



**Grupo de Estudo de Transformadores, Reatores, Materiais e Tecnologias Emergentes-GTM**

**COMPARAÇÃO ENTRE MODELO NUMÉRICO DETALHADO E SIMPLIFICADO DO ENROLAMENTO DE UM TRANSFORMADOR DE POTÊNCIA PARA DETERMINAÇÃO DAS ELEVAÇÕES DE TEMPERATURA INTERNAS**

**LEONARDO APARECIDO REIS BEDANI(1); JULIANO RICARDO DA SILVA(2); CAMILO ALEXANDRE FURLANETTO(2); CHRISTIANO WENDT DOS SANTOS(3); UNIOESTE(1);IB(2);FPTI(3);**

**RESUMO**

A elevação de temperatura em enrolamentos de transformadores causam diminuição da eficiência do sistema de isolamento e limitação no carregamento do equipamento. A estimativa da temperatura por CFD é confiável, porém exige alto poder computacional e elevado tempo de simulação. Neste trabalho é avaliado a sensibilidade térmica para simplificações nos dutos de óleo para diminuir a exigência computacional e tempo de simulação. O fluxo de óleo do enrolamento estudado é direcionado, sendo aplicado e analisado a influência das simplificações propostas nos resultados com o caso original e confrontando-os com valores de ensaio realizados pelo fabricante do equipamento.

**PALAVRAS-CHAVE**

Revisão de projeto, simulações tridimensionais, CFD, transformador de potência.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

O transformador de potência é um dos componentes mais caros do sistema elétrico. Um dos fatos que encarecem o equipamento é o tempo de fabricação, que depende do projeto do transformador, e o tempo de substituição em caso de falhas. Essas características fazem com que haja interesse em estudar o seu princípio de funcionamento com objetivo de valorizar o investimento e reduzir o custo associado à sua operação [1].

A capacidade de transmissão de potência do transformador está relacionada com o seu desempenho térmico. Assim, a temperatura dos enrolamentos torna-se um parâmetro importante para determinar as condições de operação do equipamento e seu limite de carregamento. Logo, é fundamental quantificar as perdas que são dissipadas em forma de calor e as temperaturas internas, de modo a determinar a eficiência do sistema de resfriamento do equipamento e a vida útil do transformador para o auxílio na adoção de políticas de operação e manutenção preventivas.

A estimativa de temperatura em transformadores a óleo por métodos numéricos já é utilizada por [2], [3], [4] e [5], apresentando resultados confiáveis e precisos em projetos e auxiliando no monitoramento de transformadores. A dificuldade da aplicação de métodos numéricos para determinar os perfis de temperatura e velocidade de óleo em transformadores está na estrutura complexa 3D que exigem alto nível de detalhamento, podendo comprometer a capacidade de processamento disponível ou levando demasiado tempo para completar a simulação.

A sensibilidade das distribuições de temperatura no interior de um transformador pode ser investigada através de mudanças em parâmetros específicos no transformador, como modo de resfriamento, temperatura ambiente e eventos transitórios, tanto em operação nominal quando em sobrecarga, e na sequência compara os resultados obtidos pelas simulações com valores de referência. [6]. Desta forma, o trabalho tem como objetivo avaliar a

sensibilidade térmica do sistema de resfriamento do enrolamento tipo série de um autotransformador, por meio de simplificações geométricas no modelo térmico-hidráulico, com o intuito de criar métodos de simplificações ou mesmo a permanência de detalhes que garantam a realidade da operação.

## 2.0 - ANÁLISE DE SENSIBILIDADE GEOMETRICA

Os autotransformadores têm a mesma função que os transformadores convencionais, alteração dos níveis de tensão e corrente do sistema elétrico, entretanto diferem-se dos transformadores na forma construtiva dos seus enrolamentos, em que o enrolamento primário é conectado fisicamente com o enrolamento secundário. Essa modificação implica no aumento na capacidade de transferência de potência do equipamento em relação a um transformador de mesmo porte. Devido a essa característica, o autotransformador é uma opção mais econômica em relação ao equipamento convencional, sendo instalados em subestações quando exigido uma alta demanda de potência. Entretanto, o que limita a capacidade de carga, e conseqüentemente a vida útil, é a eficiência do equipamento em dissipar o calor gerado da sua parte ativa para o ambiente.

Um das maneiras de auxílio no desenvolvimento de projetos com a estimativa das temperaturas do óleo interno da parte ativa do transformador é a metodologia CFD (*Computer Fluids Dynamics*), pois é extremamente competente na resolução de problemas de engenharia, sendo capaz de lidar com grande número de equações, não linearidades e geometrias complexas. [7]

Entretanto, a complexidade do sistema de resfriamento dos enrolamentos de um transformador de grande porte necessita tanto de um elevado poder computacional quanto um grande tempo de processamento. Desta forma, é necessário utilizar simplificações no domínio de estudo para viabilizar as soluções dos modelos numéricos e realizar as análises do fluxo do óleo no interior do equipamento. Assim, este trabalho terá como estudo o circuito hidráulico do enrolamento de alta tensão do tipo disco, com o intuito de comparar os campos de velocidades e temperaturas para uma mesma geometria porém com diferentes detalhamentos e simplificações.

A metodologia aplicada para avaliar a sensibilidade térmica do sistema de resfriamento do enrolamento de alta tensão de um autotransformador segue o fluxograma ilustrado pela Figura 1. No fluxograma é apresentada a comparação entre três modelos geométricos, levando em consideração um modelo bem detalhado, chamado M-01, até o um modelo mais simplificado, chamado M-03.

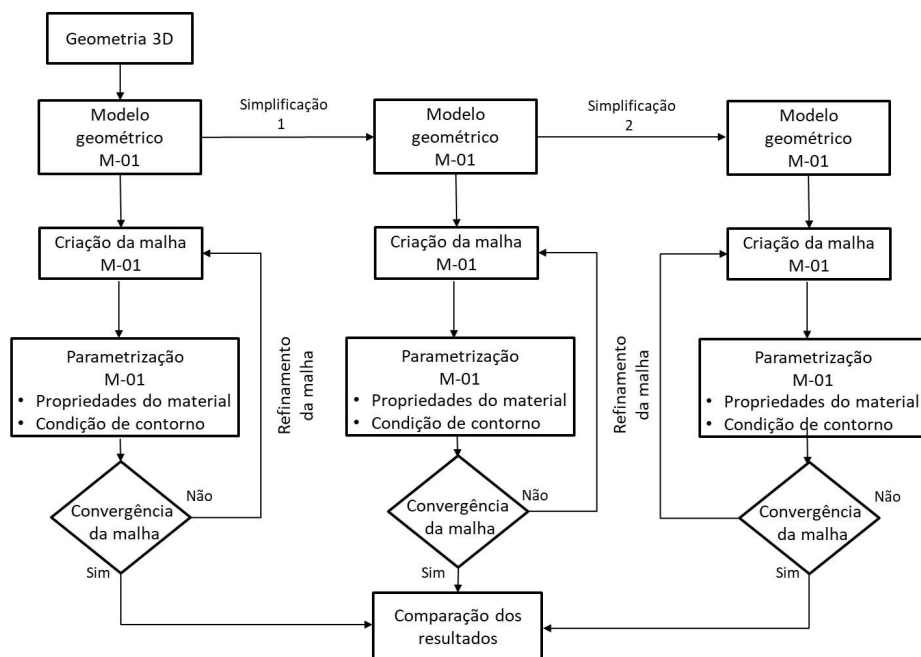


Figura 1: Fluxograma da metodologia

Segundo o fluxograma, o procedimento inicia-se com a criação da geometria, neste caso o enrolamento primário do tipo disco. Na sequência é retirado o negativo e obtido o modelo geométrico M-01. Posteriormente é aplicado simplificações no primeiro modelo, resultando nas geometrias M-02 e M-03.

A discretização dos domínios contínuos ocorrem de forma paralela, cuidando com que o número de elementos transversais aos dutos axiais e radiais sejam iguais nos três modelos para que possa avaliar o tempo de processamento e o poder computacional necessário para a obtenção de cada solução. Na sequência é parametrizado o modelo, aplicando as mesmas condições de contorno nos modelos e considerando o mesmo material refrigerante.

Em seguida realiza-se o estudo da independência da malha por meio do monitoramento da temperatura, pressão e velocidade. Caso a maior diferença entre essas variáveis seja menor que um erro especificado, admite-se que a malha computacional não influencia nos resultados. Com a solução das equações de massa, momento e de energia a partir da aplicação das condições de contorno apropriadas e convergência da malha, obtêm-se os perfis de velocidade e de temperatura ao longo do enrolamento nos três modelos para a comparação entre os casos e confrontá-los com os valores apresentados nos memoriais de cálculo do fabricante do equipamento.

A metodologia foi aplicada no enrolamento primário do autotransformador de potência ilustrado pela Figura 2. O autotransformador tem potência nominal de 470 MVA, frequência de operação 50 Hz, relações de tensão de 525/241.5/13.8 kV e com modos de arrefecimento ODAF e ODAN. O núcleo do equipamento é do tipo *core* e os enrolamentos são do tipo disco entrelaçado, tipo camada e tipo dupla hélice para os enrolamentos primário, secundário e terciário respectivamente.

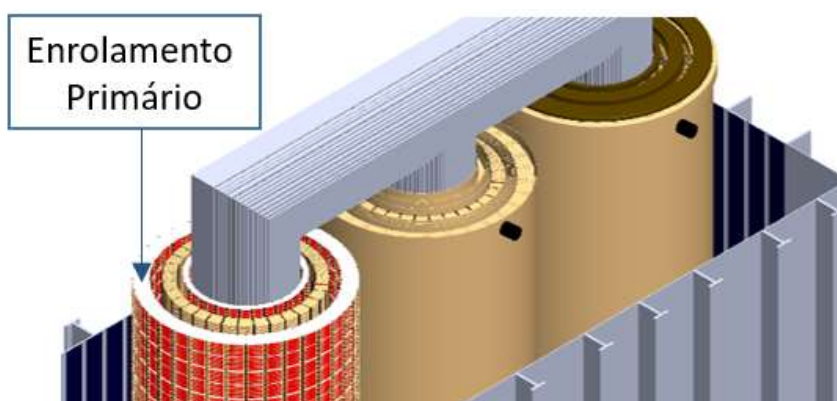


Figura 2 - Geometria do autotransformador.

O enrolamento primário tem 147 discos de 11 condutores que compõem o número de voltas necessária para a operação elétrica. Para aumentar a eficiência do sistema de refrigeração o enrolamento possui um fluxo de óleo direcionado na base da bobina, além de conter direcionadores de óleo a cada nove discos.

### 3.0 - DINÂMICA DOS FLUIDOS COMPUTACIONAL (CFD)

A metodologia utilizada neste trabalho foi o CFD por meio da ferramenta ANSYS – CFX. O método analisa sistemas que envolvem escoamento de fluidos, transferência de calor ou qualquer fenômeno relacionado com reações químicas, por meio da aplicação de métodos numéricos em mecânica dos fluidos e transferência de calor [8]. Este método tem como finalidade substituir um domínio contínuo por um domínio discreto, trocando as equações diferenciais parciais como lei da continuidade, conservação de momento e primeira lei da termodinâmica, na maioria das vezes sem solução analítica, em equações algébricas [9].

A metodologia CFD é separada em três etapas: O pré-processamento, processamento e pós-processamento. O pré-processamento está dividido na criação da geometria, criação da malha e parametrização do modelo numérico. O processamento representa o cálculo da solução e a terceira etapa, pós-processamento, representa a análise dos resultados: velocidade, pressão e temperatura ao longo do escoamento [8].

### 3.1 Modelagem geométrica tridimensional

O objetivo deste estudo é comparar os valores de temperatura no interior do enrolamento série do autotransformador entre três modelos térmico hidráulico. O enrolamento é do tipo disco com fluxo de óleo direcionado e possui 36 dutos de resfriamento no qual estão em paralelo, sendo estes, isolados pelos espaçadores axiais e radiais, conforme ilustrado na Figura 3

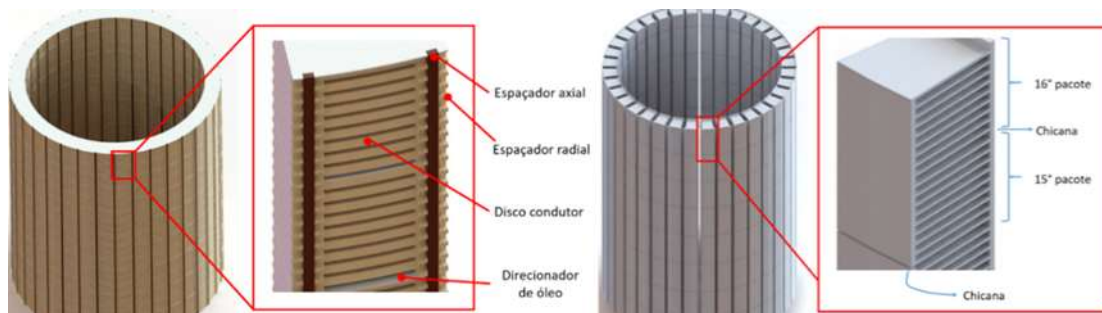


Figura 3 - (a) Enrolamento primário do autotransformador (b) Dutos de óleo do enrolamento M-01.

A geometria tridimensional foi desenvolvida em um ambiente CAD, sendo considerado os condutores de cobre, os papéis de isolamentos, direcionadores de óleo, os espaçadores axiais e radiais, como ilustrado na Figura 3(a).

O negativo do modelo numérico M-01 pode ser observado na Figura 3(b) a qual ilustra o percurso do óleo dentro do enrolamento primário nos dutos radiais, entre os discos do enrolamento e nos dutos axiais a qual o óleo percorre ao longo da bobina. Observa-se também na **Figura 3** Erro: Origem da referência não encontrada(b) que os espaçadores isolam os 36 dutos entre si, ou seja, não há movimentação do óleo entre esses dutos, permitindo assim a simulação de apenas um único duto de resfriamento com os 16 pacotes de condutores.

O segundo modelo numérico (M-02) apresenta simplificações em relação ao modelo M-01. No modelo M-02 ilustrado pela Figura 4(a) foi desconsiderado os dutos radiais entre os discos da bobina, entretanto foi considerado apenas um duto abaixo de cada direcionador de óleo com o intuito de garantir a alternância do fluxo óleo entre os dutos axiais interno e externo. E por fim, o modelo numérico M-03 desconsidera qualquer tipo de comunicação do caminho do óleo entre os dutos axiais da bobina. Este modelo pode ser observado na Figura 4(b).

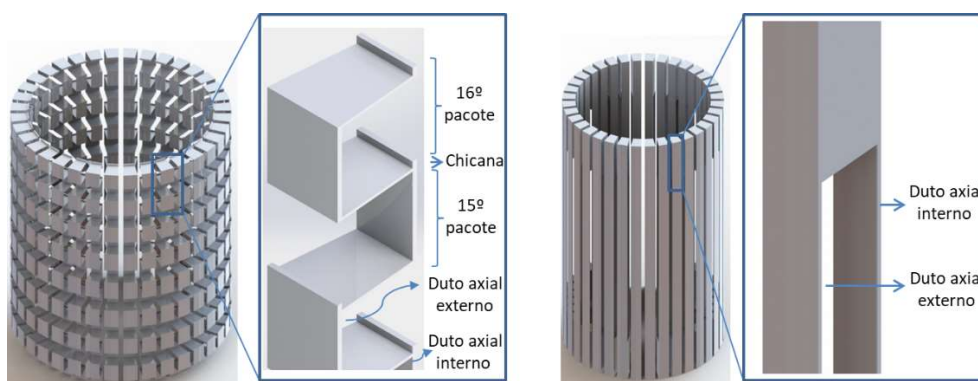


Figura 4 - (a) Simplificação nos canais de óleo do enrolamento primário M-02 (b) Simplificação nos dutos de óleo do enrolamento primário M-03.

### 3.2 Discretização do domínio (criação da malha)

A criação de uma malha computacional tem grande influência sobre a solução numérica das equações diferenciais envolvidas nos problemas de CFD. Uma malha bem construída é capaz de eliminar problemas de

instabilidade numérica e garantir a convergência dos resíduos na solução. A técnica CFD requer a subdivisão do domínio computacional em um número finito de pequenos volumes que se sobrepõem a geometria do domínio [10]. Nos três modelos foram utilizadas malha estruturada com elementos hexaédricos na discretização do domínio. Na Figura 5 Erro: Origem da referência não encontrada é ilustrado a malha computacional em ambos os modelos.

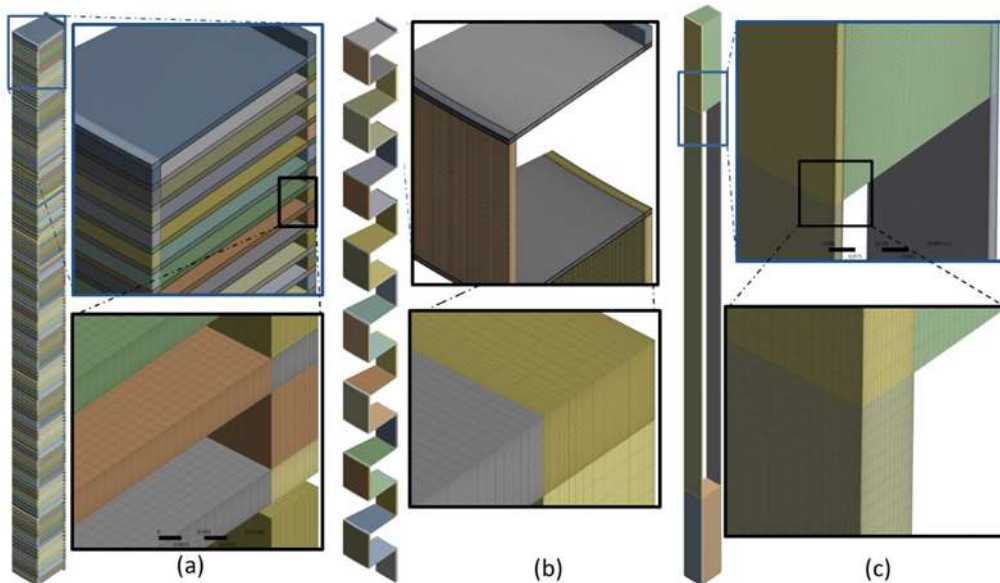


Figura 5 - (a) Malha computacional do Modelo M-01 (b) Modelo M-02 (c) Modelo M-03.

Realizou-se três simulações para cada modelo numérico com o intuito de avaliar a influência da discretização espacial sobre os resultados. A Tabela 1 apresenta o número de elementos para cada malha.

Tabela 1 - Estudo da independência da malha.

	Malha I	Malha II	Malha III
Duto vertical interno	15	20	25
Duto vertical externo	15	20	25
Duto horizontal	25	30	35
Nº de elementos do M-01	16.159.725	24.801.750	54.177.550
Nº de elementos do M-02	4.747.750	6.181.000	7.201.250
Nº de elementos do M-03	2.449.400	3.287.900	5.005.000

### 3.3 Configuração da física no modelo

Nos três modelos numéricos foi aplicada como condição de contorno na base da bobina uma vazão mássica de 0.502 kg/s de óleo mineral com uma temperatura de 39.5 °C. Na saída do domínio do óleo foi aplicada pressão absoluta de 132,376 kPa, a qual representa uma coluna de óleo de 3,208 metros. Além disso, os papéis de isolamento, os espaçadores axiais e radiais que restringem o óleo em um único duto foram considerados como parede.

#### 3.3.1 Perdas no autotransformador

A geração de energia térmica está exclusivamente relacionada com as perdas internas do equipamento. Essa porção de energia térmica considera somente a troca de calor entre os enrolamentos e o óleo por meio da convecção, não levando em consideração a transferência de calor pela radiação. Desta forma, não é

considerada a incidência de radiação solar na parte externa do tanque o qual está inserido a parte ativa do autotransformador. Essa simplificação é coerente devido ao teste de elevação de temperatura ser realizada em ambiente fechado, diminuindo a influência da radiação nos resultados obtidos.

Nos modelos térmicos foram considerados somente as perdas DC devido a passagem da corrente no enrolamento, ou seja, desconsiderou as perdas adicionais produzidas pelas correntes de Foucault nos condutores da bobina. Desta forma, a Tabela 2 apresenta os valores inseridos como fonte de calor para cada simulação.

Tabela 2 – Condição de contorno para o fluxo de calor.

Modelos	Fonte de calor (kW)	Área superficial (m <sup>2</sup> )	Fluxo de calor (kW/m <sup>2</sup> )
M-01	4,538	4,2435	1,0694
M-02	4,538	0,6875	6,600
M-03	4,538	0,4685	9,686

#### 3.4 Definição das propriedades físicas do óleo

As propriedades que foram definidas para o fluido na avaliação das trocas térmicas entre o enrolamento e o óleo mineral foram: densidade, 846,2 kg/m<sup>3</sup>, viscosidade 0,002812 Pa. s, calor específico, 2066.25 J/kg. K, condutividade térmica, 0,10184 W/m. K e expansividade térmica, 0,000785 K<sup>-1</sup>. As características físicas do óleo, foram definidas a uma temperatura de referência de 75°C.

#### 4.0 - COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS ENTRE OS MODELOS

A análise da sensibilidade geométrica dos modelos numéricos foram realizadas por meio da avaliação dos campos de velocidade e temperatura nos canais internos da enrolamento. Na sequência comparou os resultados dos modelos, M-02 e M-03, com o modelo M-01 além de comparar com os valores fornecidos pelo fabricante.

Nos modelos foram considerados como duto axial interno, duto axial externo e duto radial os canais verticais do lado direito, canais verticais do lado esquerdo e canais horizontais dos perfis ilustrados na Figura 6, respectivamente.

#### 4.1 Comparação dos perfis hidráulicos dos modelos numéricos

Os campos de velocidade dos três modelos são ilustrados na Figura 6 O modelo M-01 apresentou uma velocidade máxima de 113,5 cm/s, localizada nos dutos verticais dutos internos do enrolamento. Isso ocorre devido a área transversal destes dutos serem menores quando comparado com a área transversal dos dutos verticais externo. No modelo M-01 existem regiões a qual o óleo mineral encontrou-se estagnado, ou seja, velocidades abaixo de 0,005 m/s localizado nos três primeiros dutos de cada pacote da bobina e próximo aos direcionadores de óleo.

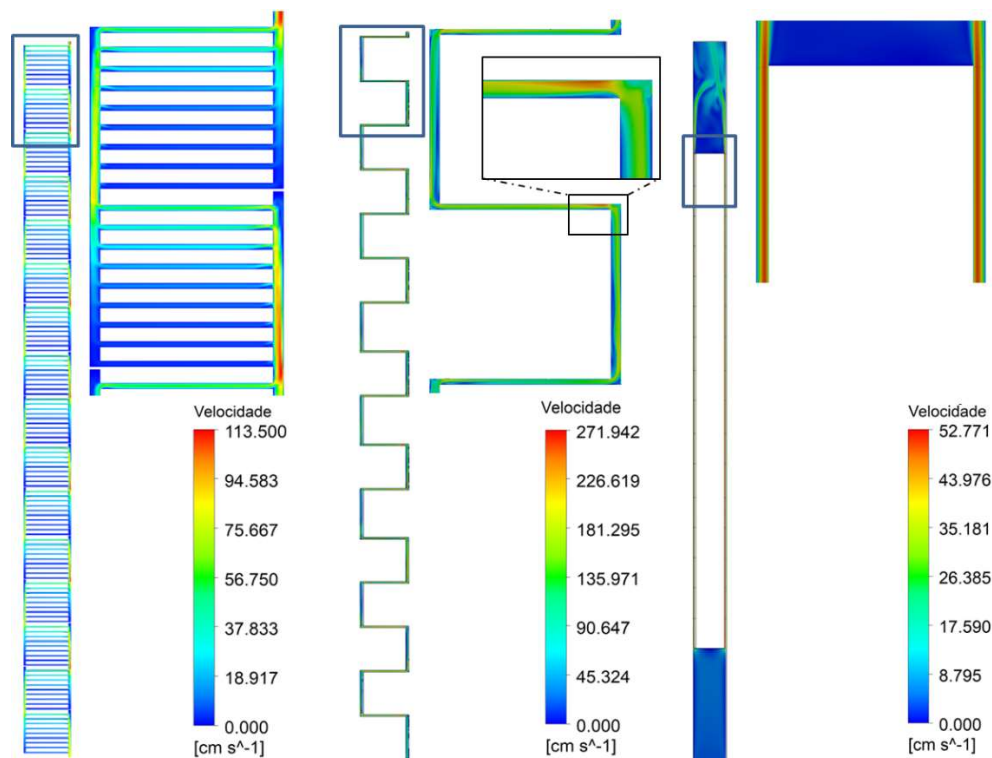


Figura 6 - Velocidades nos dutos de resfriamento do enrolamento (a) M-01 (b) M-02 (c) M-03.

O modelo M-02 apresentou velocidade máxima de 271,942 cm/s, localizados na entrada dos dutos horizontais. Isso ocorre devido a uma restrição de passagem do fluxo de óleo que diminui a área transversal para a passagem do fluxo óleo do duto, em razão do descolamento da camada limite causando um aumento da velocidade nesta seção. Neste modelo foi desconsiderado os dutos de resfriamento entre os discos, por consequência, não apresentou regiões de estagnação de óleo. Por fim, o modelo M-03 manifestou uma velocidade máxima de 52,771 cm/s no centro do duto vertical mais externo da bobina, pois a perda de carga ao longo deste canal é menor quando comparado com o canal de óleo mais interno.

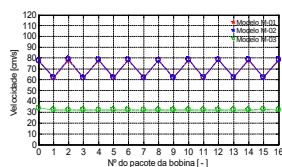


Figura 7 - Velocidades médias ao longo do circuito hidráulico do enrolamento.

Na Figura 7, é ilustrado as velocidades médias na saída de cada pacote da bobina, em ambos os modelos. Observa-se que os modelos M-01 e M-02 apresentaram semelhança com maior diferença de 1,243 cm/s no 2º pacote do enrolamento, as demais diferenças ficaram abaixo de 0,005 m/s.

O modelo M-03 apresentou valores discrepantes quando comparado com os demais modelos, consequência da simplificação adotada. Neste caso, existem dois canais paralelos a qual dividiu o fluxo de óleo, reduzindo a sua velocidade. A vazão mássica nos dutos axiais interno e externo foi 0,223 kg/s e 0,278 kg/s, respectivamente.

#### 4.2 Comparação dos perfis térmicos dos modelos numéricos

Na Figura 8 é apresentado as distribuições de temperatura ao longo do circuito de resfriamento para os três modelos numéricos. Observa-se que ambos os modelos apresentaram um ganho de temperatura a medida que o óleo percorreu os dutos de resfriamentos.



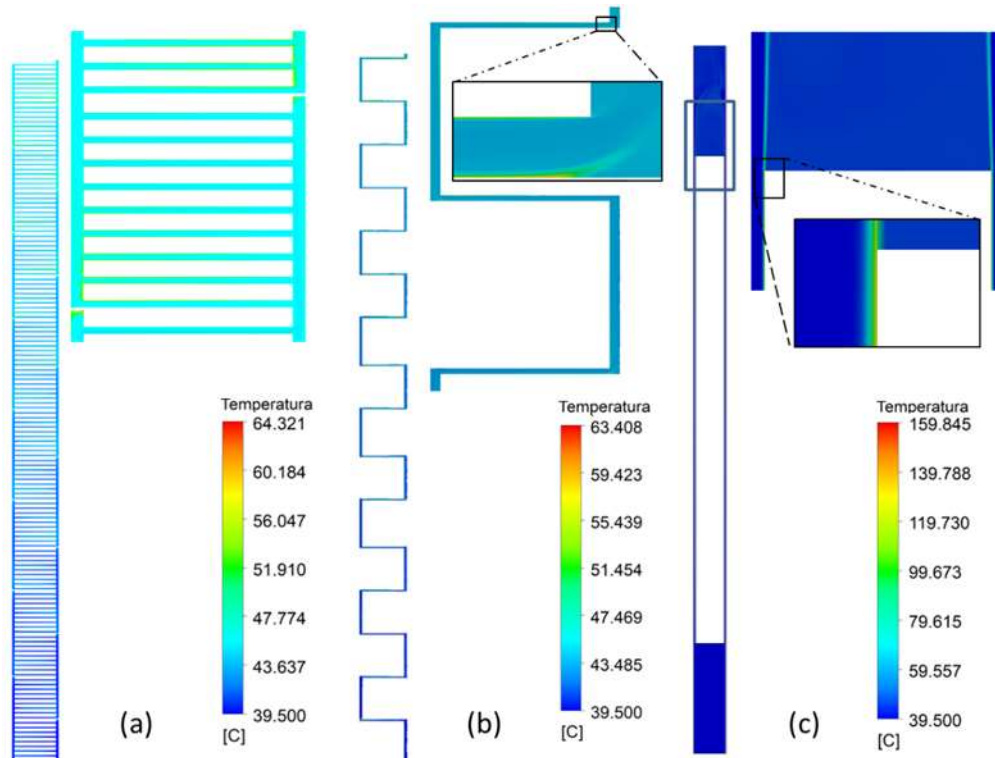


Figura 8 - Temperatura do óleo nos dutos de resfriamento do enrolamento (a) M-01 (b) M-02 (c) M-03.

O modelo M-01 apresentou valores de temperatura de acordo com o memorial de cálculo do fabricante, identificando os valores de *hotspot* inferiores a 65 °C, [11]. A maior temperatura obtida neste modelo foi entorno de 64,321 °C, especificamente nas regiões a qual o óleo apresentou baixíssimas velocidades, ou seja, nos primeiros três canais horizontais no penúltimo pacote da bobina e próximo ao penúltimo direcionador de óleo.

O modelo M-02 não apresentou regiões de baixas velocidades, e conseqüentemente a maior temperatura ficou entorno de 63,4°C. Essas temperaturas encontram-se na parte superior do último pacote de enrolamento, especificamente nas regiões de estrangulamento do fluxo de óleo ilustrada pela Figura 8-b.

O modelo M-03 expôs temperaturas superiores aos modelos M-01 e M-02, entorno de 159,845 °C, pois o campo de velocidade apresentou-se muito baixo ao longo dos dutos de resfriamento. Além disso, as características físicas do óleo são projetadas para um meio isolante elétrico, tendo baixo desempenho térmico.

Outro fator predominante é baixa homogeneização da temperatura no sentido radial do duto, pois o movimento “zig-zag” foi desconsiderado neste modelo, apresentando elevado gradiente de temperatura.

As temperaturas médias na saída de cada pacote da bobina, em ambos modelos, estão ilustrados na Figura 9. Observa-se que o modelo M-02 apresentou perfil de temperatura ao longo da bobina mais próximo do modelo M-01 com maior diferença de 0,9725 °C no 1º primeiro pacote da bobina. A medida que o óleo percorre os canais de resfriamento, essa diferença entre as temperaturas é diminuído. Entretanto, o modelo M-03 apresentou defasagem ao modelo M-01 entorno de 1 °C em razão da baixa velocidade ocasionado pela divisão do fluxo de óleo. A maior diferença da temperatura média, encontrada entre os dois modelos, foi entorno de 2,0269 °C localizado na saída de terceiro pacote.

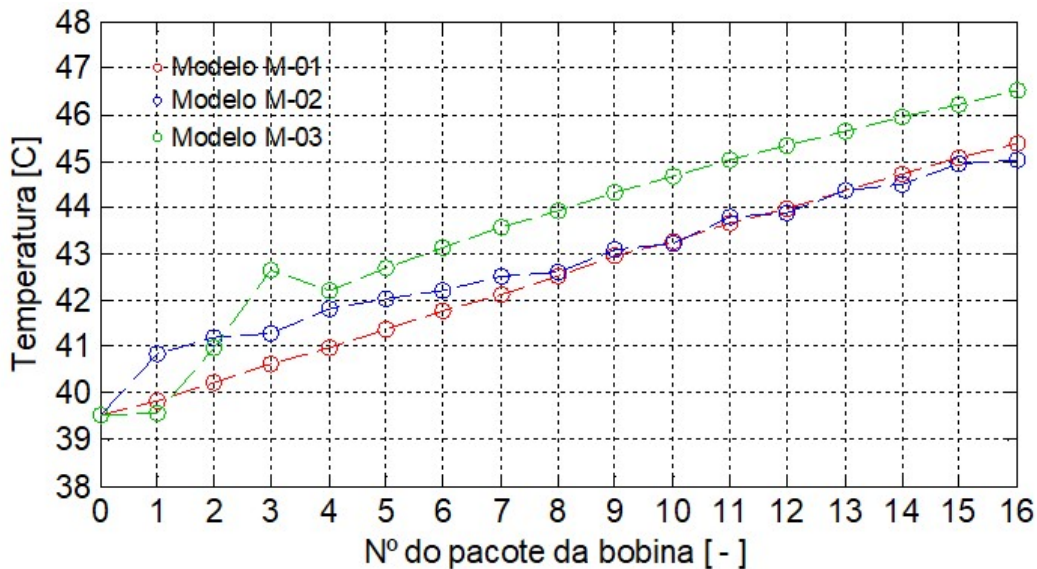


Figura 9 - Temperatura média do óleo ao longo do circuito hidráulico do enrolamento.

Observa-se que a diferença de temperatura na saída do óleo do enrolamento, em relação ao modelo M-01, foi de 0,3313 °C e 1,1443 °C, em relação aos modelos M-02 e M-03, respectivamente.

Ao comparar os valores de temperatura média do óleo na saída da bobina dos três modelos com os valores referentes as normas de projetos, conforme Tabela 3, observa-se que os valores apresentados pelos modelos M-01 e M-02 ficaram próximos dos valores de projeto e seus hot-spots ficaram abaixo do limite conforme norma. [11]

Tabela 3 - Comparação da temperatura de saída do modelo com o memorial do fabricante.

Temperatura média do óleo, conforme fabricante	Temperatura média do óleo M-01	Temperatura média do óleo M-02	Temperatura média do óleo M-03
45,5 °C	45,3658 °C	45,0345 °C	46,5101 °C

## 5.0 - CONCLUSÃO

Pelo trabalho desenvolvido é possível aplicar simplificações em modelos muito complexos de modo a viabilizar a solução quando é necessário elevado tempo de processamento e poder computacional. O modelo M-01 apresentou maior detalhamento dos dutos de óleo e maior tempo de processamento com 12 horas e 29 minutos. Os demais modelos apresentaram 4 horas e 43 minutos e 3 horas e 50 minutos respectivamente, diminuindo o tempo de processamento em quase 75%. Além disso, o modelo M-01 requisitou 42,104 Gb de memória RAM, sendo necessário computadores de alto desempenho para completar a simulação.

Observa-se que o modelo M-03 não representou a realidade do sistema de resfriamento do enrolamento em razão da quantidade de simplificações introduzidas neste modelo. Desta forma, deve-se tomar cuidado com a intensidade das simplificações ao ponto de não modificar o resultado real. Nota-se que as temperaturas máximas nos modelos M-01 e M-02 ficaram muito próximas, entretanto, a localização dessas temperaturas se deu em locais diferentes.

Os resultados obtidos pela sensibilidade geométrica são de grande utilidades em fases iniciais de projetos pois permite ampliar a fronteira do domínio, considerando dutos externos ao enrolamento de forma a otimizar o poder computacional e garantindo coerência dos resultados. Assim, o próximo objetivo a ser alcançado será a

ampliação das fronteiras do modelo M-02 para todo o circuito hidráulico do autotransformador, com o intuito de avaliar o comportamento térmico do óleo na parte externa dos enrolamentos e verificar por meio de medições dos campos de temperatura do óleo no topo de transformador.

## 6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) SUSA, D. Dynamic Thermal Modelling of Power Transformers. Tese de doutorado em Ciência Exatas da Helsinki University of Technology, 2005.
- (2) MAREK R. P.; CALIL W.; GALHARDO L.; SOUZA A. Practical verification of a high temperature insulation system for power transformers. IX Workspot International Workshop on Power Transformers, Foz do Iguaçu, 2018.
- (3) SILVA J. R.; BASTOS J. P. A.; SADOWSKY N.; LEITE K. V. Electromagnetic and thermal simulation of an oil insulated power transformer. 18th International Symposium on Electrical Apparatus and Technologies (SIELA), Bourgas, 2014, pp. 1-4 doi: 10.1109/SIELA.2014.6871888, 2014.
- (4) LAPWORTH J.; PICHER P.; CHANNET J.; KRABENBORG J.; NORDMAN H.; RADAKOCVIC Z.; ROIZMAN O.; SPOORENBERG K.; SUSA D.; BERTHEREAU F.; CAMPELO H.; CHEN S.; CUESTO M.; DAVYDOV V.; FLECK G.; T. GRADNIK; GUNTE N.; GUO W.; KIM J. K.; LEE J.; PORTILLO A.; SCHMIDT N.; SIMONSON E.; TENBOHLEN S.; TORRIANO F.; TRAUTMANN F.; VAN DER VEKEN W.; WANG Z.; WIJAYA J.; WILSON G.; WU W.; YAMAMURA S. Transformer Thermal Modelling. CIGRÉ, 2016.
- (5) LANERYD T.; GUSTAFSSON A.; KRANENBORG J.; DUARTE P.; CALIL W.; ZACHARIAS J.; MENDES J. C.; Hot spot Determination in Transformer Windings through CFD Analysis. VII Workspot – International Workshop on Power Transformers, Rio de Janeiro, Brazil, 2014.
- (6) ETEIBA M.; MAMDOUH M. A.; SHAZLY J. H. Sensitivity of steady temperatures of SF6 Gas-Cooled-Insulated Power Transformers to Selected Parameters. IEEE Transactions on Power Delivery. Vol. 24, no 3 de Julho, 2009.
- (7) CHAPRA S. C.; RAYMOND P. C. Métodos numéricos para engenharia. McGraw-Hill, 2008.
- (8) VERSTEEG K. H.; MALALASEKERA W.; An introduction to computational fluid dynamics. The finite volume method. 2nd ed. Harlow: Pearson, 2007.
- (9) MALISKA C. Transferência de Calor e Mecânica dos Fluidos Computacional. LTC, 2004.
- (10) YEOH H. G.; TU J. Computacional Techniques for Multi-Phase Flows. Oxford: Elsevier, 2010.
- (11) ITAIPU BINACIONAL, “Memorial de Cálculo dos Sistema de Refrigeração”. Diretoria Técnica, 2011.

## 7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



**Leonardo Aparecido Reis Bedani** possui bacharelado em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE (2018). Atuou como bolsista de iniciação científica pela Fundação Parque Tecnológico de Itaipu (FPTI) no Centro de Estudos Avançados em Segurança de Barragens (CEASB), participando no projeto “Avaliação de Eficiência de Sistemas Elétricos de Alta de Tensão da Usina de Itaipu”



**Juliano Ricardo da Silva** possui doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina (2015), mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina (2005) e graduação em Engenharia Elétrica em Automação e SEP pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (2002). Atualmente é engenheiro eletricista na ITAIPU BINACIONAL, professor assistente da Universidade Estadual do Oeste do Paraná e professor regente assistente da Faculdade Dinâmica das Cataratas - UDC, em que faz parte do NDE. Tem experiência na área



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

4179  
GTM/02

10 a 13 de novembro de 2019  
Belo Horizonte - MG

de Engenharia Elétrica, com ênfase em Sistemas Elétricos de Potência, atuando principalmente com instalações e equipamentos de geração e transmissão de energia elétrica. É membro do CIGRE comitê de estudos A2-Transformadores e Coordenador do grupo de revisão da norma Brasileira ABNT NBR 5356 - Transformadores de potência (CE 14.01).



**Camilo Alexandre Furlanetto** possui graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Paraná - UFPR (1996) e especialização em Administração Industrial - UFPR (2002). Iniciou carreira profissional na área de Processos de Fabricação período no qual se aperfeiçoou em Programação de Comando Numérico com cursos na Alemanha e na Suíça. Atualmente é Engenheiro na ITAIPU Binacional e professor no curso de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE.



**Christiano Wendt dos Santos** possui bacharelado em engenharia mecânica (2015) e especialista em métodos numéricos aplicados à engenharia (2019) pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE) e pela Universidade Federal do Paraná (UFPR), respectivamente. Atualmente é engenheiro na Fundação Parque Tecnológica Itaipu, trabalhando no Centro de Estudos Avançados em Segurança de Barragens (Ceasb).