem a circulação de fluxo magnético por caminho de baixa relutância apresentados pela aplicação da ligação em polaridades diferentes, este tipo de circuito leva um tempo maior para a estabilização do fluxo magnético e consequentemente da resistência medida.

Para aprimoramento do método proposto, os autores sugerem outras pesquisas sobre o assunto, sendo elas:

- Simulação da medição de resistências pelo método trifásico considerando os *gaps* de montagem e outras curvas de saturação do material;
- Avaliar a aplicabilidade da implantação de circuito resistivo para redução da constante de tempo  $\tau$  em transformadores com grupo de ligação YNd.

## 7 BIBLIOGRAFIA

- [1] International Electrotechnical Commission, *International Standard*, 2011.
- [2] Associação Brasileira de Normas Técnicas, *Norma Brasileira ABNT*, 2010.
- [3] Transformers Committee, *Standart Test Code for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulation Transformer*, 2017.
- [4] Cigré Brasil, *Guia de Manutenção para Transformadores de Potência*, 2013.
- [5] W. Ries, *Transformadores - Fundamentos para o projeto e cálculo*, Porto Alegre: Edipucrs, 2007.
- [6] O. Iaronka, "Projeto, análise e simulação de blindagem eletromagnética para tanque de transformador de potência sob diferentes condições de carga.,” *VII Workspot Cigré*, 2016.

- [7] L. F. d. Oliveira, "Modelo equivalente para avaliação das características de excitação e saturação de transformadores e reatores," *VIII Workspost Cigré*, 2016.

#### DADOS BIOGRÁFICOS



Bernard da Silva nasceu em Imbituba-SC em 1995. Graduiu-se em Engenharia Elétrica no Centro Universitário Leonardo da Vinci de Guaramirim-SC (FAMEG) em 2019. Mestrando na Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) na área de Automação da Manufatura em Engenharia Elétrica. Trabalha na WEG desde 2013, onde passou pelas áreas de Controle da Qualidade entre 2013 a 2020, atuando na automação de laboratórios de ensaios e no desenvolvimento de sistemas de medição e desde 2020 atua na área de pesquisa e desenvolvimento da WEG T&D, com foco em desenvolvimento de softwares para automação de processos e pesquisas relacionadas a produtos digitais.

#### (2) GUILHERME MASCHIO

Guilherme Maschio nasceu em Sananduva-RS, Brasil em 1997. Graduiu-se em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) em 2019. Mestrando pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) na área de Eletromagnetismo aplicado em Engenharia Elétrica no GRUCAD. Desde de 2019 trabalha na WEG - Unidade Transmissão e Distribuição no Setor PDI e Produtos Digitais de Transformadores de Potência. Exerce atividades de pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias para transformadores e trabalha na aplicação de ferramentas numéricas computacionais para análise e otimização do cálculo e projeto dielétrico, magnético e térmico de transformadores, reatores de potência, transformadores seco e chaves seccionadoras.

#### (3) LUIZ FERNANDO DE OLIVEIRA

Luiz Fernando de Oliveira nasceu em Blumenau-SC, Brasil em 1988. Graduiu-se em Engenharia Elétrica na Universidade Regional de Blumenau (FURB) em 2013 e é Mestre em Engenharia Elétrica na UFSC (GRUCAD) desde 2018. Trabalha na WEG T&D desde 2007, onde passou pelas áreas de produção e técnica, entre 2009 e 2013 trabalhou diretamente com cálculo e dimensionamento de transformadores e desde 2013 exerce atividades no departamento de pesquisa e desenvolvimento com foco em pesquisa tecnológica, simulações numéricas e desenvolvimento de softwares para engenharia.