



**IX Encontro de Iniciação Científica e Tecnológica**  
**IX EnICT**  
**ISSN: 2526-6772**  
**IFSP – Campus Araraquara**  
**6 de dezembro de 2025**



**METODOLOGIA PARA CONSTRUÇÃO DE GEOMETRIAS NO SALOME PARA ESTUDOS DE MODELOS NUMÉRICOS COMPUTACIONAIS DE CONVEÇÃO NATURAL NO OPENFOAM®**

VITOR HUGO TAQUETTO DOS SANTOS<sup>1</sup>, SILVIO APARECIDO VERDÉRIO JÚNIOR<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Mecânica, IFSP Campus Araraquara, [vitor.taquetto@aluno.ifsp.edu.br](mailto:vitor.taquetto@aluno.ifsp.edu.br)

<sup>2</sup> Professor, IFSP Campus Araraquara, [silvioverderio@ifsp.edu.br](mailto:silvioverderio@ifsp.edu.br)

**Área de conhecimento:** Engenharia Mecânica – 3.03.03.03-1.

**RESUMO:** O avanço das tecnologias digitais e dos métodos numéricos tem ampliado as possibilidades de análise dos fenômenos de transferência de calor, permitindo o estudo de sistemas cada vez mais complexos. Entre esses fenômenos, a convecção natural destaca-se pelo grande interesse científico e pela disponibilidade de ferramentas computacionais capazes de fornecer resultados precisos e convergência eficiente. Nesse contexto, sobressai o OpenFOAM®, um software livre e de código aberto amplamente utilizado em simulações baseadas no método dos volumes finitos, aplicado à modelagem de escoamentos e transferência de calor. Na formulação de modelos numéricos, a construção adequada da geometria computacional é etapa essencial para assegurar compatibilidade, precisão e fidelidade física na representação do problema estudado. Com esse propósito, o presente trabalho propõe uma metodologia sistematizada para modelagem geométrica no software SALOME, também livre e de código aberto, totalmente integrada ao OpenFOAM®. Essa metodologia é aplicada à geração de geometrias representativas de placas planas e corrugadas submetidas à convecção natural, servindo como base para estudos numéricos comparativos. O uso exclusivo de ferramentas e utilitários gratuitos e abertos visa promover a acessibilidade, reprodutibilidade e transparência científica, princípios fundamentais para o avanço das pesquisas em dinâmica dos fluidos computacional (CFD). O trabalho apresenta ainda uma sequência estruturada de etapas e orientações práticas para o uso do SALOME na construção de geometrias e domínios físicos de simulação, de modo a oferecer uma referência técnica e metodológica para futuros estudos voltados à análise numérica de fenômenos de convecção natural.

**PALAVRAS-CHAVE:** CFD; código aberto; modelagem; modelos numéricos; salome; transferência de calor.

## INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, observa-se um crescimento expressivo do uso de softwares livres e de código aberto para o desenvolvimento de modelos numéricos, impulsionado pela busca por transparência científica, reprodutibilidade e redução de custos de pesquisa. Entre as plataformas mais amplamente utilizadas, destaca-se o OpenFOAM®, um software de Fluidodinâmica Computacional (CFD, *Computational Fluid Dynamics*) de código aberto, amplamente empregado em aplicações industriais e acadêmicas, fundamentado no método dos volumes finitos como descrito por Juretic (2015) e utilizado por Barestrand et al. (2023), Verdério Júnior et al., (2023), Verdério Júnior et al. (2024). O OpenFOAM® permite a modelagem de escoamentos laminares e turbulentos, bem como a análise de fenômenos de transferência de calor conjugada, radiação e multifásicos, além de possibilitar a personalização de solvers e bibliotecas, conforme descrito e exemplificado por Corzo et al. (2011) e Souza et al. (2023).

O pré-processamento geométrico e a geração de malha constituem etapas determinantes na qualidade da simulação numérica, sendo responsáveis pela definição do domínio computacional e pela precisão da discretização espacial. Nesse contexto, destaca-se o SALOME, um programa de desenho assistido por

computador (CAD, Computer-Aided Design), também livre e de código aberto, voltado à criação, parametrização e manipulação de geometrias, como apresentado em Salome (2025). Ele integra ferramentas para modelagem, malha e exportação direta em formatos compatíveis com o OpenFOAM®, permitindo a construção completa do modelo físico e a posterior configuração do caso de simulação, promovendo um ambiente de desenvolvimento acessível, transparente e reproduzível na pesquisa numérica em engenharia térmica.

Dessa forma, o presente trabalho apresenta uma metodologia voltada à etapa de construção de geometrias no software SALOME, aplicada a modelos numéricos de transferência de calor por convecção natural. A proposta baseia-se na situação-problema descrita e validada por Verdério Júnior et al. (2023), abrangendo o estudo da convecção natural sobre placas planas e corrugadas, e tem como objetivo demonstrar o processo de criação e preparação da geometria para simulação na plataforma OpenFOAM®. A metodologia enfatiza o uso exclusivo de ferramentas gratuitas e de código aberto, reforçando a acessibilidade, a democratização e a reproduzibilidade da pesquisa científica na área de CFD.

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O estudo apresentado se fundamenta nas constatações validadas no singular trabalho de Verdério Júnior et al. (2023) que contempla a construção completa de um caso de estudo de transferência de calor por convecção natural sobre placas planas e corrugadas. De forma a complementar, Verdério Júnior et al. (2021) apresentam um estudo para validação e determinação dos principais parâmetros de influência nas simulações computacionais de convecção natural em placas e Silva et al. (2021) e Verdério Júnior et al. (2022) desenvolvem análises e comparações para validação e construção de configurações de malha, domínio físico e condições de contorno em situações-problemas semelhantes.

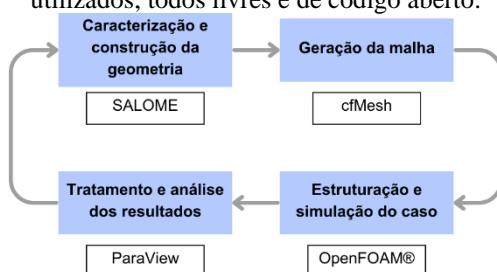
Juretic (2015), OPENCFD (2019), Salome (2025) e Kortelainen (2009) apresentam em maiores detalhes a forma de operação e funcionamento dos softwares citados e utilizados neste trabalho, úteis para o desenvolvimento do passo a passo da metodologia, contemplando as características, recursos, possibilidades e formas de integração entre eles.

## METODOLOGIA

Uma etapa essencial no desenvolvimento de modelos numéricos para análise da convecção natural é a definição e construção do domínio físico computacional e da geometria de estudo, posteriormente discretizados para formar a malha onde se aplicam as condições de contorno e se resolvem as equações do escoamento e da transferência de calor, bem apresentado em Silva et al. (2021) e Verdério Júnior et al. (2022). Este trabalho utiliza o software livre SALOME para demonstrar o processo de construção dessas geometrias destinadas a simulações no OpenFOAM®.

A metodologia baseia-se na situação-problema validada por Verdério Júnior et al. (2023), que analisa a convecção natural em uma placa isotérmica plana e corrugada de perfil quadrado mantida a 40 °C, imersa em um domínio aberto contendo ar a 20 °C. A Figura 1 ilustra o fluxo geral de construção do modelo numérico, destacando aqui a etapa inicial de caracterização e modelagem geométrica, com ênfase no uso de ferramentas livres e de código aberto. Segundo Juretic (2015), o cfMesh é a biblioteca do OpenFOAM® responsável pela geração automática de malhas, enquanto o ParaView atua na visualização e análise interativa dos resultados numéricos.

FIGURA 1. Processo sequencial de construção do modelo numérico, com principais softwares, bibliotecas e utilitários utilizados, todos livres e de código aberto.

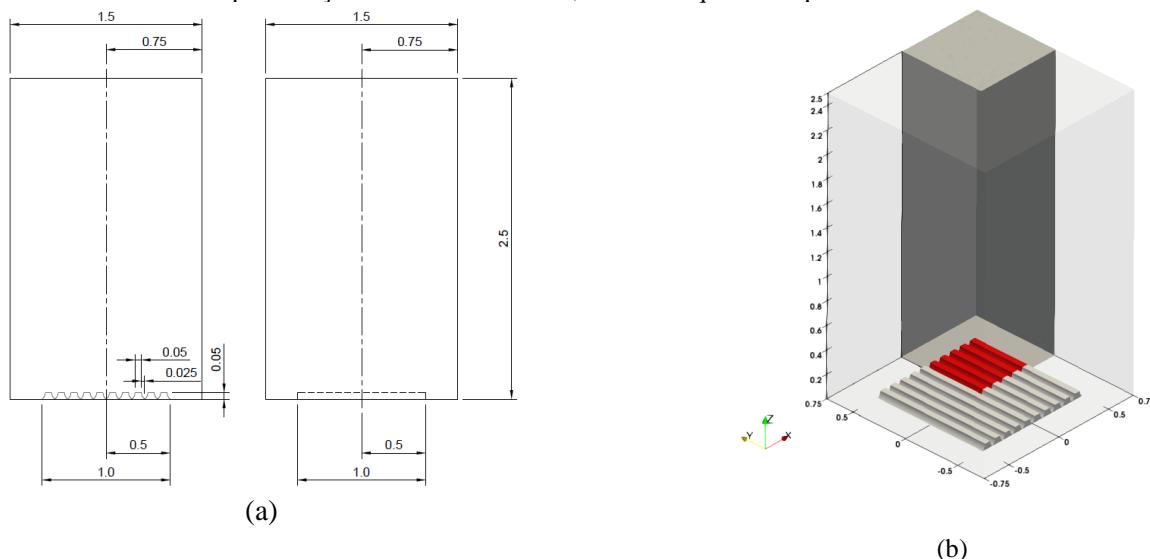


Fonte: Elaborada pelo autor.

Nos resultados apresentados e discutidos por Verdério Júnior et al. (2022) e Verdério Júnior et al. (2023) é clara a importância da definição correta das geometrias que compõe o modelo numérico, desde o domínio físico ao objeto de estudo, como uma placa corrugada, que devem ser validadas experimentalmente para serem reproduzidas computacionalmente com precisão. Na construção desta metodologia, o alvo de estudo é uma placa quadrada com corrugações semicirculares de altura constante e espaçadas igualmente, centralizada na parte inferior do domínio. O domínio apresenta uma forma retangular, de grandes dimensões comparado a placa. A idealização, formatos e dimensões que serão utilizados para construção no SALOME são identificados na Figura 2a.

Em situações-problemas de geometrias menos complexas, como a apresentada, é comum utilizar artifícios na construção do modelo computacional para redução dos esforços computacionais da simulação. Dado a característica de dupla simetria nos eixos x e y (visíveis na Figura 2b) é possível simplificar as geometrias para apenas um quarto do total nesses eixos, desde que sejam feitos ajustes na estruturação do caso no OpenFOAM®. Dessa forma, efetivamente é construído apenas um quarto do domínio no SALOME, ilustrado pela região destacada da Figura 2b.

FIGURA 2. (a) Vista frontal e lateral, respectivamente, do domínio físico e da placa, com dimensões em metros e (b) representação de do domínio total, com destaque a um quarto do domínio.

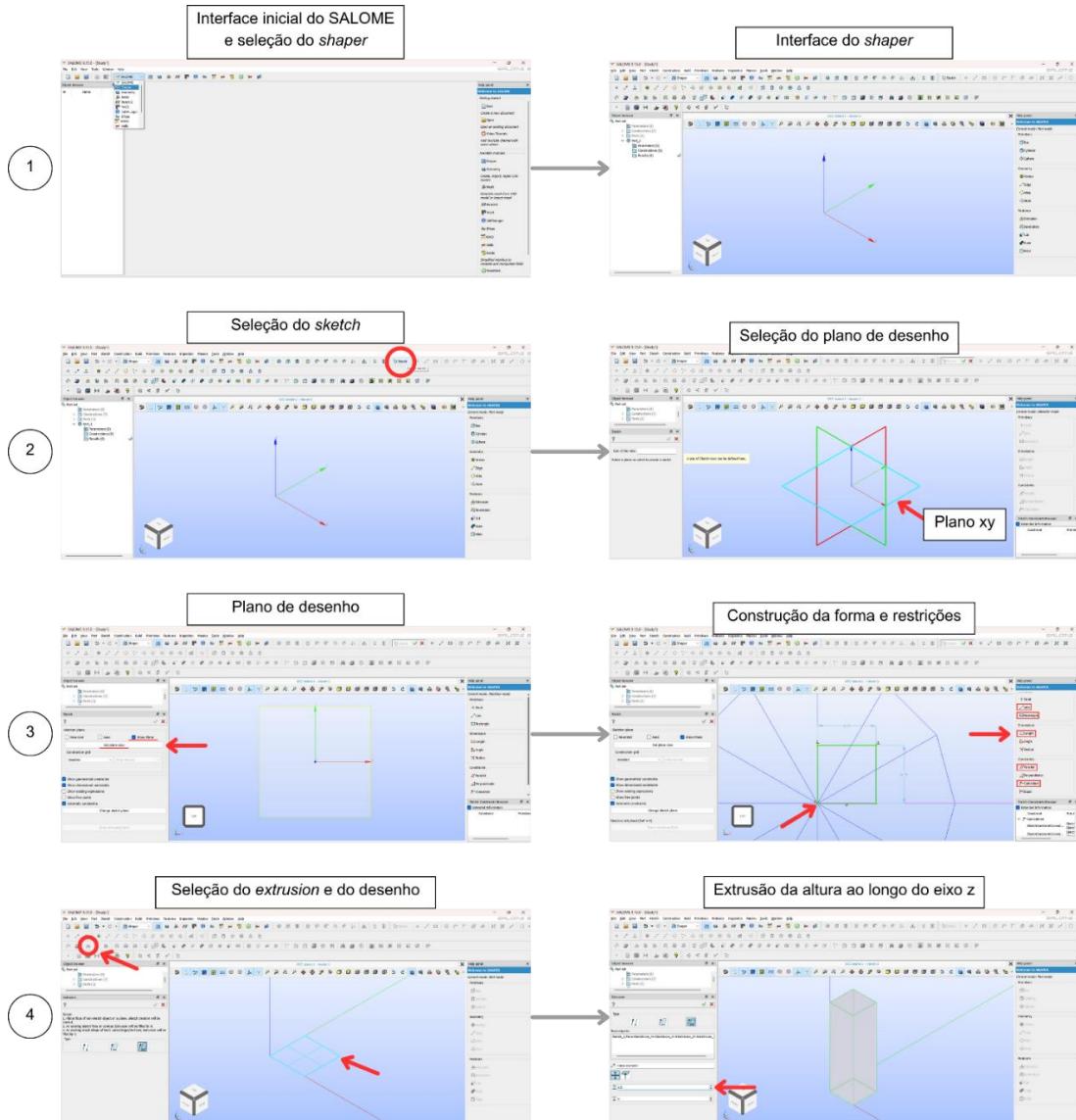


Fonte: Elaborada pelo autor.

Iniciando a construção da geometria pelo domínio físico computacional, o processo parte da interface *shaper* do SALOME, que pode ser selecionada logo após a abertura do programa e que permite a produção de desenhos e modelos tridimensionais, vide Figura 4. Dentro da interface, o comando *sketch* habilita o desenho sobre um plano escolhido – nessa etapa é importante padronizar o plano de desenho para que todas as partes da geometria do modelo fiquem corretamente orientadas e posicionadas. Para o formato descrito anteriormente do domínio, é utilizado o plano xy para a construção da base do retângulo a partir das ferramentas do software e considerando as medidas de um quarto do domínio total, sabendo que, por padrão, a unidade de medida no SALOME é em metros. Os comandos de cota, restrições de linha e coincidência são fundamentais para alinhar corretamente e com precisão o desenho à origem, que representa o plano de simetria do problema, sem descharacterizar a geometria – processo necessário em todos os desenhos.

A partir da base do domínio, ele será formado pelo comando *extrusion* no desenho selecionado, percorrendo a medida da altura, no sentido do eixo z.

FIGURA 4. Esquema sequencial das etapas de construção de um modelo de domínio físico computacional.



Fonte: Elaborada pelo autor, adaptado de SALOME.

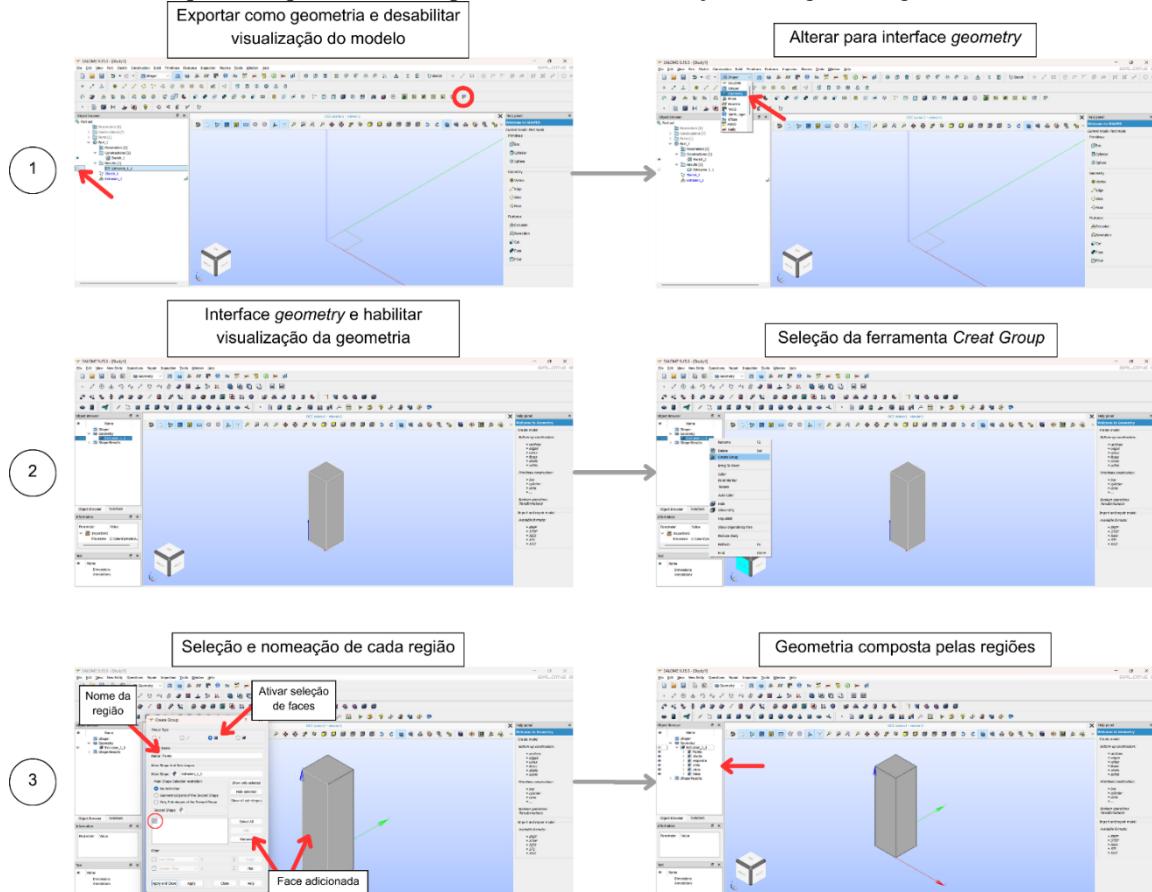
O modelo numérico referenciado nesta metodologia exige que, para aplicar as condições de contorno, tanto o domínio, quanto a placa, precisam ser divididos em regiões que representem as fronteiras do problema. Essas regiões levam em consideração suas posições para computar efeitos de simetria, comentado anteriormente, efeitos de fluxo livre de energia e matéria e também efeito de parede que não permite transferência de massa. Todas essas condições são associadas a cada região do domínio e da placa na etapa de configuração da simulação, depois que as malhas são geradas.

Para isso, com a geometria totalmente construída e seguindo a sequência da Figura 5, exporta-se o modelo como geometria e desabilita sua visibilidade, para facilitar a interação. Trocando novamente a interface, agora para *geometry*, habilita-se a visibilidade do novo modelo criado e, acionando o botão direito sobre ele, é possível aplicar a ferramenta *Create Group* para separar e nomear cada uma das regiões.

Seguindo a forma de construção do modelo numérico apresentado por Verdério Júnior et al. (2023), as regiões do domínio devem ser separadas como: *frente*, *direita*, *esquerda*, *atras*, *cima* e *baixo* – com a *frente* sendo a face do paralelepípedo alinhada ao eixo x. Utilizando a ferramenta *Create Group*, primeiramente deve ser habilitado a seleção de faces e, após, cada face deve ser individualmente nomeada de acordo com a região, selecionada no modelo tridimensional, adicionada e então confirmada, repetindo o processo para as outras – vide Figura 5.

Por fim, deve ser possível reconstruir a geometria por completo apenas com as regiões discretizadas e, assim, selecionando os arquivos gerados de região, eles podem ser exportados no formato STL para uso direto no diretório de geração de malha pelo cfMesh no OpenFOAM®.

FIGURA 5. Esquema sequencial das etapas de divisão e nomeação das regiões da geometria do domínio.



Fonte: Elaborada pelo autor, adaptado de SALOME.

Adicionalmente para identificação dessas regiões durante a construção da malha, através de um editor de texto, como o Notepad++, também livre e de código aberto, todos os arquivos de região gerados devem ser intitulados, na primeira linha logo após o parâmetro *solid*, com o nome da região que representa, mesmo nome dado na etapa anterior. Indicado na Figura 6.

FIGURA 6. Uso do Notepad++ para edição do arquivo STL gerado da região *frente* do domínio, adicionando a nomenclatura.

```

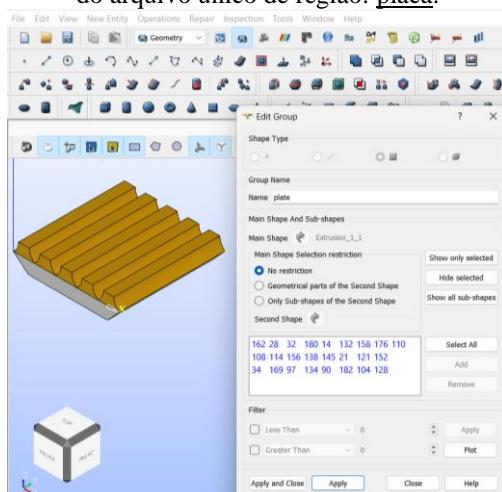
1 solid frente
2 facet normal -7.365470e-25 -1.000000e+00 0.000000e+00
3 outer loop
4 vertex 8.370821e-28 1.379591e-24 0.000000e+00
5 vertex 7.500000e-01 8.271806e-25 0.000000e+00
6 vertex 7.500000e-01 8.271806e-25 2.500000e+00
7 endloop
8 endfacet
9 facet normal -7.365470e-25 -1.000000e+00 0.000000e+00
10 outer loop
11 vertex 8.370821e-28 1.379591e-24 0.000000e+00
12 vertex 7.500000e-01 8.271806e-25 2.500000e+00
13 vertex 8.370821e-28 1.379591e-24 2.500000e+00
14 endloop
15 endfacet
16 endsolid

```

Fonte: Elaborada pelo autor, adaptado de Notepad++, versão 8.8.7.

Todo o processo descrito para construir a geometria do domínio físico computacional deve ser utilizado também para construção do objeto de estudo, nesse caso a placa com corrugações semicirculares, mas com alguns diferenciais. O perfil da placa deve ser desenhado no plano x, de modo que fique alinhado com a *frente* do domínio, mas sempre partindo da origem dos eixos. Também, para auxiliar na construção da placa, é necessário criar uma espécie de base, que não será usada no modelo final, mas que possibilita a seleção correta da região *placa*, como mostrado na Figura 7. Observa-se que a geometria da placa forma apenas uma região *placa*, em outras palavras, um arquivo STL que deve ser renomeado com o uso do Notepad++ e que será destinado ao mesmo diretório de malha que os arquivos do domínio.

FIGURA 7. Modelo tridimensional da geometria da placa e demonstração da seleção das faces da placa para formação do arquivo único de região: *placa*.



Fonte: Elaborada pelo autor, adaptado de SALOME.

## CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou e discutiu uma metodologia voltada à construção de geometrias no software SALOME, aplicada a modelos numéricos de transferência de calor por convecção natural. A metodologia proposta baseia-se na situação-problema descrita e validada por Verdério Júnior et al. (2023), abrangendo a modelagem de uma placa isotérmica plana ou corrugada, centralizada em um domínio aberto e tridimensional preenchido por ar. O processo foi detalhado, incluindo a caracterização geométrica, as etapas de construção do modelo tridimensional, o particionamento das regiões de fronteira e a exportação dos arquivos no formato compatível com a plataforma de CFD OpenFOAM®.

A utilização do SALOME mostrou-se uma alternativa robusta e acessível para a geração de modelos tridimensionais aplicáveis ao CFD, especialmente por sua integração com bibliotecas livres, como o cfMesh para geração de malha no OpenFOAM® e o ParaView para visualização e análise dos resultados. Além de reduzir custos e ampliar o acesso a ferramentas de pesquisa, o uso de softwares de código aberto promove maior transparência científica e compreensão do processo de modelagem, eliminando as limitações e as “caixas-pretas”.

A metodologia proposta fornece uma base técnica para a criação de geometrias em estudos de convecção natural, podendo ser adaptada a diferentes configurações geométricas e condições físicas. A partir da estrutura apresentada, é possível expandir o modelo para investigar novas formas de corrugação, regimes de escoamento ou outros fenômenos de transferência de calor, como a condução conjugada e a radiação térmica. Dessa forma, o trabalho contribui para a democratização da pesquisa numérica em engenharia térmica, oferecendo um guia prático, aberto e reproduzível para o uso do SALOME em conjunto com o OpenFOAM®, fortalecendo o desenvolvimento científico até mesmo em contextos de restrição orçamentária.

## REFERÊNCIAS

BARESTRAND, H.; KLOSTERMAN, S.; FOSTER, M. **Modelling convective heat transfer of air in a data center using OpenFOAM®**. OpenFOAM Journal, v. 3, p. 25–38, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1002345>.

CORZO, S.; MÁRQUEZ DAMIÁN, S.; RAMAJO, D.; NIGRO, N. **Numerical simulation of natural convection phenomena**. Heat and Mass Transfer, v. 30, p. 277–296, 2011.

JURETIC, F. **User guide cfMesh v1.1**. Zagreb: Creative Fields, 2015. Disponível em: [http://cfmesh.com/wp-content/uploads/2015/09/User\\_Guide-cfMesh\\_v1.1.pdf](http://cfmesh.com/wp-content/uploads/2015/09/User_Guide-cfMesh_v1.1.pdf). Acesso em: 6 nov. 2025.

KORTELAINEN, J. **Meshing tools for open source CFD – a practical point of view**. 2009. Disponível em: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:164216345>. Acesso em: 6 nov. 2025.

OPENCFD. **OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox. User Guide (v1906)**. OpenCFD Ltd., 2019.

SALOME Platform. **The open-source platform for numerical simulation**. [S.l.]: CEA/EDF-R&D & OpenCascade, 2025. Disponível em: <https://www.salome-platform.org/>. Acesso em: 7 nov. 2025.

SILVA, V. R.; et al. **Study and validation of meshes in turbulent isothermal problems of natural convection in flat plates**. Revista de Engenharia Térmica, v. 20, n. 2, p. 33–40, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/reterm.v20i2.81785>.

SOUZA, P. R.; BARRETO, F. J.; VERDÉRIO JÚNIOR, J. **Estudo numérico da convecção natural sobre placas planas e corrugadas utilizando OpenFOAM®**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA MECÂNICA – COBEM, 2023, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: ABCM, 2023.

VERDÉRIO JÚNIOR, S. A. et al. **Physical–numerical parameters in turbulent simulations of natural convection on three-dimensional square plates**. International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow, v. 31, n. 2, p. 761–784, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1108/HFF-02-2021-0128>.

VERDÉRIO JÚNIOR, S. A.; SCALON, V. L.; DEL RIO OLIVEIRA, S.; COELHO, P. J. M. **Natural convection on corrugated plates: a numerical case study about meshes, boundary conditions and physical domain determination**. Revista de Engenharia Térmica, v. 21, n. 2, p. 3–12, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/reterm.v21i2.87916>.

VERDÉRIO JÚNIOR, S. A.; COELHO, P. J.; SCALON, V. L.; DEL RIO OLIVEIRA, S. **Numerical and experimental study of natural convection heat transfer on flat and corrugated plates**. International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow, v. 33, n. 9, p. 3286–3307, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1108/HFF-03-2023-0132>.

VERDÉRIO JÚNIOR, S. A.; COELHO, P. J.; SCALON, V. L. **Numerical investigation of three-dimensional natural convection heat transfer on corrugated plates of variable height**. International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow, v. 34, n. 4, p. 1858–1883, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1108/HFF-10-2023-0591>.