

Avaliação do Conforto Térmico de uma Sala de Aula: Uma Aproximação CFD**Thermal Comfort Evaluation of a Classroom: A CFD Approach**

DOI:10.34117/bjdv6n7-151

Recebimento dos originais: 03/06/2020

Aceitação para publicação: 08/07/2020

Luiz Justino da Silva Junior

Mestre em Modelagem Computacional pela Universidade Estadual de Santa Cruz
Instituição: Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB)
Endereço: Avenida Dr. Manoel Novaes, 1064 - Centro, Bom Jesus da Lapa-BA, Brasil
E-mail: luiz.silva@ufob.edu.br

André Issao Sato

Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas
Instituição: Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB)
Endereço: Avenida Dr. Manoel Novaes, 1064 - Centro, Bom Jesus da Lapa-BA, Brasil
E-mail: andre.sato@ufob.edu.br

Iuri Benedito da Silva Santos

Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Oeste da Bahia
Instituição: Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB)
Endereço: Avenida Dr. Manoel Novaes, 1064 - Centro, Bom Jesus da Lapa-BA, Brasil
E-mail: iuribeneditos@gmail.com

Rafael Pereira da Cruz

Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Oeste da Bahia
Instituição: Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB)
Endereço: Avenida Dr. Manoel Novaes, 1064 - Centro, Bom Jesus da Lapa-BA, Brasil
E-mail: rafaelpereira.2013@hotmail.com

RESUMO

O conforto térmico constitui um dos parâmetros mais importantes relacionados ao bem-estar, este por sua vez desempenha um papel importante no conceito de produtividade quando se analisa um ambiente de trabalho, ou mesmo um ambiente universitário como um auditório ou uma sala de aula. Com isso, esse estudo consiste em avaliar, por meio da simulação computacional, o comportamento fluidotérmico associado ao conforto térmico na sala de aula da Universidade Federal do Oeste da Bahia, centro multidisciplinar de Bom Jesus da Lapa- BA. O software *ANSYS* (versão *Student*) foi utilizado, sendo possível investigação das fases de pré-processamento, processamento e resultados que envolvem o problema. Um estudo comparativo entre os aparelhos de ar-condicionado em sua posição convencional e na nova posição foram observados, de modo a examinar os campos de temperatura e velocidade ao redor dos corpos hipotéticos (estudantes sentados).

Palavras-chave: Conforto térmico, velocidade do ar, temperatura, simulação computacional.

ABSTRACT

The thermal comfort is one of the most important parameters related to well-being, this for your time plays an important role in the concept of productivity when it evaluates a workplace, or even a

university environment as an auditorium or a classroom. Thereby, this study consists in evaluate, through computational simulation, the fluid-thermal behavior related to the thermal comfort in Federal University of Western Bahia auditorium, multidisciplinary center of Bom Jesus da Lapa. The ANSYS software (*Student* version) was used, being possible investigation of preprocessing phase, processing results that involve the problem. A comparative study between air conditioning equipments in its conventional location and in a new location were observed, to examine the temperature and velocity fields around hypothetic bodies (students seated).

Keywords: Thermal comfort, air velocity, temperature, computational simulation.

1 INTRODUÇÃO

Segundo Zomorodian, Tahsildoost e Hafezi (2016), em sociedades modernas as pessoas gastam mais de 90% de seu tempo dentro de uma construção. De acordo com os mesmos Autor.es, estudantes gastam mais tempo na escola do que em outra construção exceto em suas casas, ressaltando-se a importância de fornecer condições térmicas confortáveis em ambientes internos. Conforto térmico tem sido relacionado à produtividade e bem estar, e conservação de energia em instituições educacionais tem ganhado relevância em anos recentes (ZOMORODIAN; TAHSILDOOST; HAFEZI, 2016).

Conforto térmico em edifícios educacionais, em particular, é extremamente importante (BARBHUYIA, Saadia; BARBHUYIA, Salim, 2013). Isto é porque desconforto térmico em tais construções pode criar condições insatisfatórias para funcionários e estudantes. Tal desconforto pode ser uma distração para os ocupantes e é provável que reduza sua produtividade e desempenho (BARBHUYIA, Saadia; BARBHUYIA, Salim, 2013). Por estas razões, pesquisa sobre conforto térmico em construções educacionais está sendo realizada em várias partes do mundo (BARBHUYIA, Saadia; BARBHUYIA, Salim, 2013).

De acordo com Halawa, Van Hoof e Soebarto (2014), conforto térmico é determinado pelo efeito combinado de seis parâmetros: temperatura, teor de umidade do ar, radiação térmica, velocidade relativa do ar, atividade pessoal e nível de roupa. Em Sistema de condicionamento de ar não convencional, temperatura do ar é o parâmetro que é normalmente controlado enquanto outros são assumidos a ter valores dentro das variações especificadas na fase de projeto (HALAWA; VAN HOOF; SOEBARTO, 2014). De acordo com a ASHRAE Standard (2010), “Conforto térmico é a condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico”. A sensação de conforto térmico mediante as condições ambientais depende do indivíduo, pois, os mesmos possuem diferentes características fisiológicas e psicológicas (LAMBERTS, 2008).

O ser humano é caracterizado por possuir um organismo homeotérmico, portanto possuem a capacidade de manter a sua temperatura corporal constante independentemente das condições

térmicas do ambiente, tal temperatura compreende uma faixa entre 35 a 36,5 °C. Quando o ambiente apresenta situações de desconforto térmico o ser humano ativa seus mecanismos termorregulatórios com o objetivo de manter sua homeotermia (LAMBERTS, 2008). Ainda segundo Lamberts (2008), “Temperaturas além dos limites de conforto podem causar fadiga térmica e, conseqüentemente, mal-estar, redução do desempenho no trabalho, perda total da capacidade de realizar atividades intelectuais, problemas de saúde e até morte”.

Os mecanismos físicos segundo Ruas (1999) utilizados pelo ser humano a fim de manter sua temperatura constante, são: convecção, radiação e evaporação; e os fatores que influenciam são: a temperatura do ar, a umidade relativa do ar, a ventilação do ambiente e a vestimenta usada pelas pessoas. Na convecção o corpo troca calor com ar circundante a partir da diferença de temperatura existente entre os dois. A transferência de calor por radiação se dá por meio das ondas eletromagnéticas que são responsáveis por proporcionar a transmissão da energia radiante existente entre os corpos, por fim, o mecanismo de evaporação, onde o organismo intensifica a produção de suor a partir das glândulas sudoríparas, acarretando em uma perda de calor devido a evaporação da umidade que se forma sobre a pele (RUAS, 1999).

Além dos mecanismos termorreguladores que são algo intrínsecos do ser humano, tem-se ainda dispositivos que garantem conforto térmico, são estes os aparelhos de climatização, sendo os comumente utilizados os resfriadores de ar convencionais, que operam desenvolvendo um ciclo de compressão mecânica de vapor, caracterizados pela grande capacidade de remoção do calor do ambiente, garantindo mesmo em dias muito quentes o conforto térmico (FERREIRA; ALMEIDA; MAFRA, 2006).

O semiárido brasileiro é caracterizado por possuir períodos de longas secas, e variações de temperaturas médias anuais elevadas. A cidade de Bom Jesus da Lapa consiste em uma região localizada no Médio São Francisco, Oeste do estado da Bahia. Possui segundo Koppen a classificação climática do tipo BSwH, caracterizado por semiárido quente, baixos índices pluviométricos, com chuvas de verão e período seco bem definido no inverno. Com médias anuais de temperatura de 18°C a 37°C (DIEBEL; NORDA; KRETCHMER, 2016). O sol constitui a principal fonte geradora de calor, este por sua vez incide sobre uma dada construção residencial resultando sempre em um certo ganho de calor, sendo função direta da intensidade com a qual a radiação solar incide, bem como das características térmicas dos parâmetros da residência. Quando expostos aos raios solares, os elementos de uma edificação, diretos ou difusos, resultantes de uma radiação de alta temperatura, podem ser classificados como: opacos; transparentes ou translúcidos (FROTA; SCHIFFER, 2001).

Tendo como base o contexto exposto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar numericamente, através de simulação computacional, o comportamento fluidotérmico em espaço

interno, de modo a identificar parâmetros associado ao conforto térmico alcançado na sala de aula da Universidade Federal do Oeste da Bahia, campus de Bom Jesus da Lapa.

2 EQUAÇÕES GOVERNANTES

Para a análise fluido térmica de conforto térmico em espaço interno, busca-se formular matematicamente o fenômeno em estudo combinando as técnicas de escoamento de fluido e transferência de calor em espaço interno. Desse modo, faz-se necessário a representação quantitativa do problema a ser investigado para posterior solução numérica via simulação computacional.

Considerando o sistema de coordenadas cartesiano adotado para a região do espaço sob investigação, Posrikidis (2009) afirma que uma equação diferencial para a conservação de massa, também chamada de equação da continuidade, é dado pela seguinte expressão:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) \quad (1)$$

Onde ρ é a massa específica, t é o instante de tempo e \mathbf{u} é o instante de tempo.

Com relação ao movimento de fluido, ele é representado pela equação de Navier-Stokes que, segundo Posrikidis (2009), é descrita em sua forma reduzida da seguinte forma:

$$\rho \frac{D\mathbf{u}}{Dt} = -\nabla p + \mu \nabla^2 \mathbf{u} + \rho \mathbf{g} \quad (2)$$

Onde o primeiro termo do lado esquerdo corresponde ao produto entre a massa específica e a aceleração total, o primeiro termo direito é o gradiente de pressão, o segundo termo direito é o produto entre a viscosidade absoluta e o laplaciano do vetor velocidade, e o terceiro termo direito é o produto entre a massa específica e o vetor aceleração da gravidade. Substituindo o terceiro termo direito da Eq. (2) pelo termo de fluabilidade, conforme abordado em artigo de Alizadeh e Sadrameli (2018), tem-se que:

$$\rho \frac{D\mathbf{u}}{Dt} = -\nabla p + \mu \nabla^2 \mathbf{u} + \rho \mathbf{g} \beta (T - T_{ref}) \quad (3)$$

Sendo β o coeficiente de expansão térmica, T a temperatura variável, e T_{ref} a temperatura de referência.

Com respeito à equação de energia, de acordo com Ravikumar e Prakash (2009), pode ser representada da seguinte forma:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t}(\rho C_p T_o) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u_x C_p T_o) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho u_y C_p T_o) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho u_z C_p T_o) \\ & = \frac{\partial}{\partial x}\left(K \frac{\partial T_o}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(K \frac{\partial T_o}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(K \frac{\partial T_o}{\partial z}\right) + W^V + E_K \quad (4) \\ & + Q_V + \phi + \frac{\partial p}{\partial t} \end{aligned}$$

Onde C_p é o calor específico, T_o é a temperatura total, K é a condutividade térmica, W^V é o termo de trabalho viscoso, Q_V é a fonte de calor volumétrica, ϕ é o termo de geração de calor viscoso, E_K é a energia cinética, e u_x , u_y e u_z são as componentes de velocidade nas direções x , y e z .

Tais equações são inseridas nos chamados códigos CFD (*Computational Fluid Dynamics* – Dinâmica dos Fluidos Computacional). Segundo Freitas (2011), tais códigos contêm três passos básicos, o pré-processamento, o processamento e o pós-processamento. O primeiro é utilizado para definir o problema em termos da geometria, como gerar a malha e as condições de contorno, o segundo refere-se a solução das equações relativas que envolvem o problema dado as definições estabelecidas no primeiro passo, são quatro os métodos distintos que são utilizados para a solução destas equações, sendo: o método das diferenças finitas, dos elementos finitos, dos volumes finitos e a técnica espectral. E por fim, utiliza-se o pós-processamento para a análise dos resultados, obtidos sob forma de valores, gráfico ou figuras elucidativas.

O tempo que envolve a fase de processamento de uma simulação CFD está diretamente relacionado com a escolha dos algoritmos numéricos bem como dos valores impostos, como critérios de parada, parâmetros que envolvem a discretização como a qualidade da malha ou tamanho. Esses por sua vez, refletem na qualidade dos resultados que serão obtidos (FREITAS, 2011). No geral, o quão exato vai ser uma solução dependerá do quão refinado será os parâmetros utilizados, entretanto isso demanda mais tempo de processamento e conseqüentemente uma elevação no custo, com isso, melhorias devem ser realizados de forma a proporcionar redução neste fator.

3 METODOLOGIA

O trabalho consistiu em uma análise numérica do problema fluidotérmico, utilizando o software Ansys CFX para a discretização do domínio e cálculo das equações governantes. Uma análise transiente foi realizada para compreender 2 horas de operação dos ares condicionados e sujeitos à máxima carga térmica de radiação horária média no verão de Bom Jesus da Lapa-BA.

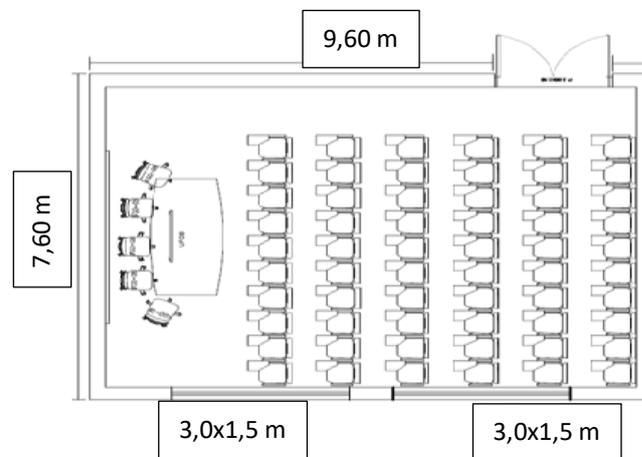
3.1 GEOMETRIA

A modelagem geométrica se deu a partir da planta baixa do recinto, conforme Tabela 1 e Figura 1, no qual o domínio final corresponde ao espaço ocupado pelo ar na sala e os corpos dos estudantes são representados por cilindros, conforme Figura 2.

Tabela 1 – Dimensões do recinto. Fonte: Autor.

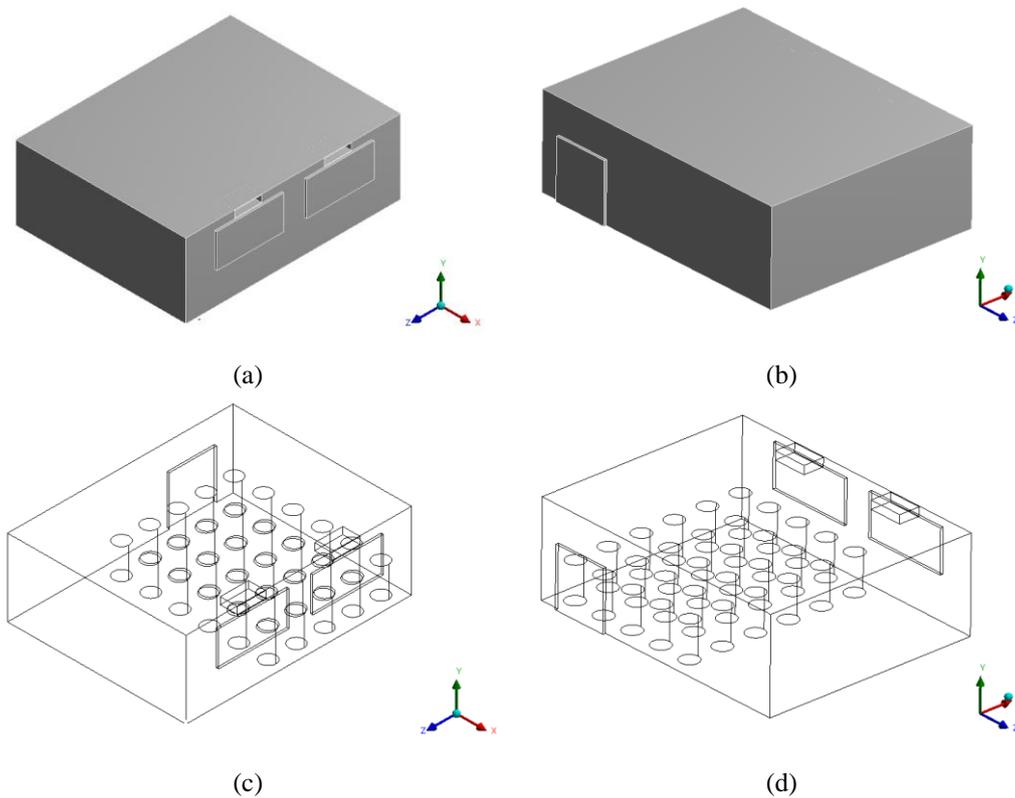
Medidas	Dimensões (m)
Altura	3,3
Comprimento	9,60
Largura	7,6

Figura 1: Planta da sala de aula. Fonte: Autor.



As portas foram consideradas fechadas, bem como as janelas, e os aparelhos de ar-condicionado foram considerados como recortes do domínio. Os estudantes, num total de 30, foram modelados como cilindros de dimensão 65 cm de diâmetro e 130 cm de altura (considerando os estudantes sentados). Os aparelhos de ar condicionado possuíam dimensões de 120 cm de largura, 30 cm de altura e 73,5 cm de comprimento, com a instalação a 295 cm do chão. A Figura 2a-b mostra a vista isométrica da sala e a vista interna é apresentada na Figura 2c-d.

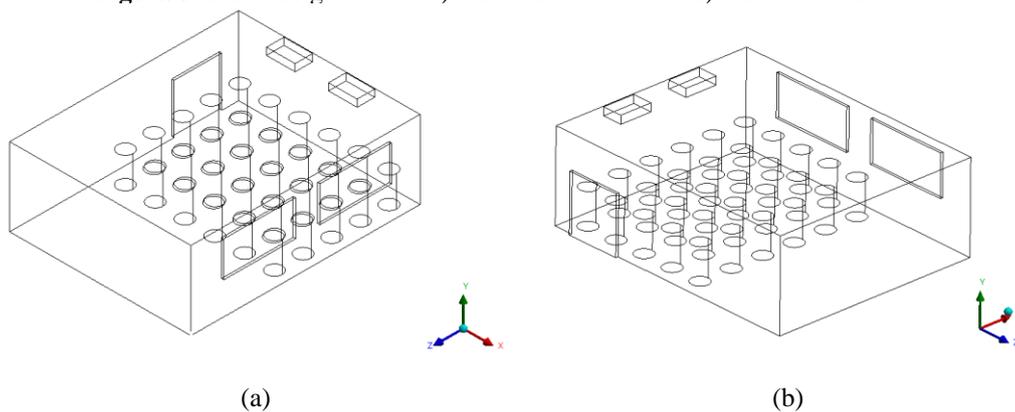
Figura 2: Domínio gerado em a) vista frontal, b) vista lateral, c) vista frontal interna e d) vista lateral interna.



Fonte: Autor.

Uma configuração alternativa foi proposta para a sala de aula, contendo os aparelhos de ar-condicionado na lateral de menor comprimento da sala, permitindo maior distância percorrida para o ar frio percorrer. A Figura 3a-b apresenta a geometria proposta.

Figura 3: Domínio gerado em a) vista frontal interna e b) vista lateral interna.



Fonte: Autor.

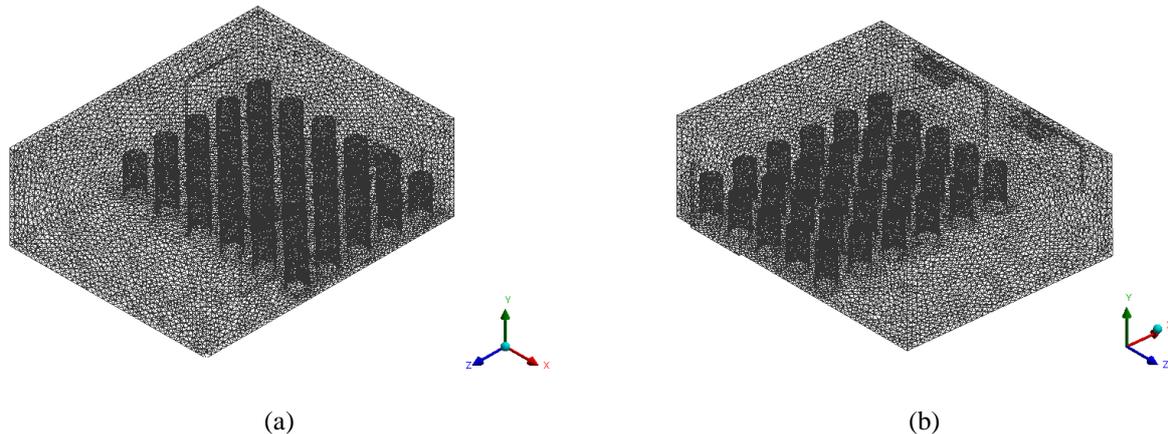
3.2 MALHA

Após a definição da geometria, iniciou-se a construção da malha com elementos tetraédricos em todo o domínio. O modelo final apresentou 417.869 elementos, com refino próximo às paredes e

aos corpos dos estudantes, de modo a promover maior precisão local com respeito à solução numérica. A malha é apresentada na Figura 4.

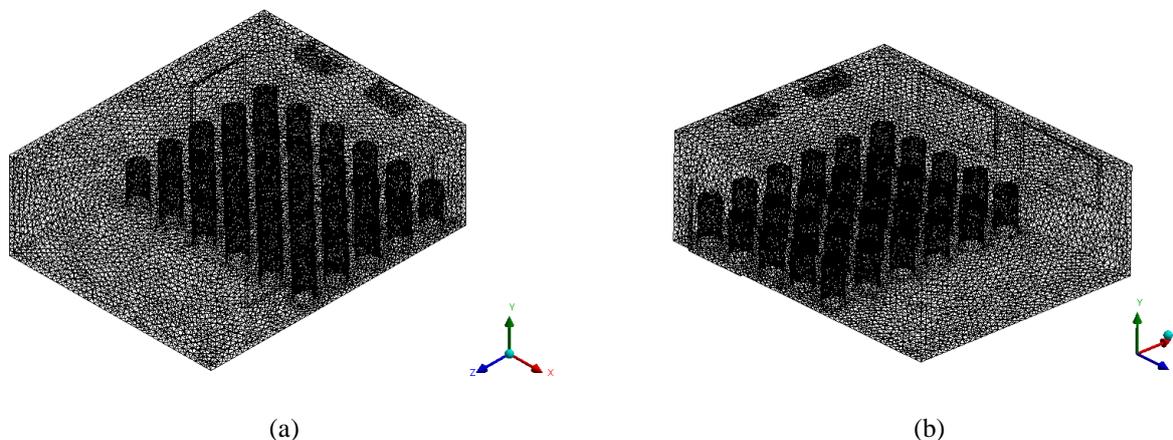
Uma malha de mesmas características foi construída para a geometria alternativa, conforme apresentado na Figura 5a-b.

Figura 4: Malha gerada para a geometria padrão: a) vista frontal e b) vista lateral.



Fonte: Autor

Figura 5: Malha gerada com nova posição dos aparelhos de ar-condicionado: a) vista frontal e b) vista lateral.

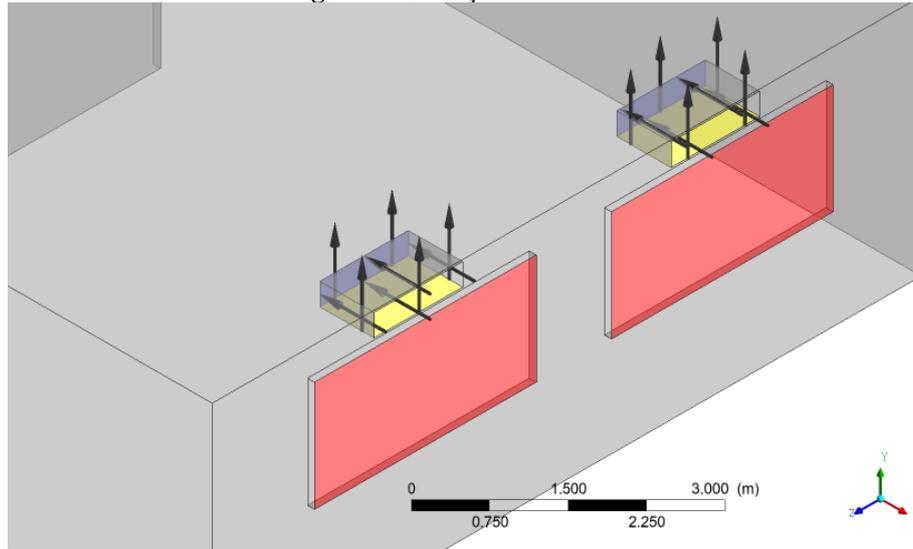


Fonte: Autor

3.3 CONDIÇÕES DE CONTORNO

A simulação realizada compreendeu 2 horas de operação do sistema de ar-condicionado e operando na condição de máxima carga térmica em um dia de verão. As condições de contorno definidas no domínio são indicadas na Figura 6, nas janelas (em vermelho) foi aplicado um fluxo de calor para representar a radiação solar incidente, nos aparelhos de ar-condicionado a seção azul representou a entrada de ar frio no ambiente e a seção amarela representou a saída do ar do ambiente para o aparelho. As demais superfícies foram consideradas adiabáticas (não há troca de calor).

Figura 6: Condições de contorno



Fonte: Autor.

Conforme exibido em Tabela 2, para os aparelhos de ar-condicionado definiu-se a velocidade de saída como sendo igual a 1,5 m/s com uma correspondente temperatura de 20 °C. Para as janelas definiu-se um fluxo térmico a partir da irradiação solar incidente.

Tabela 2 – Condições de fronteira.

Localização	Condição de fronteira
Entrada de Ar	Velocidade conhecida 1,5 m/s Temperatura conhecida 20 °C
Saída de Ar	Velocidade conhecida 1,5 m/s Pressão Rel. conhecida 0 Pa
Janelas	Fluxo de Calor conhecido 875 W/m ² K
Carga Térmica	Temperatura de superfície conhecida 36 °C

Fonte: Autor.

Os valores de radiação utilizados foram obtidos a partir do INMET, para os valores médios diários da radiação solar partindo de uma série histórica de 11 anos, para a cidade de Bom Jesus da Lapa (BA), no horário de 12:00 h. Os valores foram escolhidos considerando um dia típico de verão (Tabela 3).

Tabela 3 – Irradiação para os dias típicos.

Dia típico	Irradiação
Verão	875 W/m ²

Fonte: INMET.

Definiu-se ainda, para uma quantidade 30 pessoas, uma condição de contorno de temperatura conhecida na superfície de cada cilindro representando os estudantes. A análise foi transiente e buscou-se o funcionamento do sistema por 1 hora, com a utilização do modelo de turbulência k-epsilon. A mesma metodologia foi aplicada na geometria alternativa, compreendendo uma simulação transiente de 2 horas de operação e na máxima exposição de radiação solar.

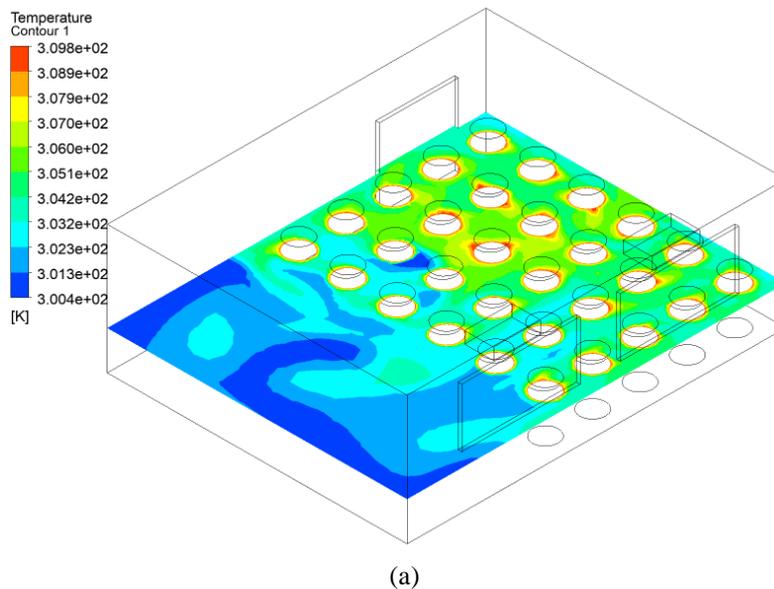
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

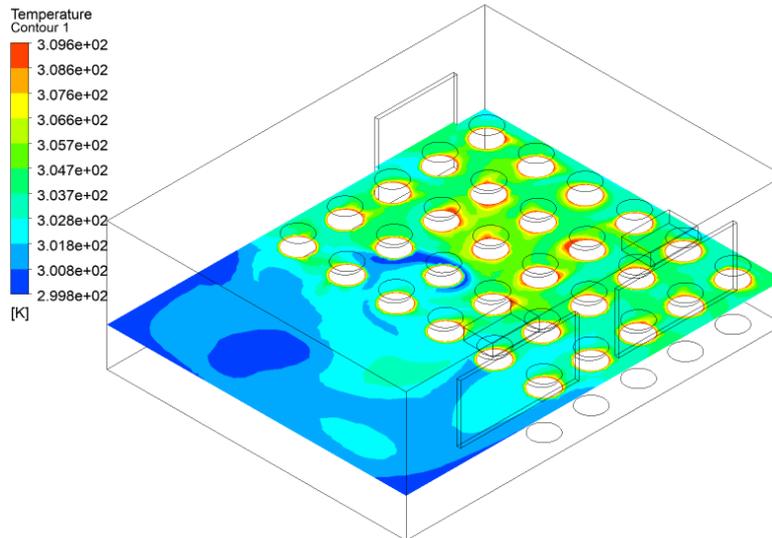
Os resultados obtidos são apresentados quanto à distribuição de temperaturas no interior do domínio, para os dois modelos estudados e considerando o escoamento do ar nos mesmos.

4.1 GEOMETRIA ORIGINAL

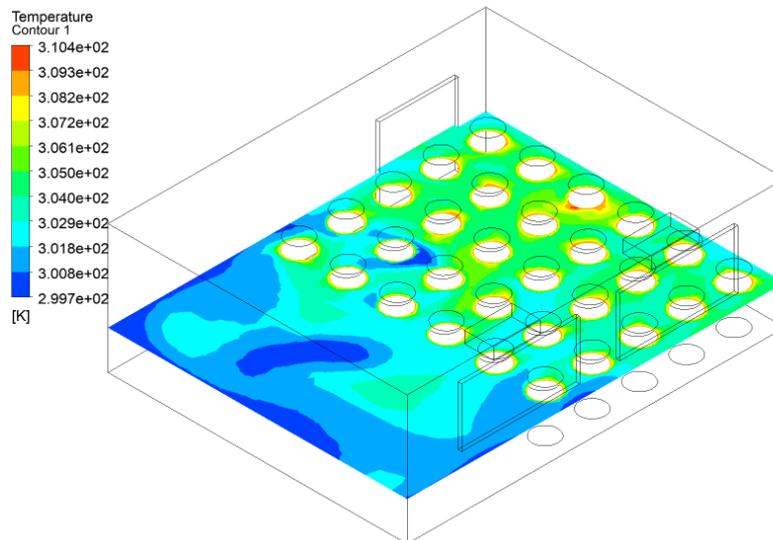
O comportamento da temperatura ao longo do domínio é apresentado nas Figuras 7a-c, compreendendo os instantes de 10, 60 e 120 minutos de simulação, respectivamente. Observa-se que a região destinada ao docente na sala apresenta temperatura de 26 a 30 °C, em sua maioria, enquanto os estudantes estão localizados em uma região com temperatura superior a 30°C. Os estudantes próximos à porta, por sua vez, estão sujeitos à temperaturas próximas de 37 °C.

Figura 7: Comportamento da temperatura no interior da sala de aula para: a) 10 min, b) 60 min e c) 120 min





(b)



(c)

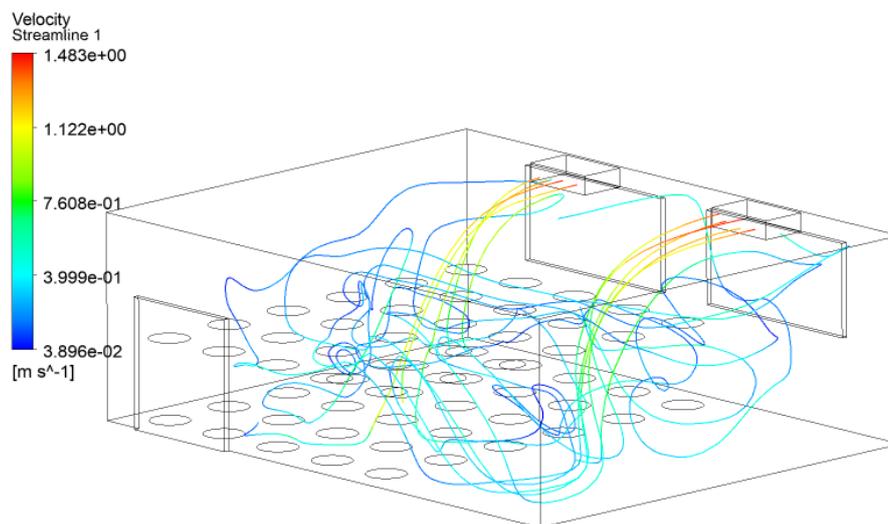
Fonte: Autor.

Com respeito à Figura 7, fez-se uma geração do plano de corte a fim de se observar o comportamento térmico dos corpos cilíndricos em posição vertical intermediária, no que diz respeito ao processo de resfriamento no espaço interno. Ainda com base na Figura 4a-c, reforçando que o processo fluidotérmico acontece em regime transiente, pode-se verificar a mudança nos aspectos de troca de calor entre fluido e superfícies (piso, paredes e corpos cilíndricos) a medida que o fluido se desloca em função da velocidade do mesmo, bem como a variação na massa específica de tal estado da matéria. Os resultados expõem a visualização do menor campo de temperatura (Figura 7 – cor azul) na região afastada dos corpos cilíndricos, ou seja, maior concentração de massa de ar “frio”. Os corpos cilíndricos apresentam temperatura máxima (Figura 7 – cor laranja), com ar atmosférico

apresentado temperatura intermediária (Figura 7 – cor verde) nas suas proximidades, correspondendo ao processo de transferência de calor por convecção. Vale ressaltar que, ao longo das horas, o processo de transferência de calor tende a se estabilizar, atingindo-se o equilíbrio térmico forçado pelos aparelhos de ar-condicionado (chegando-se ao regime permanente – independente do tempo).

A Figura 8 a seguir mostra o comportamento da velocidade do ar no interior da sala. O escoamento encontra pouca resistência para mover-se à região em que o docente permaneceria na sala, mas apresenta dificuldade de escoar na anterior desta e provoca um efeito de baixa circulação de ar frio nesta região. Velocidades abaixo de 1 m/s são observadas no escoamento ao longo dos estudantes e na região do docente, condizentes com questões de conforto térmico.

Figura 8: Velocidade no interior da sala de aula para geometria padrão.



Fonte: Autor.

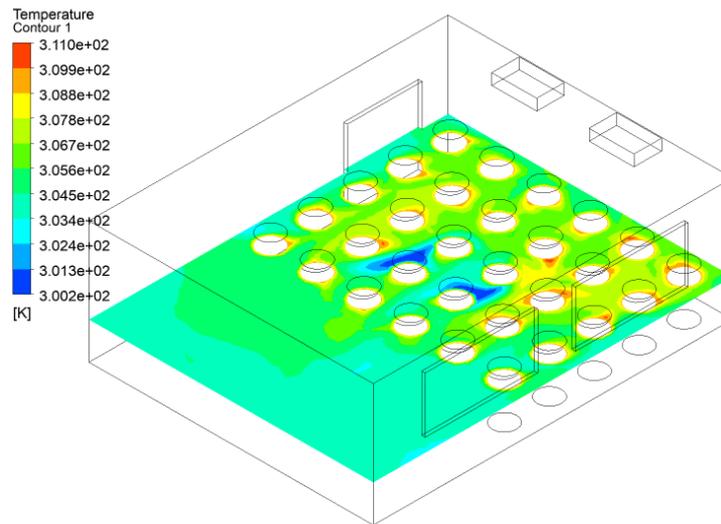
Verifica-se, a partir da Figura 8, uma velocidade máxima na seção de saída de ar dos equipamentos. Tal percepção é evidente uma vez que são os mesmos dispositivos os responsáveis pelo escoamento de ar “frio” para a sala. Adicionalmente, observa-se linhas de escoamento de ar com velocidade mínima próxima às paredes da sala, pois a colisão de massa de fluido com superfície sólida o faz desacelerar, gerando diminuição de energia cinética do ar em movimento. Assim sendo a máxima e a mínima velocidade identificada foi de 1,483 m/s e $3,896 \times 10^{-2}$, respectivamente.

Devido às características de instalação dos aparelhos de refrigeração, uma vez que o correto é que sejam posicionados de forma que o ar circule paralelamente a maior parede do ambiente, observa-se uma geração de microclimas no interior da sala. Isso implica em regiões mais “frias” ou mais “quentes”, além de afetar diretamente o mecanismo físico de troca de calor por convecção, que está diretamente relacionado à velocidade do vento.

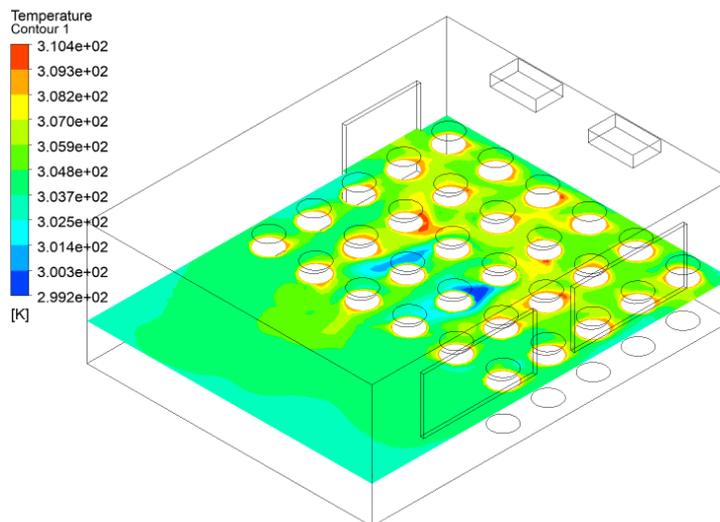
4.2 GEOMETRIA MODIFICADA

A Figura 9a-c exibe o comportamento térmico (regime transiente) com uma nova configuração no espaço interno, mudando-se a posição dos aparelhos de ar-condicionado e fixação deles em parede de menor comprimento.

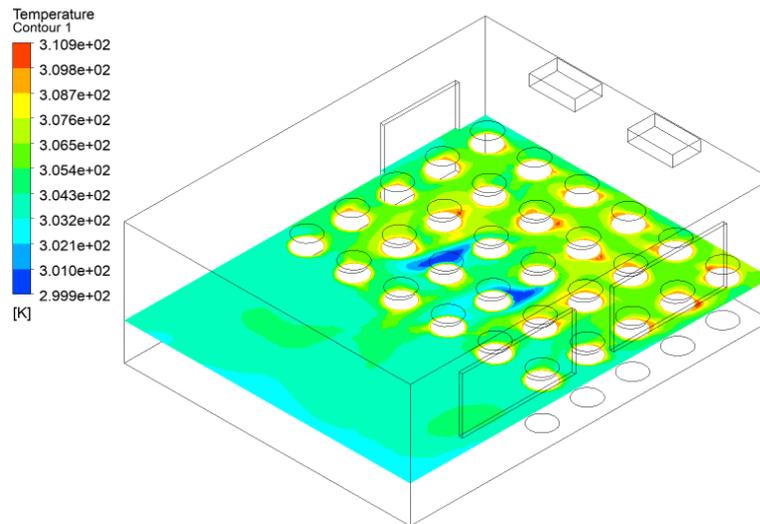
Figura 9: Comportamento da temperatura a geometria modificada no interior da sala de aula para: a) 10 min, b) 60 min e c) 120 min.



(a)



(b)



(c)

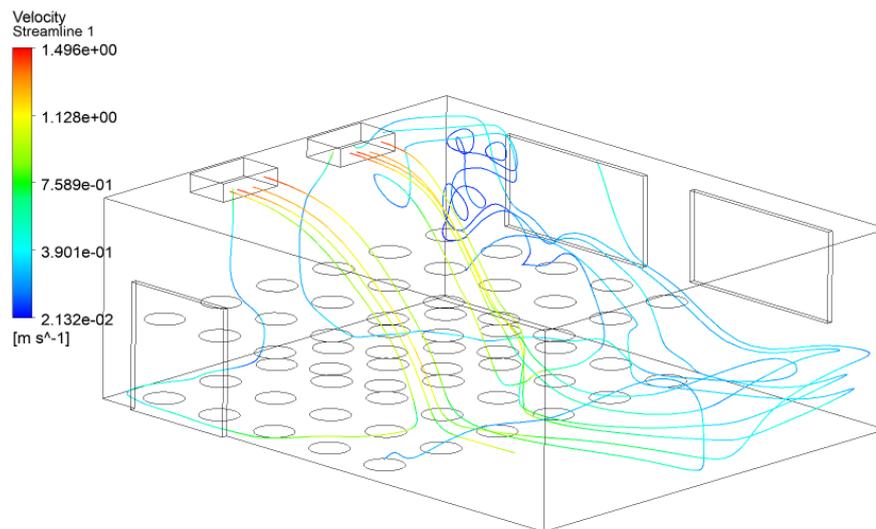
Fonte: Autor.

Observa-se, a partir de plano de corte na região intermediária dos corpos cilíndricos, que a temperatura na sala de aula se distribui com maior uniformidade quando comparado com a geometria padrão e atual do espaço interno em análise. O ar, antes de chegar na região sem corpos cilíndricos, interage com tais modelos trocando calor por convecção e aumentando sua temperatura. É possível perceber que o ar em movimento transporta calor de forma mais efetiva, pois a interação com superfícies de maior temperatura acontece de forma distribuída e simétrica com respeito ao escoamento de ar nas direções

X e Z. Desse modo, produz-se uma zona de temperatura mais uniforme nas proximidades dos corpos cilíndricos (quando comparado aos resultados apresentados para a geometria padrão). Vale destacar que, pelos resultados da simulação numérica, as regiões críticas de mínima temperatura estão localizadas aproximadamente no centro da sala (Figura 9).

A Figura 10 exhibe o comportamento da velocidade do ar no interior da sala com os equipamentos nas novas posições (parede de menor comprimento). A partir das linhas de escoamento apresentadas, nota-se uma maior desaceleração do ar em movimento nas paredes laterais, sendo que as mesmas estão mais próximas dos aparelhos na atual configuração. Evidencia-se velocidade máxima de 1,496 m/s e mínima de $2,132 \times 10^{-2}$ m/s. Também se observa o maior alcance de linhas de escoamento de ar frio, sendo que este fluido se desloca com maior liberdade no eixo Z.

Figura 10: Velocidade no interior da sala de aula para geometria modificada.



Fonte: Autor.

5 CONCLUSÕES

O presente estudo buscou destacar a relevância da análise de conforto térmico em espaço educacional, especificamente na sala de aula da UFOB campus de Bom Jesus da Lapa. Tal tema é de particular importância, uma vez que a cidade citada se encontra na região que possui uma das maiores radiações solares do país. Complementarmente, o consumo de energia elétrica reflete em uma das maiores despesas financeiras de instituições educacionais. Assim sendo, uma pesquisa aplicada, envolvendo simulação numérica foi proposta, no intuito de estudar preliminarmente alguns parâmetros que contribuem para o conforto térmico, este associado ao consumo de energia elétrica.

Com base nos resultados apresentados, sendo o campo de temperatura e velocidade os parâmetros investigados, observou-se um estudo numérico comparativo entre os aparelhos de ar-condicionado em sua posição convencional e posição modificada (colocação de equipamentos em parede de comprimento menor). Notou-se, para a nova posição, maior distribuição e uniformidade da energia térmica presente no espaço interno, nas proximidades dos corpos cilíndricos (modelo hipotético para estudantes sentados). Além disso, percebeu-se um deslocamento de ar com maior liberdade na direção longitudinal (eixo Z), o que pode contribuir para uma maior eficiência de troca térmica para o intervalo de tempo considerado. Na posição convencional dos aparelhos de ar-condicionado, há um fluxo de calor radiante com maior intensidade no período da tarde, com incidência frontal nos equipamentos, exigindo maior potência para geração de ar frio no interior da sala. Por isso, a análise de viabilidade da nova localização dos dispositivos torna-se importante.

Como trabalho futuro à proposta de pesquisa aqui apresentada, planeja-se investigar demais parâmetros que interferem no conforto térmico de estudantes e funcionários de instituição

educacional, providenciar maior detalhamento com relação à análise fluidotérmica em regime transiente (incluindo seleção de outro modelo de turbulência) e levantar alternativas que possibilitem satisfatório conforto térmico somado à economia de energia elétrica (no espaço interno examinado).

REFERÊNCIAS

ALIZADEH, M.; SADRAMELI, S. M. Numerical modeling and optimization of thermal comfort in building: central composite design and CFD simulation. **Energy and Buildings**, v. 164, p. 187-202, 2018.

ASHRAE STANDARD. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. **American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.**, p. 42, 2010.

BARBHUIYA, Saadia; BARBHUIYA, Salim. Thermal comfort and energy consumption in a UK educational building. **Building and Environment**, v. 68, p. 1-11, 2013.

BRASIL. NR 17 - Ergonomia. Disponível em: <[https://www.pncq.org.br/uploads/2016/NR_MTE/NR_17 - ERGONOMIA.pdf](https://www.pncq.org.br/uploads/2016/NR_MTE/NR_17_-_ERGONOMIA.pdf)>. Acesso em: 16 julho de 2019.

DIEBEL, J.; NORDA, J.; KRETCHMER, O. **Condições meteorológicas médias de Bom Jesus da Lapa**. Disponível em: <<https://pt.weatherspark.com/y/30626/Clima-característico-em-Bom-Jesus-da-Lapa-Brasil-durante-o-ano#Sections-Temperature>>. Acesso em: 15 de julho de 2019.

DIEBEL, J.; NORDA, J.; KRETCHMER, O. **Condições meteorológicas médias de Bom Jesus da Lapa**. Disponível em: <<https://pt.weatherspark.com/y/30626/Clima-característico-em-Bom-Jesus-da-Lapa-Brasil-durante-o-ano#Sections-Temperature>>. Acesso em: 15 de julho de 2019.

FERREIRA, F. S.; ALMEIDA, F. S. D. DE; MAFRA, H. T. **Análise do desempenho de um sistema de resfriamento evaporativo e sua utilização integrada a um sistema de resfriamento convencional**. [s.l.] Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

FREITAS, F. D. F. P. DE. **Simulação computacional do escoamento do ar no interior de um auditório**. [s.l.] Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2011.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico**. 5. ed. São Paulo: Livraria Nobel S.A, 2001.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico**. 5. ed. São Paulo: Livraria Nobel S.A, 2001.

HALAWA, Edward; VAN HOOFF, Joost; SOEBARTO, Veronica. The impacts of the thermal radiation field on thermal comfort, energy consumption and control—A critical overview. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 37, p. 907-918, 2014.

LAMBERTS, R. Conforto e stress térmico. **Laboratório de Eficiência Energética em Edificações**, p. 0–30, 2008.

POZRIKIDIS, C. **Fluid Dynamics Theory, Computation, and Numerical Simulation**. 2. ed. Springer, 2009.

RAVIKUMAR, Paramasivam; PRAKASH, D. Analysis of thermal comfort in an office room by varying the dimensions of the windows on adjacent walls using CFD: A case study based on numerical simulation, **Building Simulation**, v. 2, p. 187-196, 2009.

RUAS, Á. C. Conforto térmico em locais de trabalho. **Ministério do Trabalho**, p. 0–97, 1999.

ZOMORODIAN, Zahra Sadat; TAHSILDOOST, Mohammad; HAFEZI, Mohammadreza. Thermal comfort in educational buildings: A review article. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 59, p. 895-906, 2016.