



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

ESTUDO DE CASO COM APLICAÇÃO DE BLINDAGENS MAGNÉTICAS HORIZONTAIS EM AUTOTRANSFORMADOR DE 500 MVA E CLASSE 500 KV

**GUILHERME MASCHIO(1);ODIRLAN IARONKA(1);LUIZ FERNANDO DE OLIVEIRA(1);JOÃO PAULO VIEIRA(1)
WEG EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS S.A.(1)**

RESUMO

Transformadores de potência demandam uma análise criteriosa no quesito perdas adicionais em partes metálicas. O projeto exige cuidados específicos no controle de campos magnéticos para evitar o surgimento de pontos quentes nos anteparos metálicos, dentre eles, as paredes do tanque. Este trabalho apresenta um estudo de caso de um projeto que utilizou ferramentas de Simulações Numéricas tridimensionais baseadas no Método de Elementos Finitos para projetar um novo conceito de blindagem magnética horizontal para o tanque do transformador. Para a validação do trabalho no dimensionamento térmico, serão mostrados os resultados dos ensaios do próprio equipamento, trazendo termografias completas das laterais críticas.

Transformador de potência, simulação numérica, elementos finitos, blindagens magnéticas, termografia

1.0 INTRODUÇÃO

Os transformadores de potência são essenciais para o funcionamento do sistema elétrico brasileiro, e sua robustez no funcionamento é imprescindível para garantir a continuidade no fornecimento de energia. A garantia de uma operação adequada de um transformador durante toda a sua vida útil é obtida quando o equipamento é corretamente dimensionado, abrangendo as características do projeto elétrico, térmico e mecânico e, ainda, quando se utilizam materiais de qualidade adequada com os devidos tratamentos durante o processo de fabricação.

Neste trabalho, será apresentado um estudo de caso que discorre a respeito do dimensionamento magnético e térmico de um transformador de grande potência (500 MVA) e alta tensão (500 kV), que representa um ativo muito importante na região onde será instalado. Para este projeto, foi feito o uso de simulações numéricas computacionais através do método de elementos finitos para o cálculo dos campos magnéticos intrínsecos e limites térmicos, seguindo os critérios estabelecidos por norma.

Ainda, devido às características físicas e construtivas do tanque deste equipamento, foi necessário implementar uma nova metodologia de blindagens magnéticas no tanque do transformador para o controle do fluxo disperso natural dos enrolamentos. Essa blindagem, no lado de alta tensão, foi projetada para operação na orientação horizontal, percorrendo a lateral inteira do transformador, abrangendo as três fases do mesmo. Nas demais laterais, por conta de não existir impedimentos, a blindagem foi mantida no formato vertical padrão de montagem, proporcionando um transformador que utiliza ambos os conceitos de aplicação de blindagem.

Por fim, o transformador projetado com auxílio das simulações numéricas foi construído, vencendo os diversos desafios de montagem (principalmente em função do tamanho do equipamento), e foi submetido aos ensaios de liberação final de elevação de temperatura. Para a validação das simulações e da nova blindagem horizontal aplicada, algumas termografias da lateral sob estudo foram extraídas e serão expostas neste trabalho, mostrando a coerência dos resultados de simulação em comparação direta com as temperaturas obtidas no ensaio, ratificando a metodologia de análise aplicada neste projeto e garantindo a compreensão completa dos fenômenos físicos eletromagnéticos envolvidos no equipamento fabricado.

2.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Com o objetivo de esclarecer e descrever alguns dos principais fundamentos do eletromagnetismo que baseiam o entendimento deste trabalho, uma breve revisão bibliográfica trazendo os tópicos fundamentais foi elaborada. Primeiramente, é necessário abordar as equações de Maxwell que são adequadas para o estudo de casos considerados de baixa frequência (50 Hz ou 60 Hz), que desconsideram os fatores de corrente de deslocamento, necessários apenas para a caracterização de sinais de alta frequência (acima de 1000 Hz). Nesse contexto, as equações de Maxwell simplificadas referentes ao estudo de equipamentos que operam na frequência industrial são expressas abaixo [1].

Além destas equações, é importante referenciar também as relações constitutivas (equações 5,6 e 7) e a relação entre fluxo magnético Φ [Wb] e intensidade de campo magnético \mathbf{B} (8) [2].

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{d\mathbf{B}}{dt} \quad (1) \quad \mathbf{J} = \sigma \cdot \mathbf{E} \quad (5)$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} \quad (2) \quad \mathbf{B} = \mu \cdot \mathbf{H} \quad (6)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad (3) \quad \mathbf{D} = \varepsilon \cdot \mathbf{E} \quad (7)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho \quad (4) \quad \Phi = \mathbf{B} \cdot \mathbf{S} \quad (8)$$

Onde:

μ = permeabilidade do material (H/m)

ε = permissividade do material (F/m)

σ = condutividade (Ω /m).

Com base nestas equações, serão feitos alguns comentários sobre a aplicação das mesmas no funcionamento dos transformadores, tendo em vista os objetivos deste trabalho.

Derivado da equação (2), na forma integral, podemos descrever a Lei de Ampère, conforme equação (8). De forma simplificada, esta equação descreve que, a integral de \mathbf{H} sobre qualquer caminho fechado $d\mathbf{l}$ resulta na corrente total que cruza pela área da superfície circundada pelo caminho amperiano. Ou seja, um fio condutor de corrente \mathbf{J} ocasionará em seu entorno um campo magnético \mathbf{H} proporcional ao valor desta corrente [2].

$$\oint_c \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = \iint_s (\mathbf{J} \cdot \mathbf{n}) dS \quad (9)$$

Do ponto de vista de transformadores de potência, por conta das altas correntes circulantes nos enrolamentos e cabos de conexão, o campo magnético correspondente causa um fluxo magnético elevado no interior da máquina, sendo representado matematicamente pelas equações 6,8 e 9 [1] [2] [3].

O uso de materiais ferromagnéticos que apresentam alta permeabilidade magnética favorece que uma grande parte desta energia, dada na forma de fluxo magnético seja conduzida pelo núcleo do equipamento. Porém, nem todo o fluxo é concatenado entre as bobinas através do núcleo. Este fluxo não acoplado é conhecido também como fluxo de dispersão, ou fluxo disperso, e sua magnitude depende principalmente dos valores de potência e impedância do equipamento (dada em função das características construtivas da parte ativa). A impedância entre dois enrolamentos pode também ser entendida como uma medida do acoplamento entre eles [1].

Outra característica importante é que, como o formato construtivo das bobinas é normalmente cilíndrico com corrente no sentido azimutal, o campo magnético \mathbf{H} ou fluxo magnético (Φ) passa pelo interior destas bobinas. Por conta da equação de Maxwell (3), de forma simplificada, todo o campo magnético que “sai” da superfície superior do cilindro deve, necessariamente, “entrar” pela superfície inferior do mesmo [2]. Este caminho de “retorno” do fluxo magnético pode ocorrer pelo núcleo, pelo ar ou pelas ferragens e tanque [1] [4]. A porção deste fluxo magnético que circula pelas ferragens não laminadas (aço estrutural) pode ocasionar perdas elevadas que se traduzem em aumento local da temperatura, muitas vezes prejudicial ao correto funcionamento da máquina. Dependendo da potência e criticidade dos transformadores, é necessário condicionar este fluxo magnético de forma que não haja pontos quentes e consequente geração de gases e/ou deterioração dos sistemas isolantes [1] [3] [4].

2.1 Equipamento trifásico

Grande parte do sistema elétrico de potência é alimentado de forma trifásica, que vetorialmente pode ser representado por três fasores defasados de 120° entre si, conforme representado pela Figura 1. Uma peculiaridade deste modelo trifásico vetorial, que é um conceito importante para a concepção deste trabalho, é que a soma vetorial de 3 fasores equilibrados é nula, ou seja, em um nó, seja ele elétrico ou magnético, não haverá nenhuma corrente ou fluxo magnético resultante do somatório de fasores trifásicos equilibrados [5]. Este princípio é largamente utilizado tanto eletricamente nos modelos de conexão Y e Y_N , quanto magneticamente nos núcleos trifásicos de 3 colunas. Posteriormente será descrito como este princípio serviu também para a definição de blindagens magnéticas no transformador sob estudo.

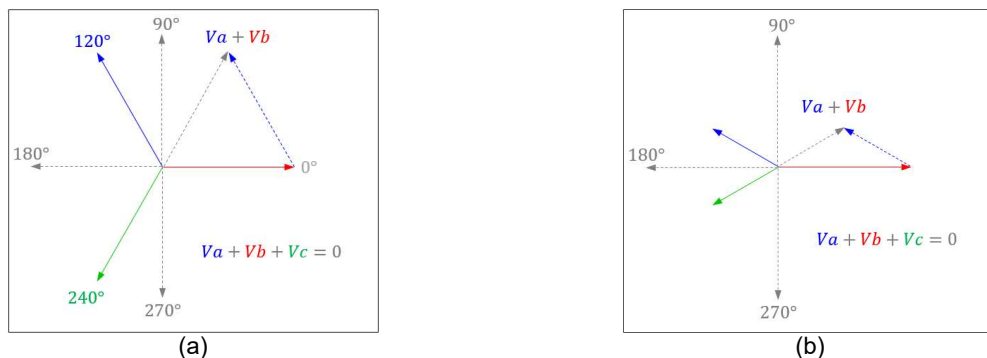


Figura 1 – Exemplo de somatórios vetoriais nulos: (a) sistema trifásico equilibrado e (b) sistema arbitrário

2.2 Saturação do material magnético do núcleo

Os aços magnéticos de alta permeabilidade apresentam uma curva de saturação que pode ser descrita como a capacidade do material de “conduzir” fluxo magnético sem alterar suas características magnéticas, ou seja, quanto mais fluxo magnético estiver percorrendo o material, mais “saturado” este material ficará, até chegar ao ponto do material perder por completo suas características magnéticas, apresentando permeabilidade relativa tão baixa quanto materiais não magnéticos ($\mu_r = 1$) [6]. Essa curva de saturação é específica para cada material e, neste trabalho, a curva anisotrópica utilizada nos modelos de simulação é apresentada na Figura 2, que é apropriada para os materiais utilizados na fabricação dos transformadores objeto deste estudo.

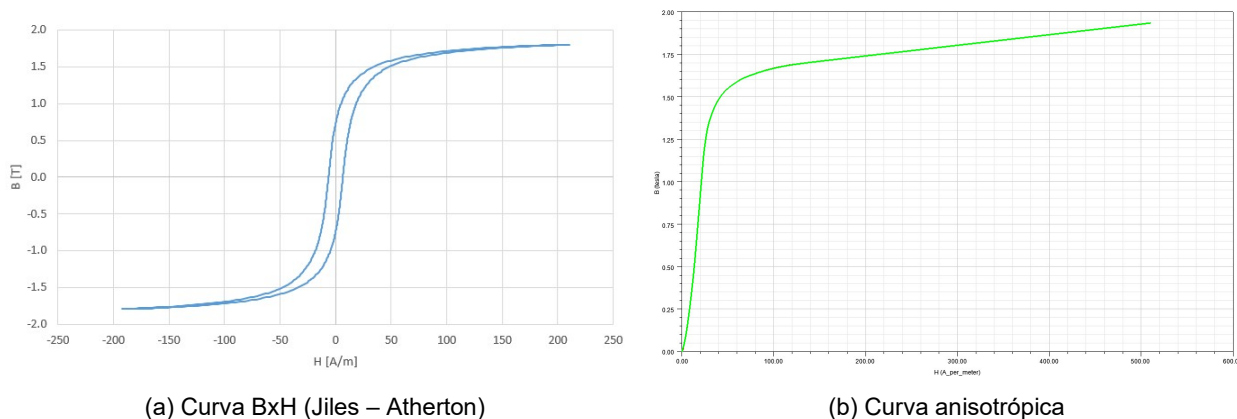


Figura 2 – Curva de saturação do material

2.3 Requisitos normativos

Do ponto de vista de requisitos normativos, principalmente por conta do custo envolvido com manutenção e prezando a conservação dos equipamentos, existem normas que definem limites térmicos a serem obedecidos. A norma brasileira com estes requisitos é a NBR 5356 – 7, na tabela 4, enquanto a norma a nível internacional é a IEC 60076 – 7, na sua tabela 2. Ambas as normas são aproximadamente convergentes quanto às temperaturas máximas admitidas em cada região dos equipamentos, sendo as principais regiões sumarizadas na Tabela 1 para os casos de carga nominal e sobrecargas de emergência previstas por norma, onde as temperaturas são mais elevadas [7] [8].

Tabela 1 - Temperaturas máximas normativas para transformadores de grande potência

	Ciclo normal de carregamento	Emergência de longa duração	Emergência de curta duração
Topo do óleo	105 [°C]	115 [°C]	115 [°C]
Enrolamento e contato com celulose	120 [°C]	140 [°C]	160 [°C]
Demais partes metálicas	140 [°C]	160 [°C]	180 [°C]

2.4 Blindagens

Conforme supracitado na seção 2.0, o fluxo disperso dos enrolamentos ou dos cabos de conexão podem ocasionar aquecimento local de determinadas regiões. Para o controle destes pontos, existem algumas formas de “proteger” os componentes sujeitos à incidência do campo magnético, dentre elas a colocação de blindagens eletromagnéticas. Essas blindagens podem ser condutoras, fabricadas em alumínio ou em cobre, ou blindagens de aço magnético de alta permeabilidade. Conforme descrito em [4], ambas as metodologias de blindagem magnética podem, inclusive, ser usadas simultaneamente, dependendo da característica do campo magnético nas regiões de interesse [1] [3] [4].

3.0 ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DA MÁQUINA

Conforme a proposta deste trabalho, será apresentado um estudo de caso onde foi necessário a aplicação de blindagens alocadas horizontalmente no tanque, apresentando um padrão diferente do tipicamente mencionado na literatura e difundido na indústria de transformadores. A especificação técnica básica do transformador sob análise é apresentada na Tabela 2, para fins de dimensionamento. Algumas das informações foram suprimidas por possuírem cunho tecnológico e são reservadas estritamente ao fabricante e cliente do equipamento.

Tabela 2 - Especificação técnica do transformador estudado

Tipo do equipamento	Autotransformador trifásico
Potência passante	500 MVA

Classe de tensão	500 kV
Regulação	- 15%
Impedância máxima	15,7 %
Sobrecarga máxima	1,3 p.u.
Frequência de operação	50 Hz

4.0 SIMULAÇÃO NUMÉRICA

Para todas as análises de campos magnéticos desenvolvidas neste documento, foi utilizado o *software* de simulações numéricas Ansys Electronics® que usa o método de elementos finitos em três dimensões (3D). Para os objetivos de projeto deste equipamento, foi usado o módulo de corrente induzidas em regime permanente, que resolve as equações de Maxwell no domínio da frequência industrial da máquina, neste caso, 50 Hz [3]. Em um primeiro momento, o modelamento 3D do equipamento foi feito com base na tecnologia da fabricante, incluindo os detalhes do tanque e a proposta de blindagens.

4.1 Definição das blindagens no tanque

Tanto pelos cálculos analíticos realizados como por algumas simulações de verificação (2D), foi observado a necessidade da inserção de blindagens eletromagnéticas no tanque do transformador. Conforme padrão de utilização de blindagens para mitigação de perdas no tanque, uma primeira tentativa foi a colocação de blindagens magnéticas verticais em frente aos três enrolamentos do equipamento. Porém, na lateral onde estão posicionadas as buchas de alta tensão, não é possível inserir as blindagens verticais em frente ao enrolamento devido a um vão circular (orifício) que é utilizado para a saída da linha de alta tensão.

Foram executadas várias simulações numéricas com o objetivo de validar uma forma de montagem dessas blindagens verticais. O principal problema se localizou na lateral de AT por conta dos orifícios das linhas de alta tensão, pois não foi possível garantir um caminho contínuo de material magnético que protegesse o fluxo disperso de atingir o tanque. A descontinuidade desse caminho magnético, causadas por *gaps* entre pacotes de blindagem, faz com que uma parcela do fluxo conduzido por estas blindagens magnéticas seja direcionado para o tanque, causando perdas pontualmente concentradas, dificilmente refrigeradas, que se transcreveriam como pontos quentes [3]. Por conta da grande potência deste transformador, o fluxo disperso conduzido pelas blindagens é alto, e, portanto, esses *gaps* ocasionariam pontos quentes de elevadas magnitudes, acima dos limites normativos.

Durante o projeto deste transformador, uma das hipóteses discutidas foi a construção de blindagens magnéticas no formato horizontal, com comprimento abrangendo as três fases do transformador, conforme aplicado em [9] e [10]. Essa situação seria possível uma vez que a localização ideal das blindagens horizontais está fisicamente fora da região dos orifícios de saída das linhas de alta tensão, ou seja, seria possível colocar chapas de material magnético sem recortes, ou *gaps*, fornecendo um caminho magnético contínuo na posição adequada.

A blindagem horizontal funciona de forma diferente das blindagens verticais. As blindagens verticais direcionam o fluxo disperso da cabeceira superior para a cabeceira inferior da mesma bobina, enquanto a blindagem horizontal fornece um caminho de baixa relutância para que o fluxo disperso de uma fase se anule com o fluxo disperso das outras fases defasados em $+120^\circ$ e -120° , de modo semelhante ao funcionamento da culatra do próprio núcleo trifásico sem colunas de retorno [9]. Por conta disso, a blindagem no formato horizontal não pode ser aplicada em equipamentos monofásicos, uma vez que não haverá o “caminho de retorno” mencionado (que também pode ser interpretado como cancelamento). Em resumo, as blindagens horizontais podem ser utilizadas nas laterais do tanque onde o somatório do fluxo disperso das três fases seja vetorialmente nulo.

Neste estudo de caso, o transformador em questão possui um núcleo de três colunas, com característica de balanceamento das correntes e fluxos magnéticos trifásicos, e, portanto, foi possível fazer a aplicação de blindagens horizontais na lateral de alta tensão, onde a construção de blindagens verticais seria inviável e insegura. As outras laterais que também necessitavam de blindagens magnéticas e havia possibilidade da instalação do padrão vertical, foram executadas com pacotes de aço magnético verticais, pois é de mais fácil instalação durante o processo de fabricação do transformador [9]. Após a definição das localizações de cada pacote de blindagem, a simulação foi conduzida de forma a definir a espessura dos pacotes para que o material seja mantido fora da zona de saturação. A montagem final do equipamento, com pacotes verticais nas laterais de BT e monofásicas e pacotes horizontais na lateral de AT, é apresentada na Figura 3, com detalhamento do modelo do tanque conforme projeto final do equipamento.

4.2 Montagem e projeto mecânico

A proposta de montagem das blindagens horizontais na lateral de AT foi avaliada em conjunto com o projeto mecânico levando em conta o processo fabril, onde foram definidas algumas diretrizes com relação à montagem dos pacotes de blindagem. Por conta das dimensões do equipamento, os pacotes horizontais possuem um comprimento elevado, com cerca de 6 metros, complicando o processo de movimentação e instalação dos mesmos. Nesse sentido, de acordo com o processo de fabricação, foi definido que os pacotes seriam particionados em 3 segmentos, e a emenda dos mesmos na parede do tanque será feita conforme padrão de empilhamento convencional, largamente empregado nos transformadores de potência [1].

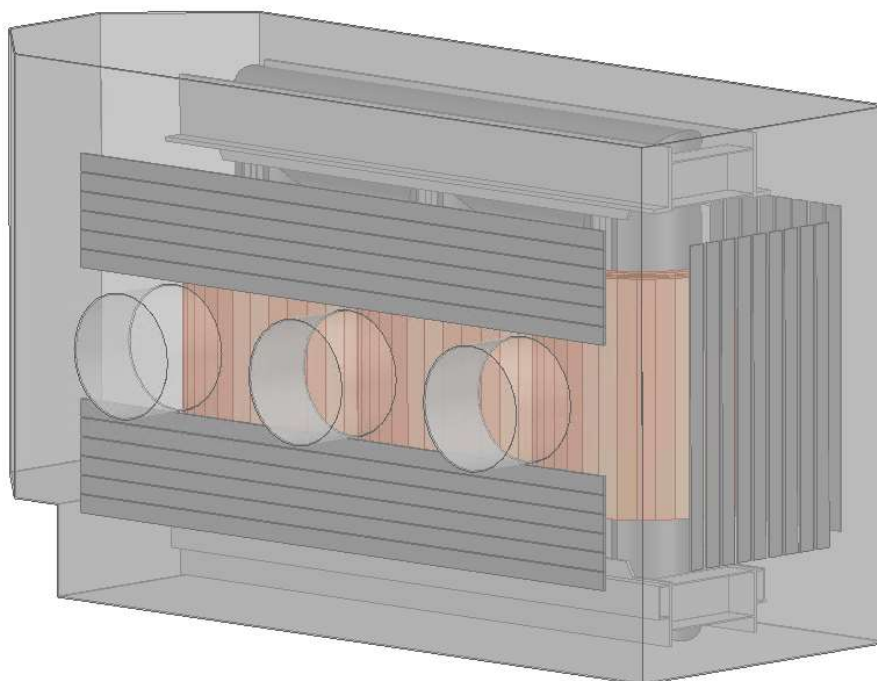


Figura 3 – Modelo 3D simulado do transformador com montagem final de blindagens

4.3 Resultados da simulação

Este modelo foi simulado considerando as maiores correntes de sobrecarga de emergência, onde foram dimensionadas as temperaturas máximas conforme normas supracitadas na seção 2.3. Porém, neste trabalho, para fins de comparação do modelo de blindagem horizontal, serão apresentados os resultados da simulação com a mesma carga que o equipamento foi ensaiado, seguindo as mesmas temperaturas e correntes, possibilitando a comparação direta dos resultados. Além disso, de acordo com o objetivo principal do trabalho, um maior foco será empregado na lateral de AT com blindagens horizontais.

Na Figura 4 a seguir é mostrada a densidade de fluxo magnético (\mathbf{B}) nos pacotes de blindagem para a carga do ensaio, enquanto a Figura 5 mostra os vetores de direção do campo magnético na lateral da blindagem horizontal. A Figura 6 apresenta as perdas parasitas no lado AT do tanque devido ao fluxo magnético incidente e a Figura 7 mostra a elevação de temperatura causada pelas perdas magnética. Essa elevação de temperatura deve ser somada à temperatura local do óleo para a obtenção da temperatura absoluta.

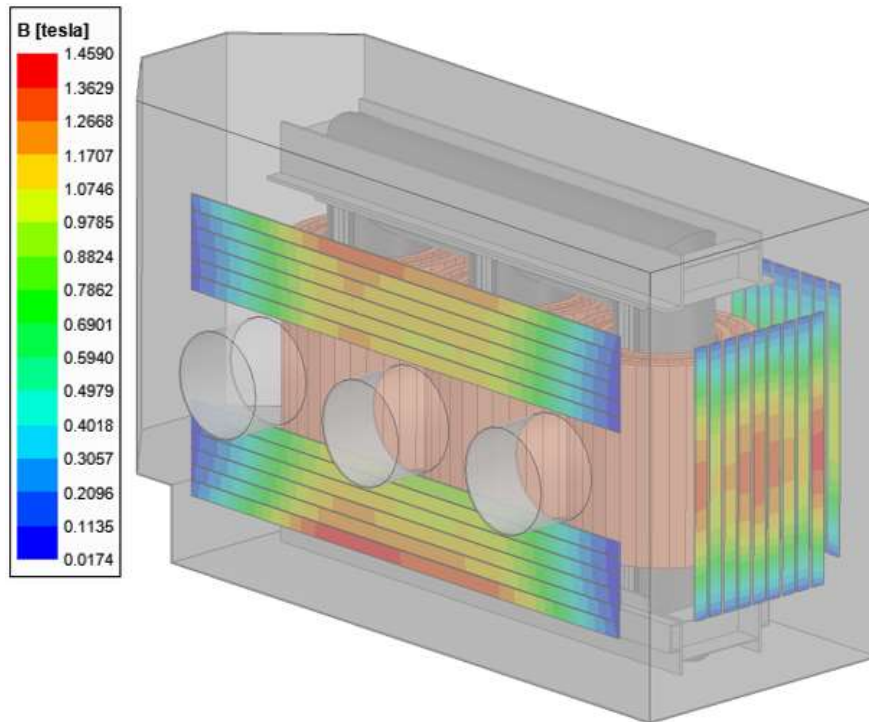


Figura 4 – Densidade de fluxo magnético (B) nos pacotes de blindagem magnética

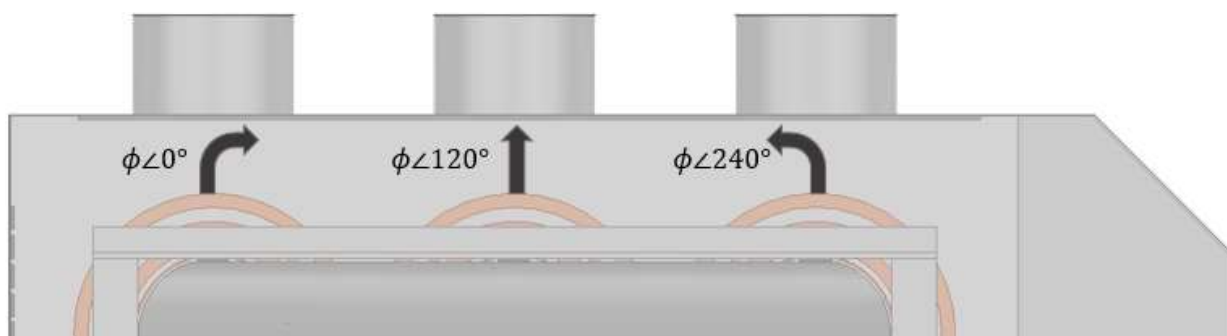


Figura 5 – Direção do fluxo magnético (ϕ) na lateral da blindagem horizontal

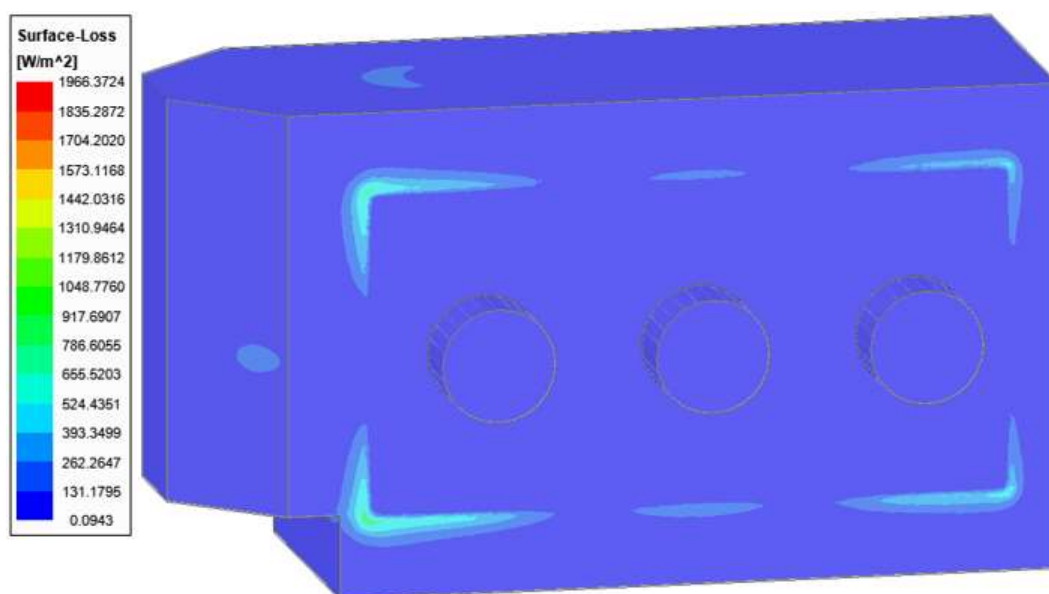


Figura 6 – Densidade de perdas parasitas no tanque na lateral com blindagem horizontal

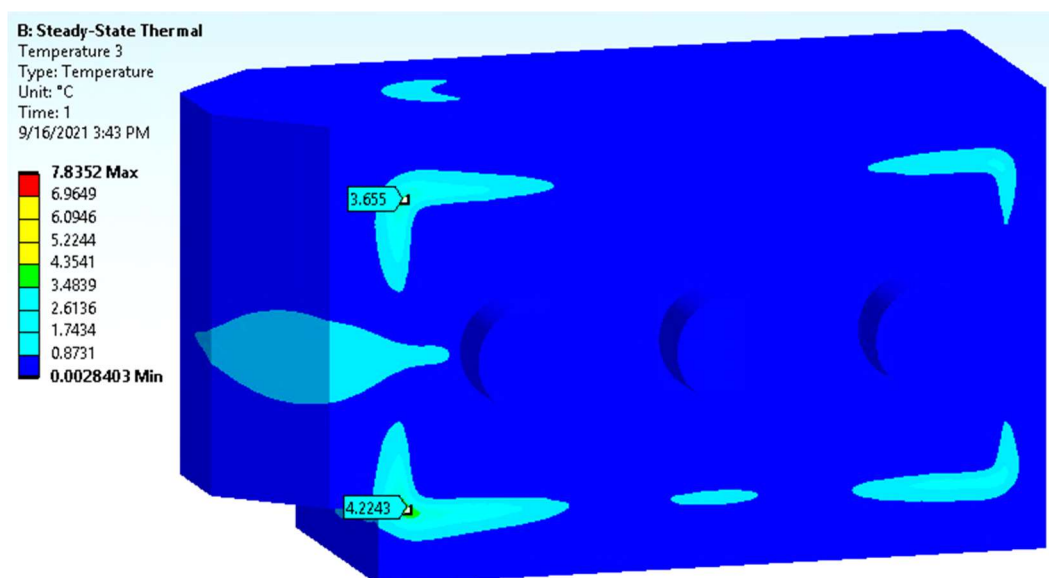


Figura 7 – Elevação de temperatura simulada no tanque na lateral com blindagem horizontal

5.0 ENSAIOS

O transformador, com o conceito de blindagens proposto neste trabalho, foi construído e submetido ao ensaio de elevação de temperatura. Este ensaio foi realizado no equipamento de acordo com requisitos normativos, com

carga nominal em temperatura ambiente de 25°C. No momento do ensaio, após a estabilização das temperaturas de óleo, foram capturadas algumas termografias da lateral do tanque sob estudo, apresentada na Figura 8, como método de comprovação do funcionamento das blindagens horizontais adotadas. Para fim de entendimento de escala e dimensões, uma foto real com vista desta lateral do transformador é apresentada na Figura 9.

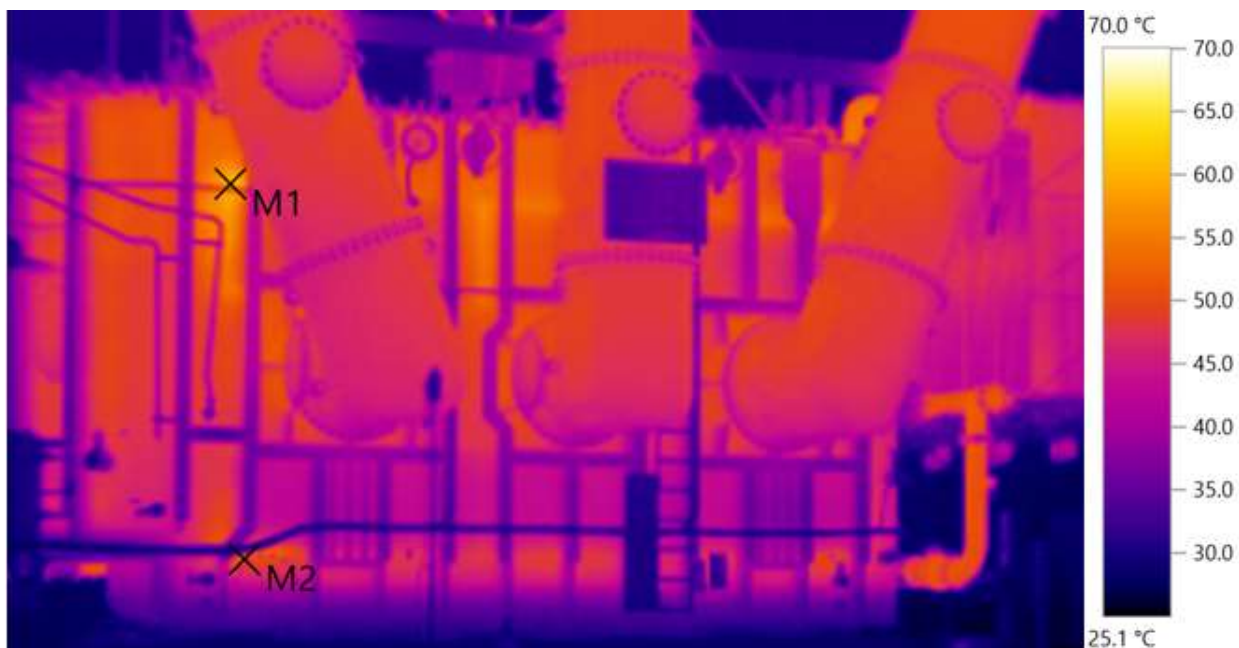


Figura 8 – Termografia para ensaio do transformador sob carga nominal



Figura 9 – Foto real da lateral do transformador construído e ensaiado

5.1 Comparativo com as simulações

Observou-se uma adequada concordância dos resultados do ensaio com os resultados da simulação, que serviram como validação tanto do modelo de blindagem aplicado como da metodologia de simulação numérica. O comparativo entre as temperaturas simuladas e calculadas, bem como as temperaturas totais estimadas é mostrado na Tabela 3, e também pode ser observado visualmente no comparativo entre a Figura 7 e a Figura 8.

Tabela 3 – Comparativo entre temperaturas de simulação e ensaio

	Ensaio*	Simulação**	Erro
Temperatura no ponto M1 [°C]	60,7	$52,8 + 3,6 = 56,4$	- 7%
Temperatura no ponto M2 [°C]	51,2	$45,1 + 4,2 = 49,3$	- 3,7%

* Temperatura medida pela termografia

**Temperatura do óleo calculada pela média da temperatura nos arredores dos pontos referentes

O cálculo da temperatura absoluta da simulação foi feito pela soma da elevação de temperatura simulada com a temperatura de cada local do óleo medida no ensaio. Na comparação direta, foram observados erros menores que 10% entre simulação e ensaio, que é bastante satisfatório como parâmetro de projeto térmico. Este transformador foi aprovado nos ensaios térmicos sem nenhum problema de aquecimento ou geração de gases, garantindo que foi executado um projeto magnético e térmico adequado à potência da máquina.

6.0 CONCLUSÕES

A aprovação do autotransformador em todos os ensaios normativos atesta que foi executado um projeto adequado para as peculiaridades da máquina. Esta validação está alinhada com os resultados das termografias dos ensaios de aquecimento realizados, as quais mostraram claramente o funcionamento correto das blindagens magnéticas aplicadas no tanque para mitigação de perdas e aquecimento, não somente na lateral de alta tensão na orientação horizontal, mas também nas demais laterais do tanque na direção vertical. Os resultados satisfatórios dos ensaios, incluindo a análise de gases dissolvidos no óleo, validam também o projeto térmico das ferragens de fixação do núcleo e do tanque na região da saída de baixa tensão (alta corrente).

Este projeto completo foi executado com apoio de simulações numéricas computacionais, que é utilizado nas indústrias de fabricação de equipamentos elétricos como uma ferramenta fundamental da engenharia, trazendo resultados quantitativos e qualitativos bastante avançados para a compreensão dos fenômenos físicos eletromagnéticos e térmicos envolvidos nos mais diversos transformadores fabricados, possibilitando a execução de projetos mais confiáveis, robustos, otimizados e com preço competitivo.

7.0 REFERÊNCIAS

- [1] S. Kulkarni and S. Khaparde, *Transformer Engineering: Design, Technology and Diagnostics*, CRC Press, 2013.
- [2] J. P. A. Bastos, *Eletromagnetismo para engenharia: estática e quase estática*, Florianópolis: UFSC, 2008.
- [3] S. Kulkarni and S. Khaparde, "Stray Loss Evaluation in Power Transformers - A Review," in *IEEE Power Engineering Society Winter Meeting*, Singapore, 2000.
- [4] O. Iaronka, L. F. d. Oliveira e D. F. Harmel, "Utilização do método de elementos finitos para projeto eletromagnético de transformadores de potência em condições de sobrecarga conforme NBR5356-7," *XXIV SNPTEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica*, 2017.
- [5] P. P. Duran, C. A. Mariño e X. M. L. Fernandez, "Transformer Tertiary Stabilizing Windings. Part II: Overheating Hazard on Tank Walls," *2012 XXth International Conference on Electrical Machines*, 2012.
- [6] L. F. d. Oliveira, O. Iaronka, G. Semiano e S. Montenegro, "Modelo equivalente para avaliação das características de excitação e saturação de transformadores e reatores," *International Workshop on Power Transformers, Equipment, Substations and Materials*, 2016.
- [7] Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, NBR 5356-7 - Transformadores de potência: Guia de carregamento para transformadores imersos em líquido isolante, 2017.
- [8] International Electrotechnical Commission - IEC, IEC 60076 -7 Power Transformers: Loading guide for mineral-oil-immersed power transformers, 2018.
- [9] M. Moghaddami, A. I. Sarwat e F. d. Leon, "Reduction of Stray Loss in Power Transformers Using Horizontal Magnetic Wall Shunts," *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 53, 2017.
- [10] L. Strac, "Three-Phase Shunts for Stray Magnetic Field," *Transformer Research and Asset Management*, 2017.

DADOS BIOGRÁFICOS



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.

- (2) ODIRLAN IARONKA
 Odirlan Iaronka nasceu em Casca-RS, Brasil em 1990. Graduiu-se em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) em 2014. Mestre pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) na área de Eletromagnetismo aplicado em Engenharia Elétrica no GRUCAD em 2019. Desde de 2014 trabalha na WEG - Unidade Transmissão e Distribuição no Setor de Cálculo de Transformadores de Potência. Desempenha também atividades de análise de falhas em equipamentos, pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias para transformadores e aplicação de ferramentas numéricas computacionais para análise e otimização do cálculo e projeto dielétrico, magnético e térmico de transformadores e reatores de potência.
- (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.
- (4) JOÃO PAULO VIEIRA
 Nasceu em Blumenau/SC em 1997. Graduiu-se em Engenharia Elétrica na Universidade Regional de Blumenau (FURB) em 2020 e cursa Mestrado em Engenharia Elétrica na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC - GRUCAD). Trabalha na WEG T&D desde 2016, onde iniciou como calculista de transformadores a seco, passando então para cálculo de transformadores imersos em óleo. Atualmente executa atividades no departamento de pesquisa, desenvolvimento com foco em simulações numéricas, software para engenharia e desenvolvimentos de novos produtos.