

T2.

SIMULAÇÃO DA CIRCULAÇÃO DE AR EM UMA SALA UTILIZANDO A FLUIDODINÂMICA COMPUTACIONAL VIA OPENFOAM E FERRAMENTAS LIVRES

Hícaro Raffael D. Silva¹, Josemar R. Pedroso², N. C. A. de Sousa³

RESUMO: *A ventilação natural é um dos melhores recursos visando o conforto térmico e a redução do consumo energético em edificações, seja ela residencial ou comercial. Ela ocorre por uma diferença de pressão que é exercida pelo vento ou pela densidade do ar, ou por ambas agindo simultaneamente no ambiente. Sendo assim, nesse artigo será analisado os padrões de fluxo de ar presente em quatro tipos de arquitetura de janelas tendo diferentes posições relativas, onde, teoricamente as melhores condições são criadas quando a abertura de saída é maior e mais larga que a entrada. Ademais, será analisado e diagnosticado o melhor tipo de arquitetura para ventilação visando o conforto térmico do ambiente e o melhor padrão do fluxo de ar, assim portanto, reduzindo o consumo energético e a proliferação de doenças infecciosas transmitidas por vias aéreas. Além da análise descrita anteriormente, outro principal propósito é o aprendizado introdutório da fluidodinâmica computacional (FDC) com o uso do OpenFOAM, utilizando como base representações da literatura. A análise da simulação foi feita pela fluidodinâmica computacional (FDC) através do software livre e de código aberto OpenFOAM, responsável pelos cálculos via métodos numéricos e equações de interesse, sendo resolvidas pelo Método dos Volumes Finitos (MVF).*

PALAVRAS-CHAVE: *Ventilação; Fluidodinâmica computacional; Softwares livres; OpenFOAM.*

1. INTRODUÇÃO

Há um interesse crescente na aplicação da ventilação natural em edifícios visando reduzir o consumo de energia, melhorar a qualidade do ar interior e minimizar problemas ambientais associados a edifícios ventilados mecanicamente. Vários sistemas mecânicos, incluindo aquecimento, sistemas de ventilação e ar condicionado (HVAC) em residências e edifícios de escritórios contribuem substancialmente para o consumo de energia. Com a ventilação natural, há uma redução nos custos de operação, melhorando a qualidade do ar interior e proporcionando conforto térmico satisfatório em todos os ambientes e seus ocupantes. (Liping & Hien, 2007, p. 954).

Visando suprir a necessidade crescente no mercado, estudos relativos à área da ventilação e conforto térmico são de extrema importância. Análises como esta proporcionarão ao mercado imobiliário saber

¹ Afiliação: Universidade Federal de Alagoas – Campus Arapiraca
Email: hicarodionizio@arapiraca.ufal.br

² Afiliação: Universidade Federal do Oeste da Bahia – Campus Bom Jesus da Lapa
Email: josemar.pedroso@ufob.edu.br

³ Afiliação: Universidade Federal de Alagoas – Campus Arapiraca
Email: nuccia.sousa@penedo.ufal.br

quais os melhores tipos de arquitetura a serem empregadas em suas edificações, buscando sempre a conciliação entre o conforto térmico dentro do ambiente, a redução do gasto energético e o combate a doenças transmissíveis pelo ar.

Neste artigo, buscamos unificar todas essas necessidades e elucidá-las com o uso da tecnologia, mostrando ao mercado que existem softwares extremamente poderosos e gratuitos simultaneamente. Portanto, todos os dados e soluções que serão aqui apresentados só foram possíveis graças a esses softwares, que mesmo tendo uma curva de aprendizagem um pouco maior que outros, são extremamente eficientes e geram resultados satisfatórios e precisos ao final das simulações.

2. METODOLOGIA

Inicialmente, é preciso entender que a fluidodinâmica computacional é comumente dividida em três partes, as quais existem diferentes programas que podem ser utilizados para resolvê-las. São elas: Pré-processamento, Processamento e Pós-processamento.

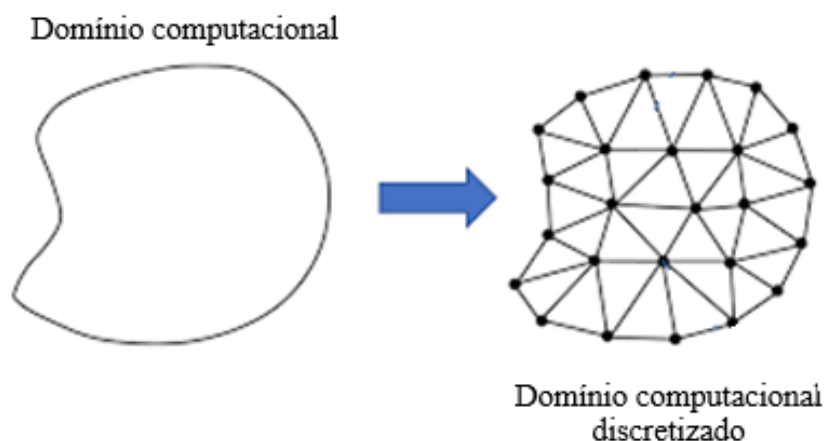
Para que este trabalho fosse realizado, foram individualmente feitas simulações considerando quatro salas contendo as mesmas dimensões, sendo modificadas apenas a posição das janelas de entrada e saída do fluido. Toda a simulação tem como base 3 softwares diferentes, tendo cada um deles uma função específica, sendo eles: Salome-Meca, que é responsável pela geração da geometria e criação da malha do caso, parte essa que é chamada de pré-processamento; OpenFOAM, responsável pelos cálculos via métodos numéricos para que seja gerado um resultado, chamado de processamento, e o ParaView, responsável por tratar os dados gerados e transformá-los em imagens das mais diferentes formas, a qual esta etapa é denominada de pós-processamento.

A primeira parte da modelagem e simulação é a criação da geometria, que é mais comumente chamada de CAD (Computer Aided Design). Essa parte é basicamente gerar o domínio computacional do ambiente que deseja efetuar a simulação, com todas as suas medidas e incorporando as estruturas desejadas. Em seguida, através do algoritmo escolhido para o formato da célula, deve ser gerada a malha a partir da geometria, que é dividi-la em vários pedaços pequenos, conhecida como discretização de malha. É por meio dessa discretização que a geometria é dividida em pequenas outras figuras geométricas, em que cada uma delas terão nós, onde os cálculos numéricos da simulação serão efetuados em todo o volume de controle.

De forma geral, pode-se dizer que quanto mais refinada a malha for, ou seja, mais células ela conter, melhor será a acurácia dos resultados, respeitando sempre a independência da malha. Entretanto, deve haver um equilíbrio entre o quanto essa malha está refinada e a acurácia dos resultados, pois a cada célula que é acrescentada, o custo computacional também é aumentado, de maneira que pode chegar à situação que o custo computacional seja muito grande para tal simulação. Esse equilíbrio pode ser calculado e observado na etapa do processamento, no chamado gráfico de residuais, onde é analisado

se a simulação convergiu, ou seja, se chegou ao resultado esperado. Veja a seguir na Figura 1, um exemplo prático de discretização de uma geometria:

Figura 1: Exemplo de discretização de malha



Fonte: IX Simpósio de Iniciação Científica, Didática e de Ações Sociais da FEI

A segunda etapa é o processamento, onde a malha é utilizada como base para efetuação dos cálculos relativos à simulação. O escoamento de um fluido, que o aspecto físico a qual esse trabalho tem como base é governado pelas equações de conservação de massa, conservação do momento e conservação de energia, chamadas de equação de Navier-Stokes, sendo obtidas através da seguinte equação geral de transporte:

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho \phi dV + \int_A \rho \phi V dA = \Gamma_\phi \nabla \phi dA + \int_V S_\phi dV \quad (\text{Equação 01})$$

Sendo:

$\Phi \rightarrow$ Variável de interesse (Temperatura, velocidade ou energia)

$\Gamma \rightarrow$ Coeficiente de difusão;

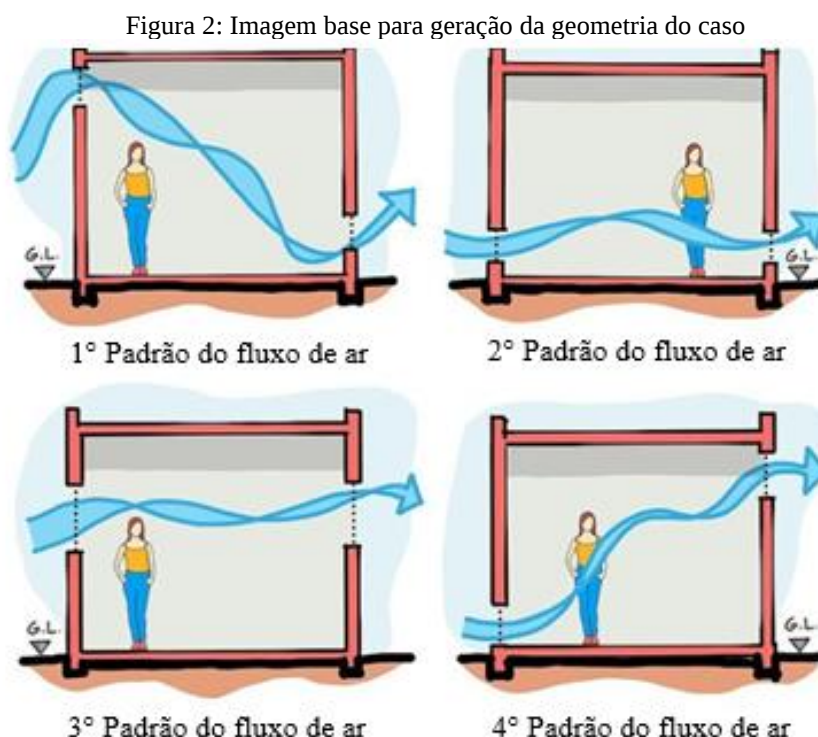
$S \rightarrow$ Termo-fonte.

A equação com os termos de interesse foi solucionada pelo software livre de código aberto OpenFoam (OpenFOAM Foundation, 2011), empregando o solucionador para condições turbulentas, buoyantSimpleFoam. Dentro desse solucionador estão alocadas as pastas onde a simulação é completamente controlada e auditada, sendo informado as condições de contorno da simulação, que é como cada parte da malha deve se comportar. Além disso, é informada também as condições físicas iniciais da simulação, como: Velocidade do fluido, temperatura, pressão, dentre outras condições.

Por fim, o pós-processamento é feito a partir dos dados obtidos pelo OpenFOAM na parte do processamento. Os dados são gerados em arquivos e salvos na pasta do caso, porém, são inúmeras linhas de números e variáveis que são impossíveis de analisar manualmente. Em virtude disso, é empregado o uso do programa ParaView, responsável por converter os números que a simulação gerou em cada passo de tempo e transformá-los em imagens, exemplificando cada etapa e variáveis com um gradiente de cores diferente em cada tipo. É a partir desse gradiente de cores que a física de toda a simulação é analisada e comprovada, rearranjando e melhorando as imagens para que o resultado esperado apareça e seja claro para visualização.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após toda a configuração dos quatros casos, efetuação da simulação e análise das imagens, chegou-se a um resultado com base em todos os dados gerados. Vale salientar que o modelo para os tipos de ventilação da sala teve como base uma imagem retirada do E-book “The essential guide to architecture and interior designing”, de arquitetura e designer de interiores e foi a partir dela que a geometria foi gerada. Veja a imagem a seguir na Figura 2:



Fonte: 07sketches; architecture and interior designing, 2020.

Logo abaixo na Tabela 1 estará descrito as dimensões da sala e das janelas que estão contidas nela.

Tabela 1: Dimensões dos elementos da geometria

	Dimensões (m)		
	Sala	Janela de entrada	Janela de Saída
Geometria	7x5x3	0,7x0,9	0,9x1,1

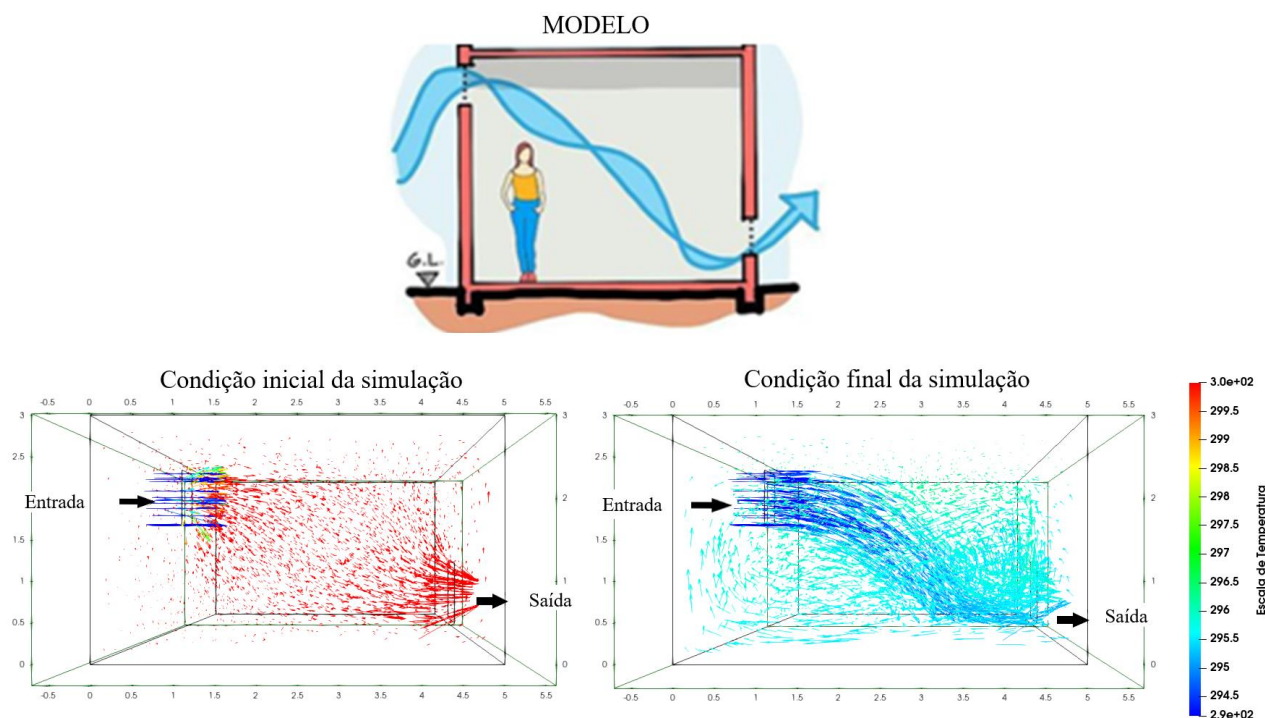
Fonte: Próprio autor (2023)

Todas as janelas foram posicionadas sempre na mesma coordenada da sala, sendo modificada apenas as suas respectivas alturas a depender de cada modelo. Além disso, todas as simulações contam com as mesmas quantidades de passos de tempo, não havendo diferenças de um modelo para outro.

3.1 Primeiro padrão de fluxo de ar

Seguindo a ordem de modelos disposta na Figura 2, a Figura 3 logo a seguir é o resultado da primeira simulação na geometria criada.

Figura 3: Resultado obtido no primeiro caso da simulação



Fonte: Próprio autor (2023)

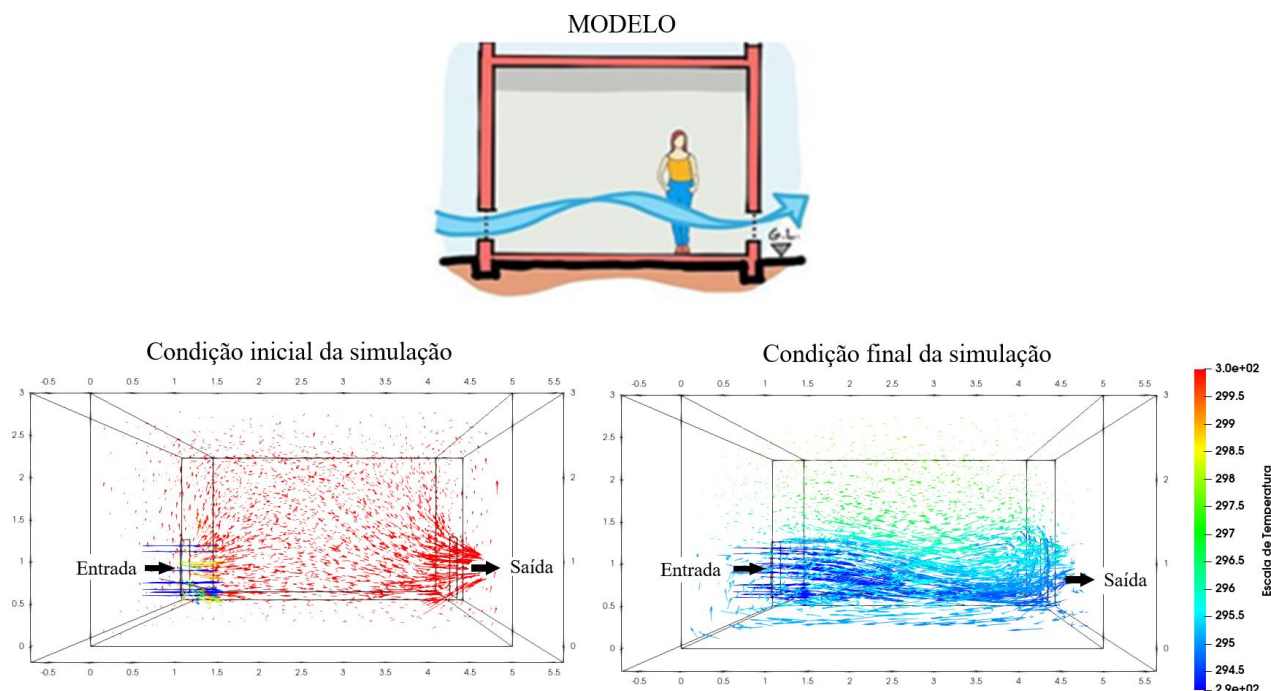
Como pode ser observado nos resultados acima, inicialmente a sala começa com uma temperatura de aproximadamente 300 K, enquanto o fluido de entrada está a uma temperatura de 290 K assim como é demonstrado pela cor dos vetores de fluxo e orientado na escala de temperatura. Vale salientar também que o ar está entrando no ambiente a uma velocidade de $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Ao final da simulação, no ultimo passo de tempo a sala já se encontra praticamente toda com uma temperatura de aproximadamente 295.5 K, havendo uma redução substancial de temperatura. Essa percepção de temperatura ao longo do tempo da sala influência diretamente na análise do conforto térmico do ambiente com relação a esse tipo de ventilação.

Ademais, pode-se notar também que ao final da simulação o ambiente está relativamente bem preenchido com os vetores de fluxo do fluido, indicando que o ar se espalhou por todo o ambiente, colaborando assim para que uma possível contaminação que esteja presente seja expelida na saída do fluido. Tal fator além de favorecer a saúde dos ocupantes do local, favorece ainda para que o ambiente se torne mais arejado.

3.2 Segundo padrão de fluxo de ar

A Figura 4 é composta pelas imagens dos resultados tratados, obtidos utilizando o segundo tipo de arquitetura das janelas.

Figura 4: Resultado obtido no segundo caso da simulação



Fonte: Próprio autor (2023)

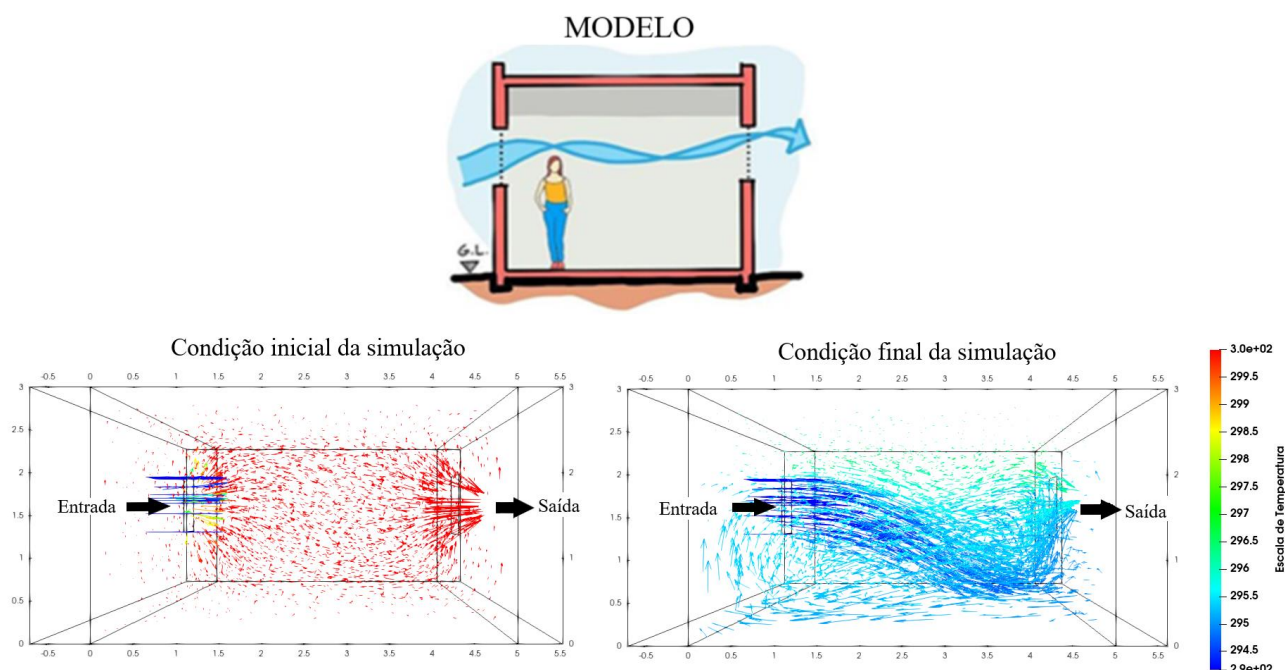
Diferentemente do primeiro modelo, a arquitetura exposta acima é composta pela janela de entrada e saída do fluido posicionadas na parte inferior da sala, bem próximas ao solo. A velocidade e temperatura de entrada do fluido é a mesma do primeiro tipo de arquitetura e também será assim no terceiro e no quarto tipo, assim como a temperatura interna que o ar se encontra.

Partindo para a análise do comportamento e temperatura do fluido no final da simulação, é evidente que o ar se concentrou em maior quantidade na parte inferior, próximo ao piso, assim como a temperatura neste local em específico reduziu de 300 K para aproximadamente 294 K. Entretanto, na altura cima de 1,5 m até o limite do teto não houve um grande fluxo de ar, o que prejudicou o conforto térmico, deixando a temperatura desta área em específico em cerca de 297 K. Além disso, pela falta de um fluxo constante de ar, doenças presente nessa área da sala podem não terem sido completamente expelidas junto ao ar que saiu, proporcionando um maior risco de contaminação, visto que essa altura é onde se encontra as vias aéreas de entrada do corpo humano.

3.3 Terceiro padrão de fluxo de ar

A seguir, na Figura 5, estará disposto as imagens dos resultados do terceiro tipo de arquitetura de ventilação composto neste trabalho.

Figura 5: Resultado obtido no terceiro caso da simulação



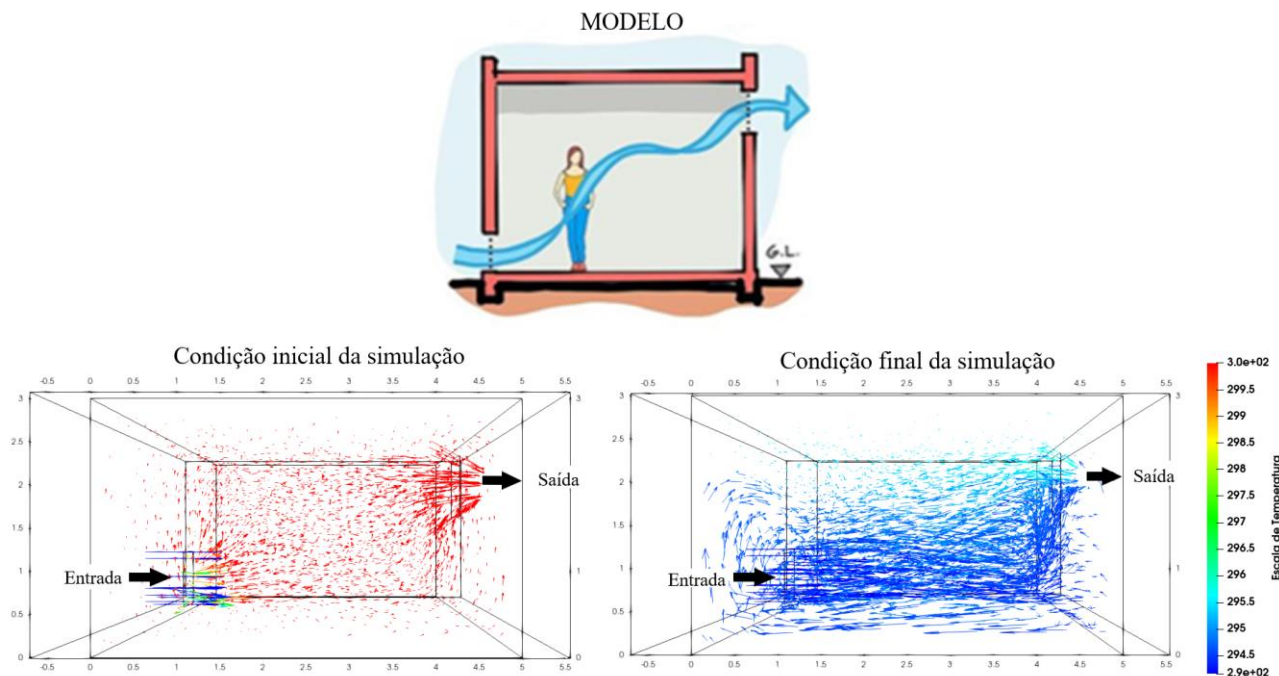
Fonte: Próprio autor (2023)

Assim como foi dito anteriormente, as condições iniciais são as mesmas em todos os quatro casos, mudando apenas a posição da janela. Sendo assim, ao analisar o padrão de entrada do fluxo de ar no ambiente no último passo de tempo da simulação, percebe-se que praticamente a sala inteira está preenchida de maneira homogênea com o ar, o que pode ser considerado um aspecto positivo visando a troca do ar interno pelo externo.

Ademais, pode ser constatado também que a sala se entra em uma média de temperatura entre 294 K e 296 K, havendo um fluxo de ar mais frio próximo a entrada do fluido. Entretanto, ao analisar a área da sala a partir da altura de 2 m, percebe-se uma zona de acúmulo de um ar mais quente, em torno de 298 K, além de conter um fluxo pequeno de ar, comparado com o restante do ambiente. Mesmo sendo relativamente uma altura maior do que a que geralmente os seres humanos que venham a ocupar a sala possuem, isso pode causar algum desconforto a depender dos tipos de objetos presentes ali e da quantidade de pessoas dentro do ambiente, o que acaba sendo um aspecto negativo a ser considerado e colocado na balança da decisão.

3.4 Quarto padrão de fluxo de ar

Figura 6: Resultado obtido no quarto caso da simulação



Fonte: Próprio autor (2023)

Inicialmente, deve ser enfatizado que na condição final da simulação a temperatura predominante do ar que ocupa a sala está em cerca de 294 K, tendo uma diferença expressiva de 6 K da temperatura inicial. Tal condição mostra que esse tipo de arquitetura é bem eficiente com relação a redução da temperatura do ambiente, favorecendo o conforto térmico dos ocupantes da sala.

Além disso, outro fator a ser considerado é a presença muito bem distribuída do fluido em todo o volume do ambiente, tendo apenas algumas falhas entre a altura 2,5m e o teto, mas que mesmo com isso, a temperatura dessa área está em cerca de 295,5 K. Essa homogeneidade da ocupação do fluido no ambiente indica que ao entrar, ele percorre todo a sala e se encaminha para a saída. Esse comportamento é de extrema importância para que qualquer infecção que esteja presente no ar seja levada para fora, diminuindo a probabilidade de os ocupantes do local ficarem doentes.

Portanto, ao analisar todos os pontos em questão a qual foram a fundamentação desse artigo, percebe-se que esse tipo de modelo de ventilação é eficiente tanto no aspecto do conforto térmico, reduzindo em 6 K na temperatura do ambiente, quanto no melhor fluxo de ar dentro da sala, deixando o ambiente mais arejado e reduzindo o risco de contaminação por doenças que são transmitidas pelo ar.

4. CONCLUSÕES

Primordialmente, ao longo deste trabalho foi possível vislumbrar um pouco do que as ferramentas livres, ou seja, gratuitas, e no caso do software OpenFOAM sendo também de código aberto, tem a capacidade de representar os resultados de maneira mais completa de como tudo ocorreu na simulação ao longo do tempo. Tais ferramentas são extremamente poderosas, utilizadas e desenvolvidas ao redor de todo o mundo, até mesmo por empresas poderosas e de grande porte. Sendo assim, a difusão das mesmas é de extrema importância para que a área ganhe visibilidade no território nacional brasileiro, podendo ser explorada por qualquer pesquisador que tenha interesse em trazer inovações em todas as áreas da engenharia e da física de forma geral.

Ademais, focando nos resultados obtidos na simulação tema deste trabalho, pode-se perceber que ao mudar apenas a altura das janelas de entrada e saída do fluido o comportamento do mesmo é também alterado, seja para melhor ou para pior.

O primeiro caso, mesmo tendo um bom fluxo de ar percorrendo todo ao ambiente, não foi tão favorável quanto ao aspecto do conforto térmico, ficando a uma temperatura de 295,5 K. O segundo caso, por outro lado, deixou claro a falha tanto na questão do conforto térmico, resfriando apenas a região próximo à altura das janelas, quanto no aspecto do baixo fluxo de ar na da altura de 1,5 m até o teto. O terceiro caso, teve um comportamento favorável com relação ao fluxo de ar pelo ambiente, falhando apenas da altura de 2 m até o limite do teto, porém, a temperatura ficou em uma média entre 294 K e 296 K, tendo uma eficiência não tão alta com relação a redução da temperatura do ambiente. Por fim, o quarto e último caso demonstrou pontos positivos em todos os aspectos, tendo uma ótima

homogeneidade no fluxo de ar ao longo da sala e também com relação ao conforto térmico, visto que a sala praticamente inteira ficou a uma temperatura de 294 K.

Portanto, com base em todos os fatos listados anteriormente, que podem ser visualizados nas imagens expostas nos resultados deste artigo, pode-se inferir que o melhor tipo de arquitetura de ventilação é a do quarto caso. Tal arquitetura reduziu substancialmente a temperatura do ambiente, razão pela qual favorece o conforto térmico, além de ter suas linhas de fluxo do ar homogeneamente espalhadas ao longo da sala, também favorecendo o conforto térmico e melhorando efetivamente a qualidade do ar, fato esse que também é responsável pela qualidade da saúde dos ocupantes do local.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Junior, Claudio Rodrigues & Filho, William Manjud Maluf, “ESTUDO MATEMÁTICO DOS ELEMENTOS FINITOS UTILIZADOS EM CÁLCULO ESTRUTURAL”, IX Simpósio de Iniciação Científica, Didática e de Ações Sociais da FEI, 1-2, 2019.

Liping, Wang; Hien, Wong Nyuk; Shuo Li; “Facade design optimization for naturally ventilated residential buildings in Singapore”, ScienceDirect – Energy and Building 39, 954–961, 2007.

Malviya, Bhupeshkumar, “The essential guide to architecture and interior designing”, 07sketches, E-book, 2020.

ParaView, ParaView 2023. Disponível em: <https://www.paraview.org/>. Acesso em: 25/01/2023

SimulEase, Code_Aster para Windows, Salome_Meca, 2021. Disponível em: <https://code-aster-windows.com/>. Acesso em: 05/01/2023

The OpenFOAM Foundation, OpenFOAM 2023. Disponível em: <https://openfoam.org/>. Acesso em: 02/01/2023