

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

DIEGO HENRIQUE BARBIERO

ANÁLISE E SIMULAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO EM LABORATÓRIO DE
USINAGEM

Xanxerê - SC
Novembro/2023

DIEGO HENRIQUE BARBIERO

ANÁLISE E SIMULAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO EM LABORATÓRIO DE
USINAGEM

Monografia apresentada ao
Curso de Engenharia
Mecânica do Câmpus
Xanxerê do Instituto
Federal de Santa Catarina
para a obtenção do diploma
de bacharel em Engenharia
Mecânica.

Orientador: Vinicius
Gonçalves Deon

Xanxerê - SC
Novembro/2023

B236a Barbiero, Diego Henrique.
Análise e simulação de conforto térmico em laboratório de usinagem / Diego Henrique Barbiero. — 2023.
43 p. : il., color.

Trabalho de conclusão de curso (graduação). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina - Câmpus Xanxerê.

Orientação: Vinicius Gonçalves Deon.

Inclui referências.

1. Conforto térmico. 2. Ar-condicionado. 3. Simulação computacional. I. Deon, Vinicius Gonçalves. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina - Câmpus Xanxerê. III. Título.

DIEGO HENRIQUE BARBIERO

ANÁLISE E SIMULAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO EM LABORATÓRIO DE
USINAGEM

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título em Bacharel em Engenharia Mecânica, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora abaixo indicada.

Xanxerê, 29 de novembro de 2023.

Prof. Vinicius Gonçalves Deon, Me.
Orientador
Instituto Federal de Santa Catarina

Rômulo Silva Kunzler
Tecnólogo em Gestão da Produção Industrial
Instituto Federal de Santa Catarina

Prof. Samuel Scheleski, Me.
Instituto Federal de Santa Catarina

“Toda tecnologia gradualmente cria
um ambiente humano totalmente novo.”

(McLuhan, 1964)

RESUMO

O conforto térmico representa um dos principais pilares ligados ao bem-estar, desempenhando um papel fundamental no conceito de produtividade, tanto em ambientes de trabalho quanto em espaços acadêmicos, como salas de aula e laboratórios. Assim, este trabalho visa analisar os parâmetros de conforto térmico no laboratório de usinagem do IFSC Câmpus Xanxerê que conta um número elevado de alunos e equipamentos em uso durante as aulas de usinagem. Serão apresentados resultados de cálculo de carga térmica, simulação computacional no *software* Ansys e medições de temperatura, velocidade e umidade relativa do ar. Demonstrando que em dias mais quentes, o laboratório não atende os padrões de conforto térmico definidos nas normas NR 17 e NBR 16401-2.

Palavras-Chave: Conforto térmico. Ar-condicionado. Simulação computacional.

ABSTRACT

Thermal comfort represents one of the main pillars linked to well-being, playing a fundamental role in the concept of productivity, both in work environments and in academic spaces, such as classrooms and laboratories. Therefore, this work aims to analyze the thermal comfort parameters in the machining laboratory at the IFSC Câmpus Xanxerê, which has a high number of students and equipment in use during machining classes. Results of thermal load calculation, computer simulation in the Ansys software and measurements of temperature, speed and relative air humidity will be presented, with improvements being proposed for occupants and to meet current thermal comfort standards.

Keywords: Thermal comfort. Air conditioning. Computer simulation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fatores que influenciam carga térmica de ambiente.....	19
Figura 2 - Módulos do EnergyPlus.....	20
Figura 3 - Representação de volumes de controle.....	22
Figura 4 - Exemplo de malha.....	23
Figura 5 - Recomendações de qualidade de malha.....	24
Figura 6 - Fluxograma do projeto.....	25
Figura 7 - Laboratório de usinagem.....	26
Figura 8 - Planta baixa do laboratório de usinagem.....	27
Figura 9 - Modelo 3D do laboratório de usinagem.....	28
Figura 10 - Gráfico de carga térmica.....	30
Figura 11 - Malha gerada.....	31
Figura 12 - Gráfico de convergência de resultados.....	32
Figura 13 - Plano de corte de temperatura.....	32
Figura 14 - Fluxo de ar do ventilador.....	33
Figura 15 - Fluxo de ar do ar-condicionado	34
Figura 16 - Plano de corte de temperaturas.....	35
Figura 17 - Plano de corte de temperaturas ZX.....	35

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Condições de conforto segundo NR 17.....	32
Quadro 2 – Condições de conforto térmico durante o verão.....	33
Quadro 3 – Condições de conforto térmico durante o inverno.....	33
Quadro 4 – Características da malha.....	31
Quadro 5 – Comparativo de temperaturas.....	33
Quadro 6 – Comparativo de conforto térmico.....	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers

BTU – Unidade Térmica Britânica

CFD – Dinâmica dos Fluidos Computacional

CRECESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica

IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina

NBR – Norma Brasileira

NR – Norma Regulamentadora

ISO – *International Organization for Standardization*

LISTA DE SÍMBOLOS

Γ – coeficiente de difusão

m – metros

cm – centímetros

m/s – metros por segundo

$^{\circ}\text{C}$ – graus Celsius

< – menor que

> – maior que

K – Kelvin

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Objetivos	13
1.1.1 Objetivo geral	13
1.1.2 Objetivos específicos	13
2 DESENVOLVIMENTO	14
2.1 Conforto térmico	14
2.1.1 Produtividade e conforto térmico	15
2.2 Normas de avaliação de conforto térmico	16
2.2.1 NR 17	16
2.2.3 ABNT NBR 16401-2	16
2.3 Carga térmica	18
2.3.1 ABNT NBR 16401-1	19
2.3.2 Software EnergyPlus	20
2.4 Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD)	21
2.4.1 Malha	23
2.4.2 Ansys Workbench	24
3 METODOLOGIA	25
3.1 O laboratório de usinagem	26
3.2 Carga térmica	28
3.3 Simulação computacional	28
4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	30
4.1 Carga térmica	30
4.2 Simulação computacional	30
4.3 Comparação de parâmetros de conforto térmico	36
5 CONCLUSÃO	37
REFERÊNCIAS	38
ANEXO A	41
Manual AKROM KR 835	42

1 INTRODUÇÃO

Os estudos em conforto térmico buscam analisar e estabelecer as condições necessárias para a avaliação e concepção de um ambiente termicamente adequado às atividades e ocupações humanas (LAMBERTS, 2011). A *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers* (ASHRAE), define conforto térmico como sendo: “condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico” (ASHRAE, 2017, p. 13).

Um dos fatores mais importantes para análises de conforto térmico que deve ser levado em consideração é a carga térmica presente no local. Carga térmica é a quantidade de calor sensível e latente retirada ou colocada em um recinto proporcionando as condições de conforto desejadas, podendo ser introduzida ou retirada através da radiação, condução, convecção ou evaporação (CREDER, 2004).

Quando as trocas de calor entre o indivíduo e o ambiente ocorrem sem necessidade de esforço, a sensação percebida é de conforto térmico e sua capacidade de trabalho é integral. Se as condições térmicas ambientais causam sensação de frio ou de calor, é porque nosso organismo está perdendo mais calor ou menos calor que o necessário para a manutenção da temperatura corporal, exigindo um esforço adicional que representa sobrecarga ao indivíduo, com queda do rendimento no trabalho ou perda total de capacidade para realização de trabalho e, dependendo das condições, problemas de saúde (FROTA; SCHIFFER, 2001).

O conforto térmico pode ser mensurado através de parâmetros de temperatura, velocidade e umidade relativa do ar, definidos em normas como a NR (Norma Regulamentadora) 17 e a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) NBR (Norma Brasileira) 16401. Para auxílio com a verificação desses parâmetros, existem *softwares* comerciais disponíveis que incorporam uma variedade de modelos de turbulência e têm a capacidade de realizar cálculos numéricos das equações de fluidodinâmica e transferência de calor em tempo reduzido. Isso permite que seja possível simular o comportamento do escoamento do fluido no interior de um ambiente com variadas condições de contorno com eficácia e menor tempo (SIMÕES, 2009).

A qualidade do ensino é um fator fundamental para o desenvolvimento de um país. Além da capacitação dos professores, as condições físicas das salas de aula e

dos ambientes em que a interação entre os aluno e professor ocorre também são determinantes para o alcance de uma boa qualidade de ensino (FARIA, 2013).

O que torna o conforto térmico um importante ponto a ser analisado ao levar em consideração os padrões de ergonomia em uma sala de aula, onde o aprendizado e o desempenho são fundamentais (TORRES, 2016). O Instituto Federal de Santa Catarina Câmpus Xanxerê possui o Laboratório de Usinagem para a execução das aulas práticas das disciplinas que envolvam processos de usinagem convencionais, como torneamento e fresamento. Este laboratório contempla um total de nove tornos convencionais, duas fresadoras universais, duas fresadoras ferramenteiras, duas furadeiras de bancada e três moto esmeris. As aulas costumam contemplar o uso dos nove tornos em uma turma com 20 discentes, possuindo apenas um ar-condicionado de 30000 BTUs (Unidade Térmica Britânica) e um ventilador.

O presente trabalho apresentará uma análise e simulação computacional de conforto térmico realizada no Laboratório de Usinagem do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) Câmpus Xanxerê, comparando os resultados obtidos com as normas de regulamentação vigentes. Também será realizado o estudo de potência e otimização da localização do ar-condicionado e ventiladores para se obter a melhor condição de conforto térmico durante as aulas de usinagem.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Verificar os parâmetros de conforto térmico presentes no laboratório de usinagem do IFSC Câmpus Xanxerê e comparar com os definidos pelas normas nacionais vigentes.

1.1.2 Objetivos específicos

- Estimar a carga térmica presente;
- Medir os parâmetros de temperatura, velocidade e umidade relativa do ar;
- Comparar com os valores exigidos pelas normas NR 17 e ABNT NBR 16401-2;
- Simular o ambiente utilizando o *software* Ansys Workbench.

2 DESENVOLVIMENTO

Nessa etapa serão abordados conceitos importantes para a realização do trabalho, entre eles: Conforto térmico, normas de avaliação de conforto térmico, carga térmica e Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD).

2.1 Conforto térmico

A Ashrae (2017, p.13) define conforto térmico em seu documento Standard 55 como sendo: “condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico”, caso essa condição não seja atendida o sistema termorregulador presente em nosso organismo provocará reações para manter a temperatura corporal constante, independente da temperatura ambiental. Assim, se houver equilíbrio entre o calor gerado pelo corpo e o calor perdido para o ambiente, a temperatura corporal permanece constante (FELIX, 2008).

A temperatura corporal é uma medida que pode variar entre indivíduos e ao longo do dia, sendo mais baixa pela manhã e mais alta à noite. Uma temperatura aproximada de 37 °C é considerada normal, mas valores entre 36,1 °C e 37,2 °C pela manhã também são considerados dentro da faixa normal (MANSOR *et al.*, 2013).

Corroborando, Biazzotto (2006), cita que um das reações do sistema termorregulador para manter a temperatura interna em situações de frio é o tremor muscular, que consiste num esforço involuntário e resulta num aumento do consumo de oxigênio em torno de 200% a 600%, podendo causar também aumento da pressão intracraniana e isquemia miocárdica.

Já para a exposição a temperaturas mais elevadas pode-se perceber efeitos nocivos sobre o corpo humano, como por exemplo: suor excessivo, febre, desidratação, câibras causadas pelo calor e intermação (OLIVEIRA *et al.*, 2010).

Além do aumento de consumo de oxigênio, Biazzotto (2006) alerta também que existe um aumento no consumo de energia que é convertida totalmente em calor conforme sua necessidade metabólica. Sendo que as alterações comportamentais dependem mais da temperatura da pele do que do ambiente em si.

2.1.1 Produtividade e conforto térmico

Roelofsen (2002) afirma que um dos principais requisitos para o ser humano realizar suas atividades é um ambiente que o possibilite à realizar seu trabalho de forma otimizada em condições confortáveis.

Nesse sentido, estudos para relacionar produtividade e fatores ambientais já existiam há vários anos, como, no artigo de Hancock e Pierce de 1985, que analisaram os efeitos combinados do calor e do ruído sobre medidas comportamentais do desempenho humano (apud TORRES, 2016).

Posteriormente, em 2002, Roelofsen (apud TORRES, 2016) avaliou o efeito do conforto térmico na produtividade dos trabalhadores, revelando que fatores ambientais têm efeito em relação ao estresse e insatisfação, afetando o desempenho dos colaboradores de 5 a 15%.

Lan *et al.* (2010), realizou um estudo avaliando a produtividade de 21 participantes, sob as condições de temperatura interna de 17 °C, 21 °C e 28 °C. Os participantes passaram por testes neurocomportamentais computadorizados para checar seus parâmetros fisiológicos, incluindo variação da frequência cardíaca e eletroencefalograma. Além disso, várias escalas foram definidas para classificar a emoção, o bem-estar, a motivação e a carga de trabalho dos participantes.

Verificou-se que a temperatura de 28 °C afetou negativamente o bem-estar dos participantes e aumentou a frequência dos batimentos cardíacos. No ambiente mais frio, a carga de trabalho para realizar as tarefas aumentou, exigindo mais esforço para os participantes manterem seu desempenho. Houve também menor motivação para realizar o trabalho (LAN *et al.*, 2010).

Os resultados de Lan *et al.* (2010), apontaram que o desconforto térmico gerado pelas condições adversas de temperatura influenciaram negativamente na produtividade dos participantes.

Mais recentemente Harimi, Ming e Kumaresan (apud TORRES, 2016) afirmam que o conforto térmico influencia no bem estar e na produtividade, e propuseram um mapa de conforto térmico para estimar a energia necessária para o corpo humano manter sua temperatura ideal. Sua pesquisa foi realizada na Malásia e utilizou uma abordagem de percepção de temperatura de alunos em uma sala de aula.

Observando os estudos citados acima pode-se perceber que o conforto

térmico influencia diretamente as ações do ser humano e, conseqüentemente, sua produtividade e desempenho no ambiente laboral (TORRES, 2016).

2.2 Normas de avaliação de conforto térmico

Neste tópico serão abordadas as normas NR 17 e ABNT NBR 16401-2, que tratam, respectivamente, de condições ergonômicas e parâmetros de conforto térmico.

2.2.1 NR 17

A Norma Regulamentadora No. 17 (NR 17) cita em seu anexo I, que o ambiente físico de trabalho deve: “Manter as condições de iluminação, ruído e conforto térmico de acordo com o previsto na Norma Regulamentadora nº 17 (NR 17)” (BRASIL, 2022, p. 10).

Brasil (2022) ressalta também que em ambientes de trabalho que demandem atenção constante e solicitação intelectual, são recomendadas os seguintes parâmetros de conforto térmico:

Quadro 1: Condições de conforto segundo NR 17

Temperatura mínima:	Temperatura máxima:	Velocidade do ar (distribuição convencional)	Velocidade do ar (fluxo de deslocamento)	Umidade relativa:
20,00 °C	23,00 °C	<0,75 m/s	<0,75 m/s	>40%

Fonte: Adaptado de NR 17 (2022)

2.2.3 ABNT NBR 16401-2

De maneira similar a NR 17, a NBR 16401-2 trata os principais índices de conforto térmico como sendo: temperatura, velocidade e umidade relativa do ar. Porém aprofunda-se mais nesses índices e apresenta fatores pessoais que também influenciam no conforto térmico, por exemplo em seu item 3.2 que cita:

- “o tipo de roupa usado pelas pessoas, que determina a resistência térmica média à troca de calor do corpo com o ambiente” (ABNT, 2008, p.2);
- “o nível de atividade física das pessoas, que determina sua taxa de metabolismo”.

Seguindo em seu item 5, a ABNT (2008) estipula parâmetros suscetíveis de gerar conforto térmico para 80% ou mais das pessoas presentes no ambiente. Esses parâmetros são similares aos definidos pela ASHRAE e são divididos para condições de verão e inverno.

Para verão as seguintes faixas são definidas para temperatura e velocidade do ar conforme a umidade relativa do ar presente no ambiente:

Quadro 2: Condições de conforto térmico durante o verão

Temperatura mínima:	Temperatura máxima:	Velocidade do ar (distribuição convencional)	Velocidade do ar (fluxo de deslocamento)	Umidade relativa:
22,50 °C	25,50 °C	0,20 m/s	0,25 m/s	65%
23,00 °C	26,00 °C	0,20 m/s	0,25 m/s	35%

Fonte: Adaptado de NBR 16401-2 (2008)

Para inverno as seguintes faixas são definidas para temperatura e velocidade do ar conforme a umidade relativa do ar presente no ambiente:

Quadro 3: Condições de conforto térmico durante o inverno

Temperatura mínima:	Temperatura máxima:	Velocidade do ar (distribuição convencional)	Velocidade do ar (fluxo de deslocamento)	Umidade relativa:
21,00 °C	23,50 °C	0,15 m/s	0,20 m/s	60%
21,50 °C	24,00 °C	0,15 m/s	0,20 m/s	30%

Fonte: Adaptado de NBR 16401-2 (2008)

Dando sequência, a ABNT (2008) cita limitações como a de não haver correntes de ar em direção a nuca ou tornozelos das pessoas e condições operacionais que poderiam alterar os parâmetros citados anteriormente. Sendo tolerado um aumento de temperatura de 3K (Kelvin) para velocidades de ar maiores, contanto que não ultrapassem 0,8 m/s. Afirma também que os padrões de temperatura podem ser diminuídos em 0,6 K para cada aumento da resistência térmica de vestimentas de 0,1 clo.

Os parâmetros de conforto térmico devem ser revisados (ABNT, 2008, p.4):

- “quando da colocação em serviço das instalações novas e após a execução

de reformas ou modificações dos locais ou do sistema”;

- “sempre que houver suspeita de desvio, queixa ou contestação”.

Para verificação dos parâmetros, a ABNT NBR 16401-2 (2008) afirma que as medições devem ser feitas nos pontos com maior probabilidade de apresentar valores desfavoráveis, como próximo a janelas e portas ou no centro de uma zona ocupada por pessoas.

No caso de pessoas sentadas a temperatura deve ser medida a 0,6 m do piso, para pessoas em pé a altura deve ser de 1,1 m. Quanto à velocidade média, deve ser medida a 1,7 m do piso para pessoas em movimento. A umidade relativa deve ser medida quatro vezes com intervalo de 5 minutos entre elas (ABNT, 2008).

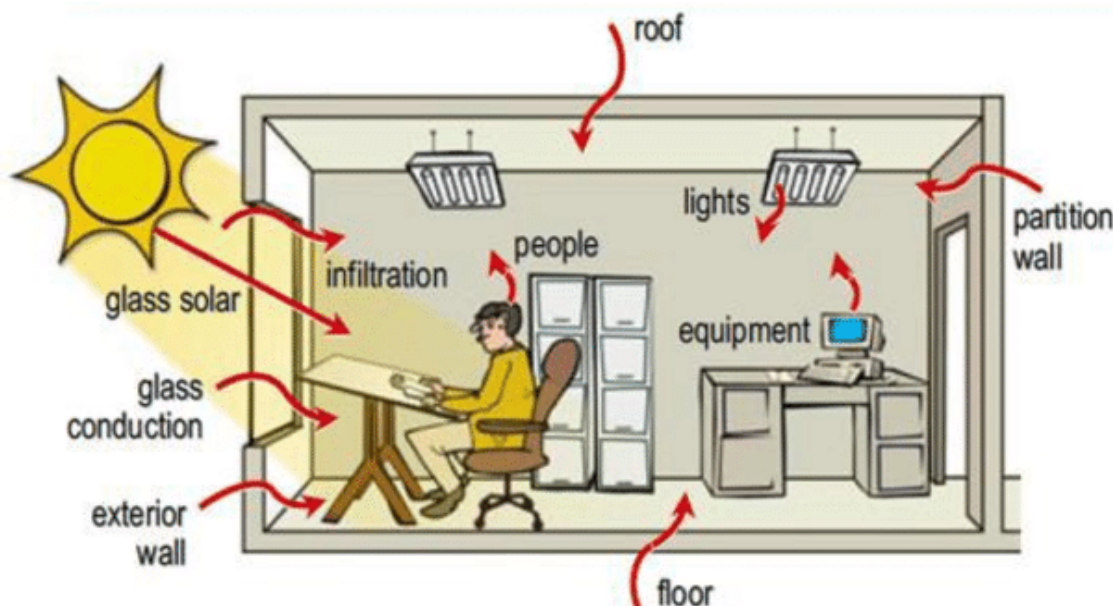
2.3 Carga térmica

A carga térmica é definida por Creder (2004) como a quantidade de calor (sensível e latente), que deve ser removida ou adicionada no ambiente proporcionando as condições de conforto térmico desejadas ou para mantê-las adequadas para a conservação de um produto.

Corroborando, Matos (2015) afirma que a carga térmica pode variar com o tempo devido a fatores como temperatura externa, posição do sol, número de pessoas, etc. Visto que o ganho de calor transmitido para o ambiente se dá devido aos seguintes fenômenos:

- Radiação solar em materiais transparentes, como janelas e paredes de vidro;
- Condução de calor externa através de paredes e telhados ou gerada internamente por pessoas, lâmpadas, computadores, motores etc;
- Convecção através da infiltração do ar exterior ou de outras fontes de calor internas;

Figura 1: Fatores que influenciam carga térmica de ambiente



Fonte: Hashim H. M. *et al.* (2018)

Complementado, Matos (2015) aponta que o cálculo da carga térmica é básico para dimensionar instalações, selecionar e avaliar equipamentos novos ou já existentes e avaliar melhorias que podem ser implementadas ao ambiente.

2.3.1 ABNT NBR 16401-1

A ABNT NBR 16401-1 define a metodologia para o cálculo de carga térmica em seu item 6.1. As cargas térmicas precisam ser calculadas quantas vezes forem necessárias, variando horário e estação, até obter-se a carga máxima de cada ambiente e do sistema como um todo.

Este cálculo, exceto para sistemas simples, necessita de auxílio de um programa de computador baseado nos métodos da ASHRAE. Existem vários programas disponíveis, como o programa livre Energy Plus, publicado pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (ABNT, 2008).

Uma possibilidade para projetos mais simples se trata do uso da ABNT NBR 5858:1983 que apresenta uma tabela simplificada com parâmetros fixos que devem ser preenchidos para fazer o cálculo da carga térmica.

Diversos estudos abordaram a diferença entre as duas metodologias para cálculo de carga térmica. Inácio (2014) concluiu que a carga térmica calculada através da NBR 16401-1 ficou em média 0,82% maior que a carga térmica calculada pela NBR 5858.

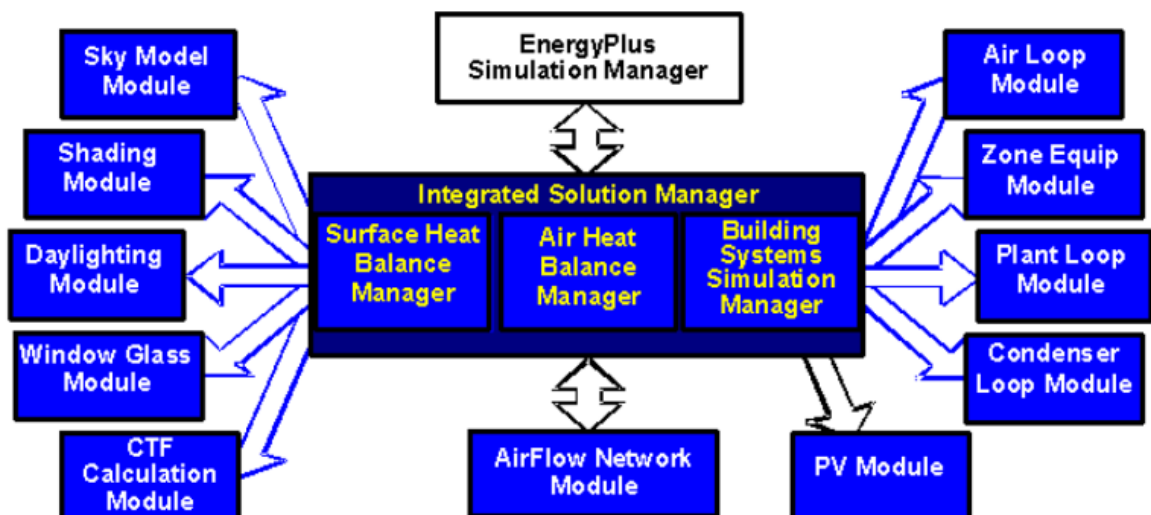
Medeiros *et al.* (2020), verificou uma diferença média de 2% entre as metodologias e afirmou que a forma simplificada apresenta resultado confiável para sistemas simples que utilizam um único condicionador de ar com objetivo de prover conforto térmico ao ambiente.

2.3.2 Software EnergyPlus

De acordo com Crawley *et al.* (apud WALLAUER, 2003), o EnergyPlus é um *software* que começou a ser desenvolvido em 1996 pelo Laboratório de Pesquisa em Engenharia de Construção do Exército dos Estados Unidos (CERL) juntamente com a Universidade de Illinois (UI), o Laboratório Nacional Lawrence Berkeley (LBNL), a Universidade do Estado de Oklahoma (OSU), a Analytics GARD e o Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE). A primeira versão do *software*, Beta, foi lançada no final de 1999.

O EnergyPlus pode ser utilizado para simulação numérica de consumo e desempenho energético, dimensionamento de sistemas de climatização e cálculo de cargas de resfriamento ou aquecimento (MAZZAFERRO *et al.*, 2013). A Figura 2 apresenta os principais módulos do *software*.

Figura 2: Módulos do EnergyPlus.



Fonte: U.S. Department Of Energy (2013)

Segundo Wallauer (2003) o EnergyPlus tem seu bloco principal formado por três componentes:

- Gerenciador ou Controlador de Simulação;
- Módulo de Simulação do Balanço de Calor e Massa;
- Módulo de Simulação dos Sistemas da Edificação.

2.4 Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD)

A partir da década de 1960, a indústria aeroespacial integrou as técnicas de Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD) no projeto de aeronaves e motores a jato. Posteriormente, os métodos têm sido aplicados ao projeto de motores e até câmaras de combustão de turbina. Além disso, os fabricantes de veículos preveem as forças de arrasto, fluxos de ar sob o capô e o ambiente do carro através da simulação CFD (VERSTEEG; MALALASEKERA, 2007).

Versteeg e Malalasekera (2007) ainda explicam que os códigos CFD são estruturados em torno dos algoritmos numéricos que podem resolver problemas de fluxo de fluido. A maioria dos programas CFDs comerciais incluem interfaces sofisticadas para a entrada de dados do problema examinado. Sendo divididos em 3 elementos principais:

1. Pré-processador: Entrada de dados como geometria, definição de malha, condições de contorno etc;
2. Solucionador (*solver*): Aplicação dos técnicas de solução numérica para o problema definido;
3. Pós-processador: Apresentação dos resultados obtidos pelo solucionador através de gráficos, rastreamento de partículas, plotagens etc.

A Engineering Simulation and Scientific Software (ESSS) (2016), cita que a equação de transporte da variável de interesse (1) é a mais utilizada em *softwares* CFD, sendo representada pelo símbolo Φ . Todas as equações de conservação resolvidas em CFD possuem a forma abaixo, alterando apenas três componentes da equação: a variável Φ , o coeficiente de difusão Γ , e a fonte S .

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho \Phi dV + \oint_A \rho \Phi V^* dA = \oint_A \Gamma \nabla \Phi^* dA + \int_V S dV \quad (1)$$

Onde:

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho \Phi dV = \text{Tempo}$$

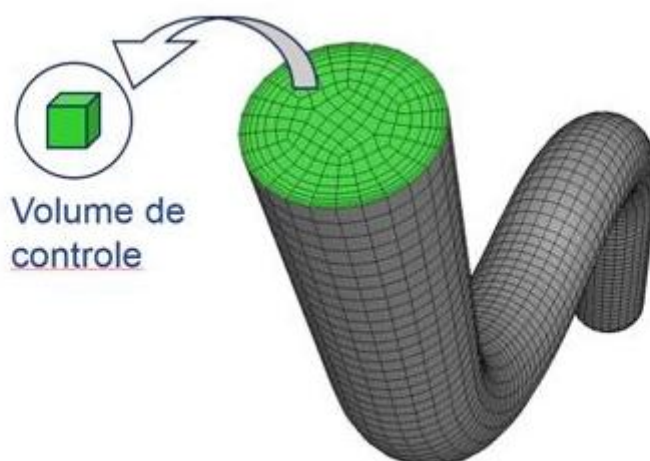
$$\oint_A \rho \Phi V \cdot dA = \text{Advecção}$$

$$\oint_A \Gamma \nabla \Phi \cdot dA = \text{Difusão}$$

$$\int_V S \delta dV = \text{Fonte}$$

Por exemplo, se usada para a equação de conservação de massa, a variável Φ se torna igual a 1, o coeficiente de difusão e a fonte são nulos. Porém, até o momento não existe solução analítica para equação acima sendo necessário reescrevê-la em forma algébrica e resolvê-la por meio de algum método de discretização, sendo o método dos volumes finitos o mais utilizado em CFD. Para a solução, altera-se o domínio contínuo por um domínio discreto, onde um conjunto de volumes de controle é usado para substituir o domínio original. Assim, a forma algébrica da equação obtida é resolvida numericamente para cada um dos volumes de controle (ESSS, 2016).

Figura 3: Representação de volumes de controle.



Fonte: ESSS (2016)

Marini *et al.* (2002) alerta que o uso do CFD é afetado pela metodologia numérica e poder de processamento computacional empregados, sendo que os dois

interagem entre si. É importante ressaltar que uma solução numérica é uma aproximação de um fenômeno real podendo apresentar diversos desvios, como erros de aproximação, de arredondamento e erros propagados de erros iniciais. Desta forma as condições de contorno, malha, geometria, materiais e uma posterior verificação e validação são fundamentais para a credibilidade do uso do CFD.

2.4.1 Malha

A malha representa a união das subdivisões dos elementos (volumes de controle), assim o resultado obtido dependerá do refinamento feito na malha. “Esse refinamento depende de operações aritméticas, que são proporcionais ao elemento finito. A malha apresenta vários tipos de modelagem, em especial o triangular, o quadrilátero, hexaedros, entre outros” (OWEN apud GIL, 2015, p.13).

Figura 4: Exemplo de malha.



Fonte: Ansys (2023)

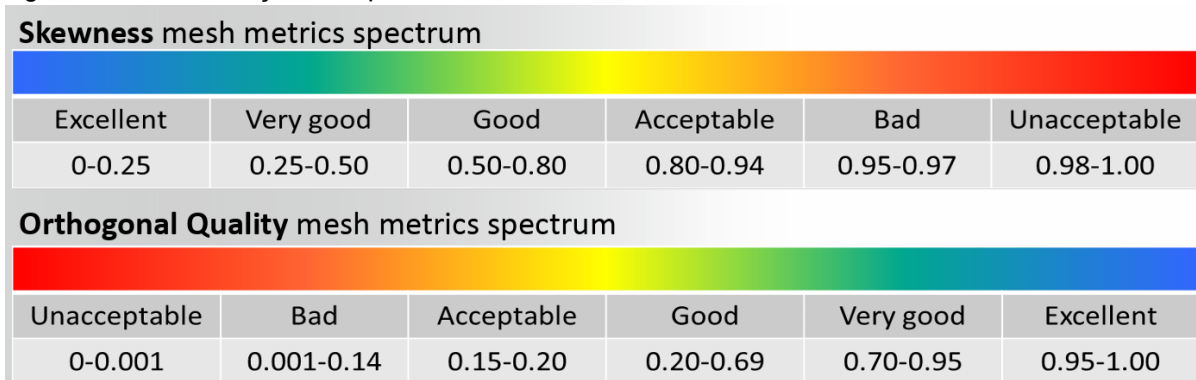
Complementando, Muthukrishnan *et al.* (apud GIL, 2015) cita que a malha pode ser gerada de forma igual para corpos com superfícies menos complexas, o que não afetará de forma significativa o tempo de análise, mas para corpos de

superfícies complexas, deve-se fazer um refinamento aplicado na área que apresenta maior importância, principalmente para superfícies com curvas, interseções e descontinuidades.

A qualidade da malha pode ter uma grande influência na precisão (e eficiência) de uma simulação baseada em elementos finitos. Muitos fatores influenciam a precisão e qualidade da malha, incluindo o tipo de fenômeno sendo simulado, detalhes da solução para a simulação específica, o método de discretização e propriedades geométricas da malha relacionadas ao espaçamento, curvatura, ângulos, suavidade, etc (KNUPP, 2007).

A Ansys (2015), apresenta valores recomendados para uma boa qualidade de malha conforme mostrado na Figura 5.

Figura 5: Recomendações de qualidade de malha.



Fonte: Ansys (2015)

2.4.2 Ansys Workbench

O pacote Ansys Workbench foi desenvolvido com o objetivo de oferecer um ambiente no qual diferentes tipos de simulações podem ser realizadas. Abrangendo tecnologias, como CFD, FEA (Análise de Elementos Finitos) e ferramentas de otimização de design. A estrutura do pacote é organizada de forma que a guia do projeto permite visualizar as etapas realizadas, as tarefas empregadas e fornece orientações sobre como proceder em etapas futuras, tornando a interface mais familiar ao usuário.

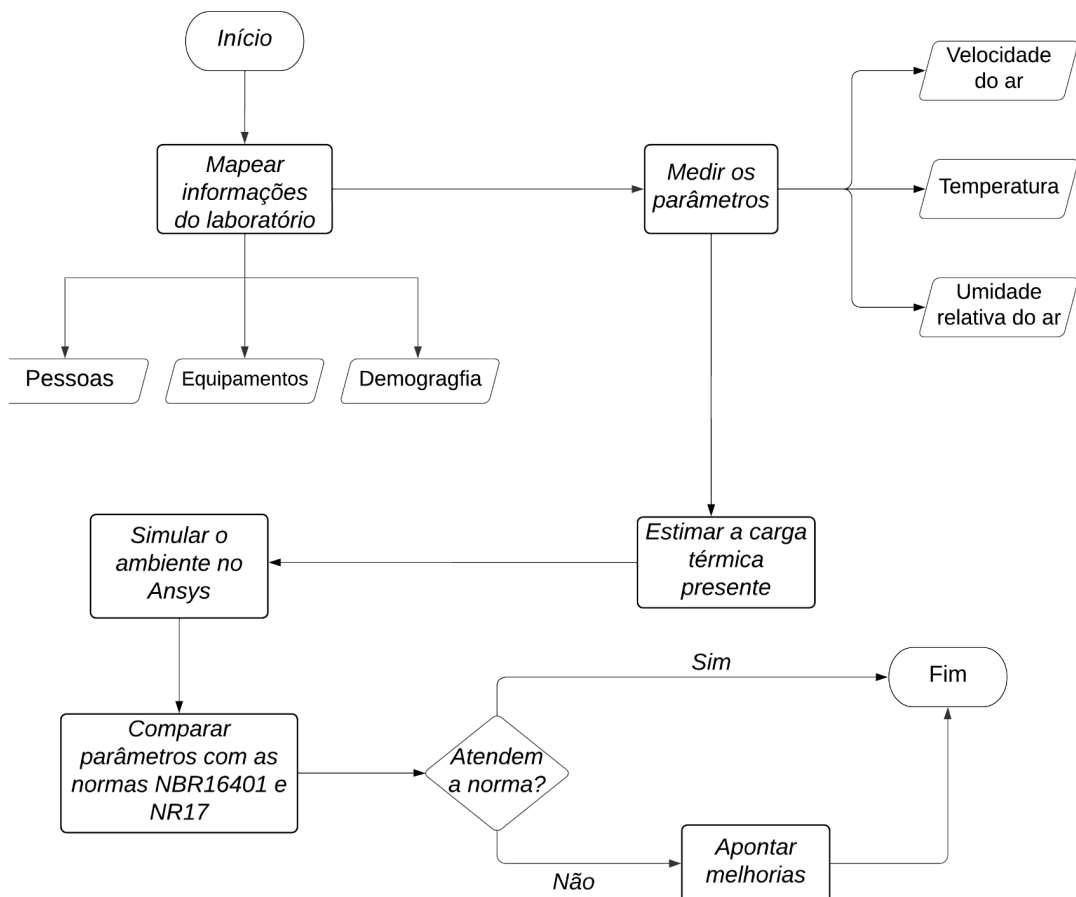
Ao iniciar um projeto, a página inicial fornece acesso às ferramentas necessárias para importar a geometria, definir as condições de contorno (cargas, restrições, materiais), resolver problemas específicos e obter resultados com fácil visualização através de imagens, animações e gráficos (QUEIROZ, 2008).

3 METODOLOGIA

O trabalho dividiu-se em 4 etapas principais. A primeira etapa foi mapear as informações do laboratório durante a execução da aula de usinagem e medir os parâmetros de temperatura, velocidade e umidade relativa do ar. A segunda parte foi estimar a carga térmica presente no laboratório. Posteriormente elaborou-se uma simulação computacional do laboratório utilizando os parâmetros coletados. A última etapa foi comparar os parâmetros medidos com as normas vigentes e propor possíveis melhorias.

A visão geral da metodologia e etapas de execução do trabalho é mostrada no fluxograma da Figura 6.

Figura 6: Fluxograma do projeto.



Fonte: O autor (2023).

A pesquisa também foi classificada quanto à natureza, formas de abordagem, objetivo, métodos, técnicas e ferramentas.

Utilizou-se uma abordagem quantitativa para os parâmetros de conforto térmico medidos e simulados como temperatura ambiente, velocidade e umidade relativa do ar, e uma abordagem qualitativa para apresentar possíveis melhorias para o conforto térmico do ambiente.

3.1 O laboratório de usinagem

A análise observacional de conforto térmico foi realizada no laboratório de usinagem do IFSC Câmpus Xanxerê-SC, que conta com nove tornos convencionais, duas fresadoras universais, duas fresadoras ferramentaeiras e duas furadeiras de bancada. Para controle térmico o laboratório possui um ar-condicionado de 30000 BTU/h e um ventilador de 200 W (Watts) de potência.

Figura 7: Laboratório de usinagem.

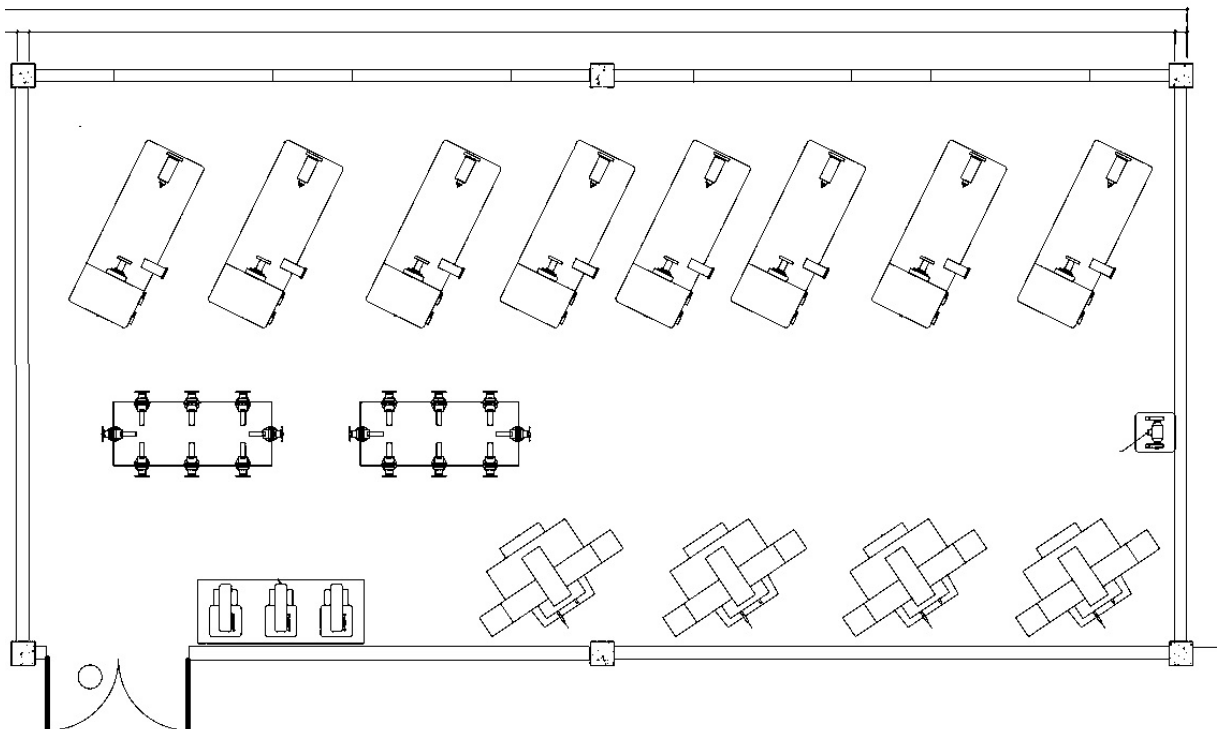


Fonte: O autor (2023).

Inicialmente efetuou-se um levantamento de campo no laboratório para coletar informações dos modelos, marcas e potência dos equipamentos, tanto de usinagem quanto de iluminação, ar-condicionado, ventilador, demais componentes elétricos que afetam a carga térmica e também as dimensões e materiais da estrutura do laboratório.

As dimensões do laboratório foram definidas conforme a planta baixa mostrada na Figura 8. A altura medida no lado esquerdo é de 2,8 m e a altura do lado direito é de 5,8 m.

Figura 8: Planta baixa do laboratório de usinagem.



Fonte: Adaptado de IFSC Câmpus Xanxerê-SC (2011).

As medições dos parâmetros de conforto térmico foram realizadas em duas datas distintas: 30/10/2023 e no dia 06/11/2023 em torno de 15:50 h. A aula contava com 18 alunos, distribuídos em duplas utilizando os nove tornos convencionais, além da presença de um professor.

Para a medição utilizou-se um termo-higro-anemômetro digital AKROM KR 825 com certificado de calibração. As especificações e dados técnicos estão incluídos no Anexo A.

Realizou-se medições de temperatura, velocidade e umidade relativa do ar em três locais diferentes, no torno próximo ao quadro, no torno intermediário e no torno no final da sala. O jaleco utilizado pelos estudantes foi considerado como uma blusa de mangas compridas, o que, segundo a ISO 7730 (2005), aumenta a resistência térmica da roupa em 0,15 clo, resultando na redução dos parâmetros de conforto térmico da NBR 16401-2 em 0,9 K.

Portanto, com as informações apresentadas acima, pode-se classificar a natureza da pesquisa como sendo uma pesquisa aplicada, já que visa um problema específico e com interesses locais. Utilizando método de estudo de caso e técnicas de pesquisa de campo e observação.

3.2 Carga térmica

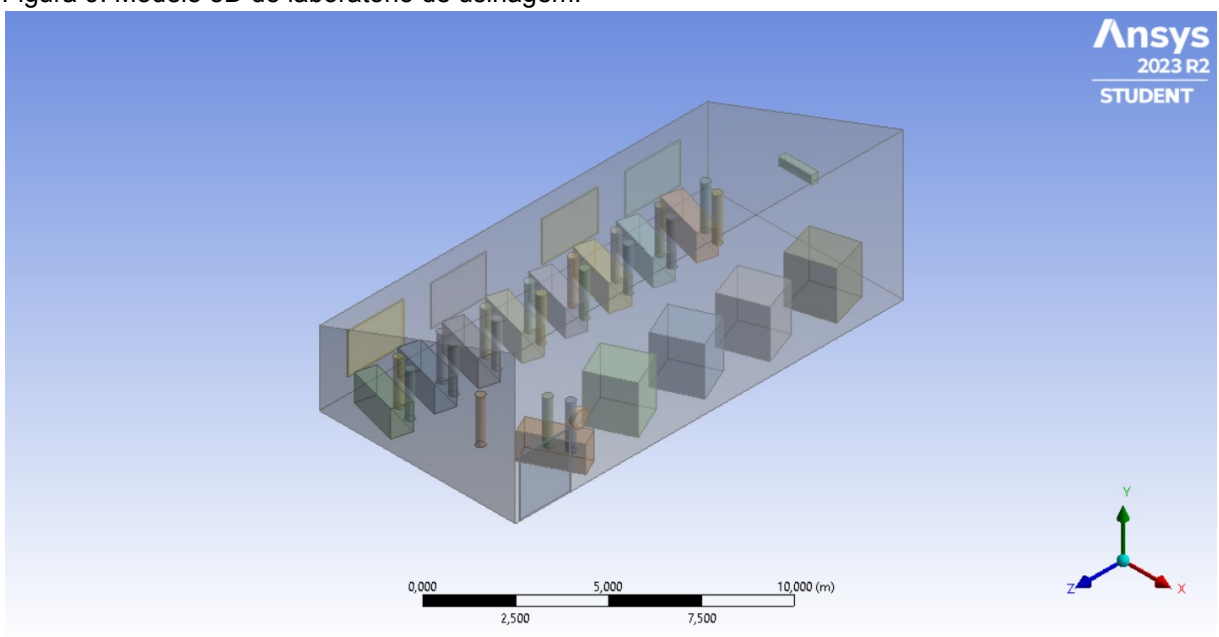
A carga térmica foi calculada de forma simplificada utilizando os valores pré-definidos pela ABNT NBR 8585. De forma a facilitar o cálculo, os valores foram organizados em planilha eletrônica.

Considerou-se o ambiente com 19 pessoas, em atividade normal. As paredes internas foram descritas como em ambiente não refrigerado, as paredes externas e janelas foram descritas conforme orientação geográfica e o telhado considerado com isolamento. Para o cálculo de equipamentos considerou-se apenas o motor principal dos nove tornos convencionais com potência de 6,75 hp (*horsepower*) e eficiência de 90%, 12 lâmpadas fluorescentes de 24 W e um ventilador de 200 W de potência. O valor obtido foi multiplicado pelo fator geográfico da região sul que é 0,9.

3.3 Simulação computacional

Para a simulação computacional inicialmente criou-se um modelo 3D do ambiente (Figura 9) pelo *software* Design Modeler utilizando as dimensões apresentadas anteriormente. Os nove tornos convencionais e quatro fresadoras foram simplificados em formato de paralelepípedos. Os estudantes e professor foram representados em formato de cilindro com 1,70 metros de altura e perímetro de 95 cm.

Figura 9: Modelo 3D do laboratório de usinagem.



Fonte: O autor (2023).

Posteriormente gerou-se a malha para o modelo 3D do laboratório utilizando o método *tetrahedral* com tamanho máximo de elemento de 0,25 m, sendo reduzido para 0,05 m em superfícies de interesse como janelas, ar-condicionado e pessoas.

Após a geração da malha, duas simulações foram executadas alternando apenas as condições de contorno. No primeiro modelo buscou-se simular o ambiente do laboratório do dia 06/11/2023 utilizando as seguintes condições de contorno: a radiação solar foi calculada automaticamente pelo *software* através da inserção das coordenadas do laboratório. Para o ventilador utilizou-se uma velocidade do ar de 5 m/s. A temperatura corporal das pessoas foi considerada como 37°C e 29,3°C na superfície dos tornos. Definiu-se pequenas aberturas nas janelas e portas para saída do ar, com a utilização do modelo de turbulência k-epsilon.

No segundo modelo buscou-se simular o ambiente do dia 06/11/2023, porém com a utilização do ar-condicionado. Dessa forma, alterou-se apenas o local da entrada de ar para o climatizador, sendo a velocidade do ar de 5 m/s e temperatura de 17°C.

Após a inserção das condições de contorno a simulação foi iniciada até um total de 700 iterações para obter estabilidade no resultado sem comprometer a capacidade computacional disponível.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

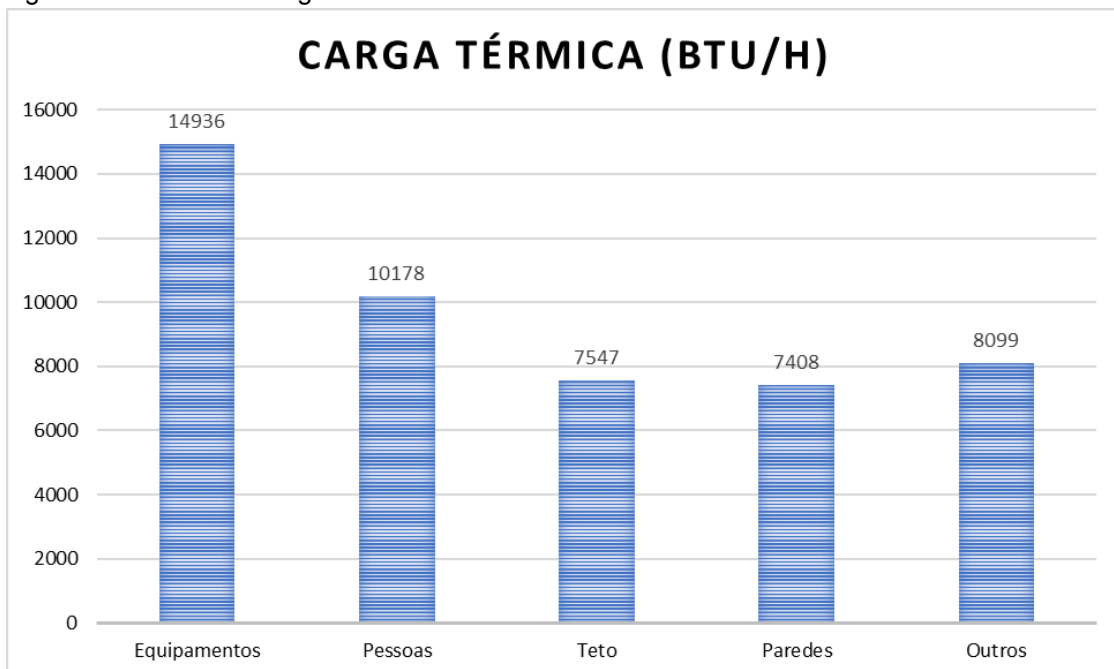
Abaixo estão apresentados e discutidos os resultados obtidos referentes a carga térmica, a simulação computacional e as normas de conforto térmico, possíveis melhorias também foram citadas

4.1 Carga térmica

Apesar de uma abordagem conservadora ser utilizada, a carga térmica estimada no ambiente foi de 48.168 BTU/h, ultrapassando a capacidade de 30.000 BTU/h do ar-condicionado.

Os equipamentos elétricos tiveram o maior impacto, totalizando 14.936 BTU/h, seguido pelas pessoas 10.178 BTU/h e pelo calor gerado pelo teto e paredes. O gráfico abaixo mostra o que gerou os maiores valores de carga térmica no ambiente.

Figura 10: Gráfico de carga térmica.



Fonte: O autor (2023).

4.2 Simulação computacional

O modelo geométrico do laboratório, por se tratar de uma simplificação não apresentou dificuldades para ser elaborado, ainda assim permitiu uma boa representação do laboratório e suas características.

Após a geometria, gerou-se a malha para a simulação. Inicialmente foi construída uma malha mais refinada com total de 29.316.296 elementos, porém devido a limitações do Ansys versão estudante, não foi possível executar a simulação. Então, uma malha menos refinada foi construída, com total de 984.854 elementos. O Quadro 4 apresenta as demais características da malha.

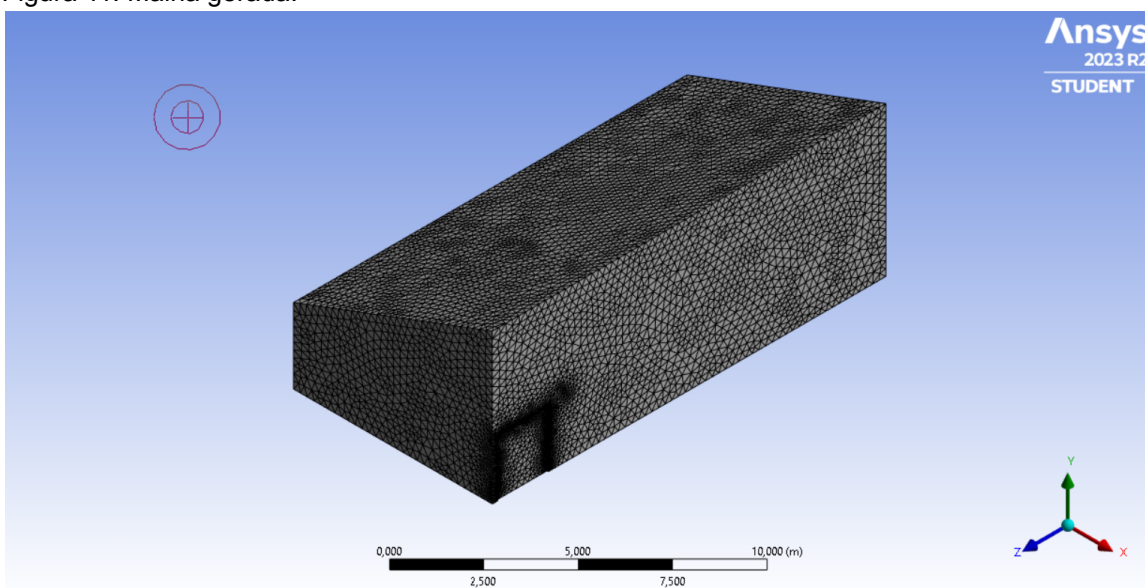
Quadro 4: Características da malha.

Elementos:	Nós:	Skewness (Médio)	Orthogonal Quality (Médio)
984854	183624	0,227	0,771

Fonte: O autor (2023).

Mesmo com um menor número de elementos, a malha apresentou aspectos de qualidade de *Skewness* e *Orthogonal Quality* que podem ser considerados, de acordo com os padrões da Ansys (2015), como excelente e muito bom respectivamente.

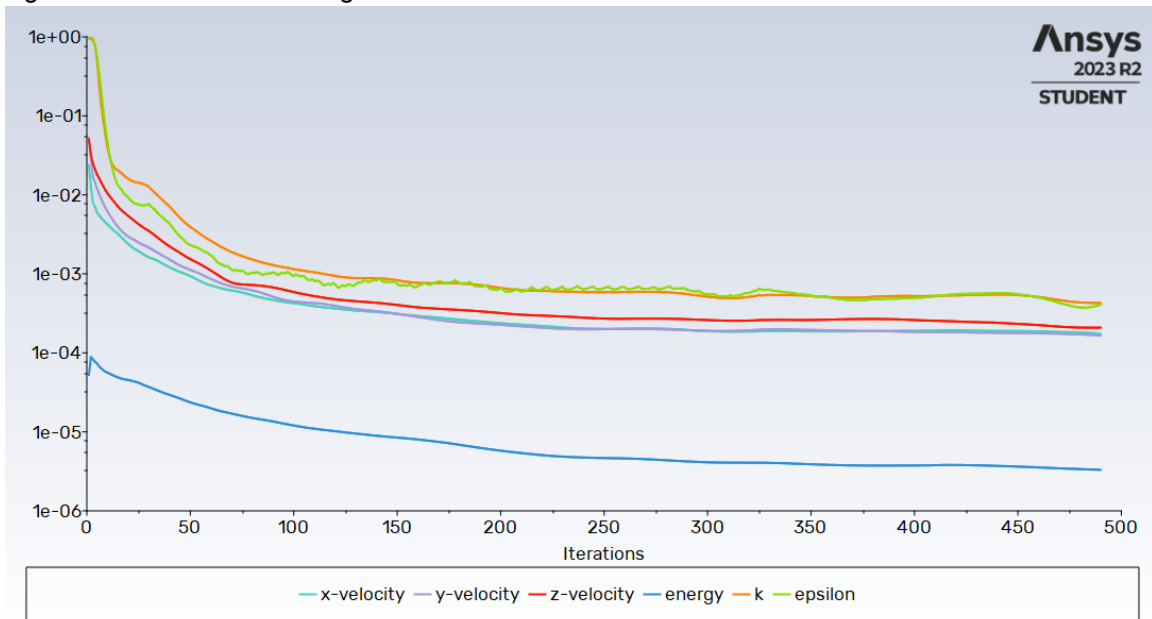
Figura 11: Malha gerada.



Fonte: O autor (2023).

A simulação computacional levou aproximadamente 105 minutos, utilizando 3 núcleos de processamento, para realizar 490 iterações até o resultado convergir.

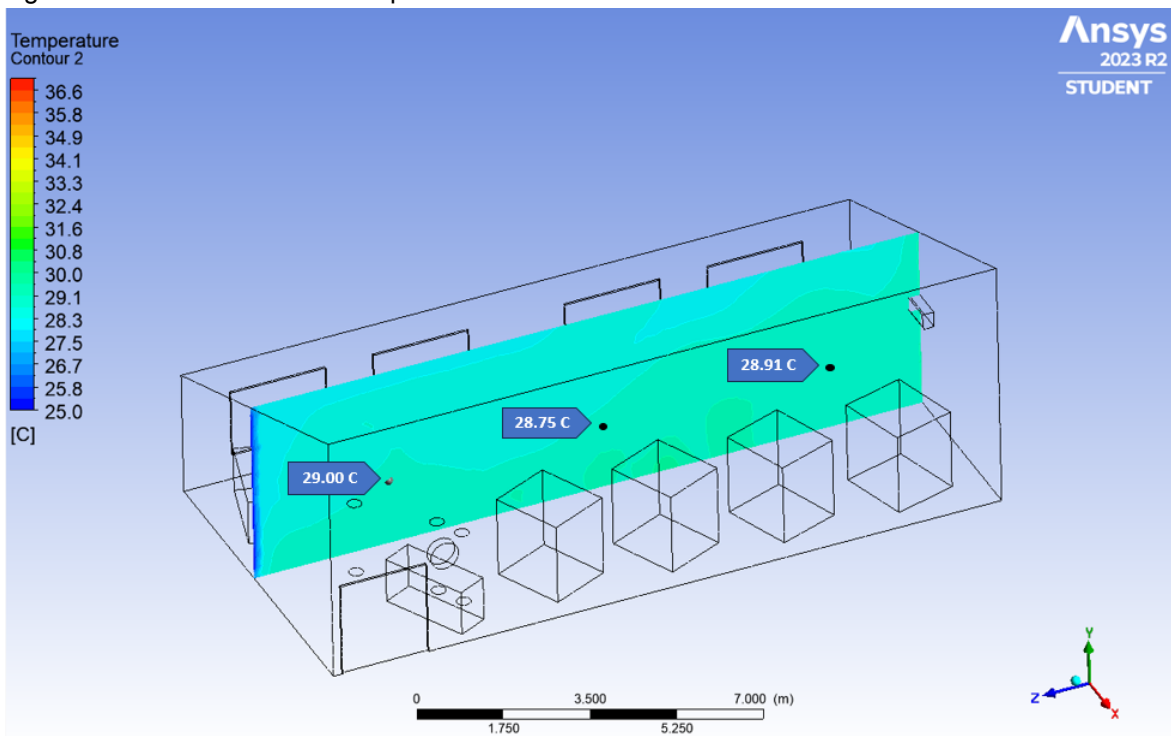
Figura 12: Gráfico de convergência de resultados.



Fonte: O autor (2023).

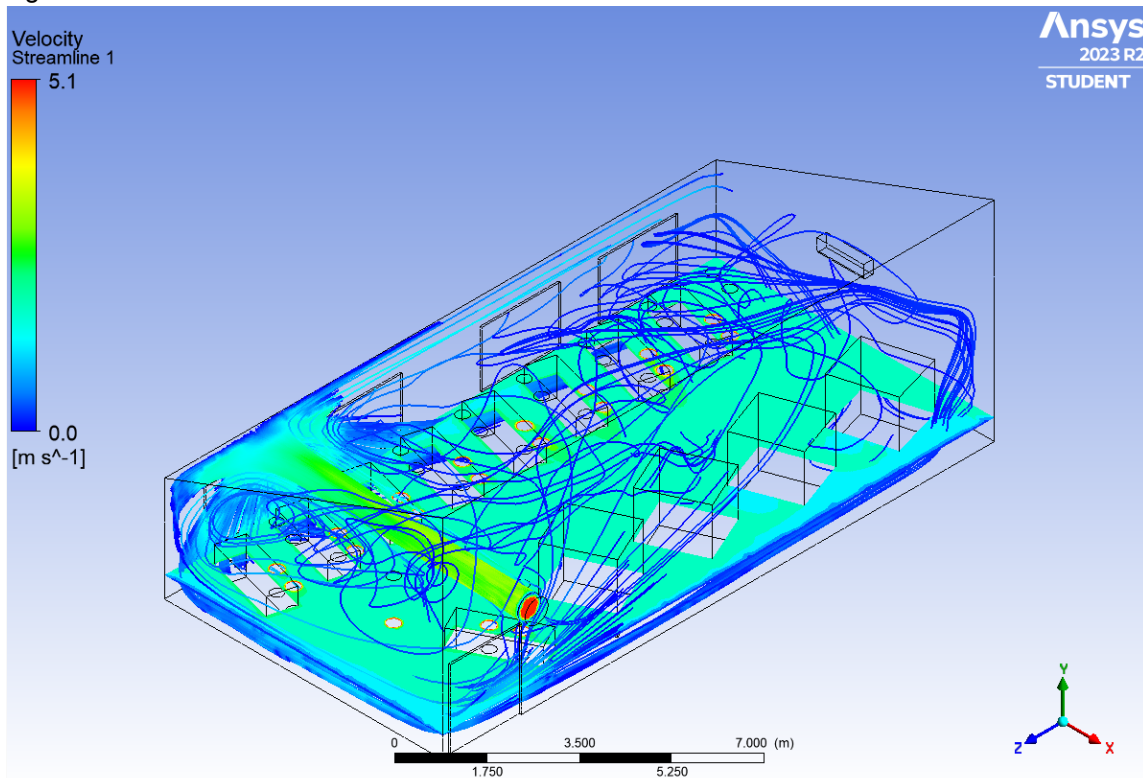
Após a conclusão, os resultados podem ser visualizados pelo *software* CFD-Post, também disponibilizado pela Ansys. Planos de corte de temperaturas no eixo YZ e o fluxo de ar obtidos no primeiro modelo, simulando as condições encontradas no dia 06/11/2023, podem ser observados nas figuras abaixo.

Figura 13: Plano de corte de temperatura.



Fonte: O autor (2023).

Figura 14: Fluxo de ar do ventilador.



Fonte: O autor (2023).

Verifica-se que temperaturas maiores foram encontradas em locais com maior aglomeração de pessoas e equipamentos, correspondendo ao processo de transferência de calor por convecção. O fluxo de ar, mesmo não possuindo a geometria e direção correta, possibilitou uma aproximação dos valores de temperatura medidos e simuladas com variação máxima de 2,15%, como mostrado no Quadro 5.

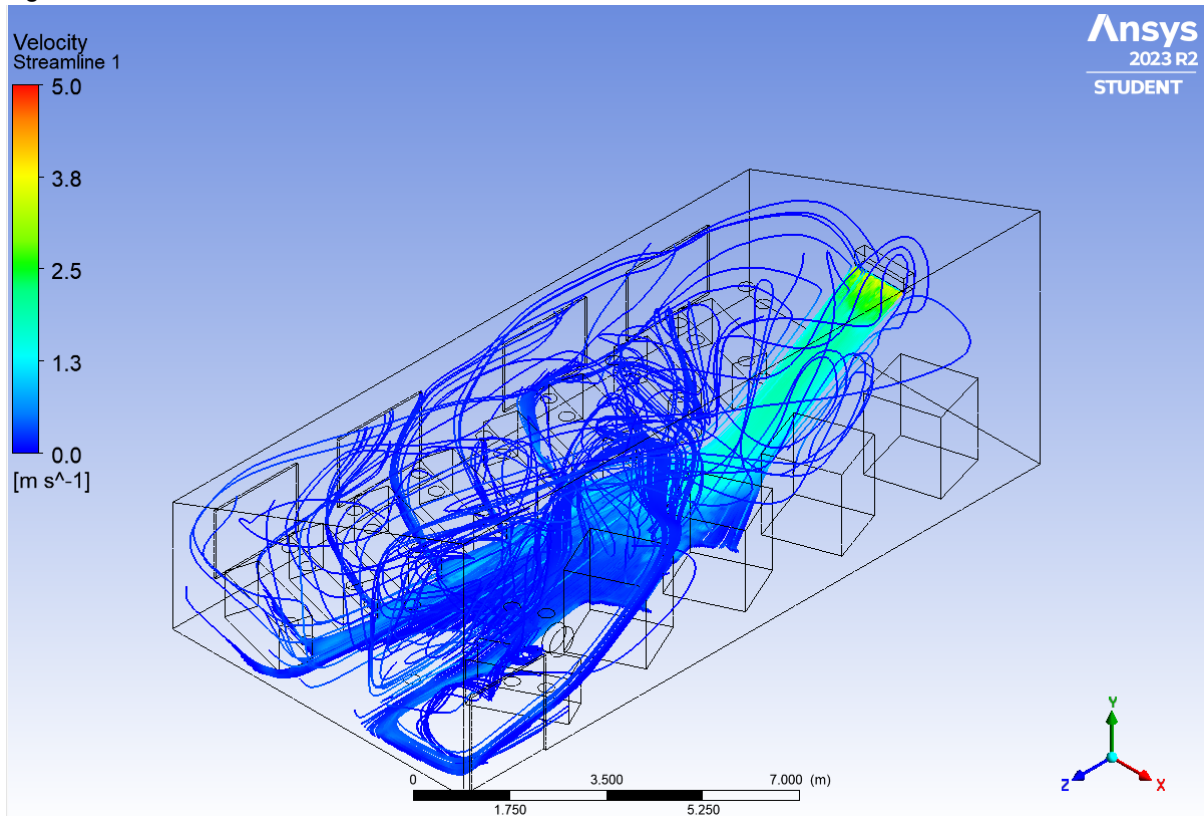
Quadro 5: Comparativo de temperaturas.

Local:	Temperatura medida:	Temperatura simulada:	Variação:
Ponto 1	28,40 °C	29,00 °C	+ 2,11%
Ponto 2	28,40 °C	28,75 °C	+ 1,23%
Ponto 3	28,30 °C	28,91 °C	+ 2,15%

Fonte: O autor (2023).

O segundo modelo, simulando a utilização do ar-condicionado no dia 06/11/2023, apresenta um fluxo de ar mais condizente com o real (Figura 15), porém o escoamento não é suficiente para refrigerar até o início da sala, onde apresenta velocidades próximas a 0 m/s.

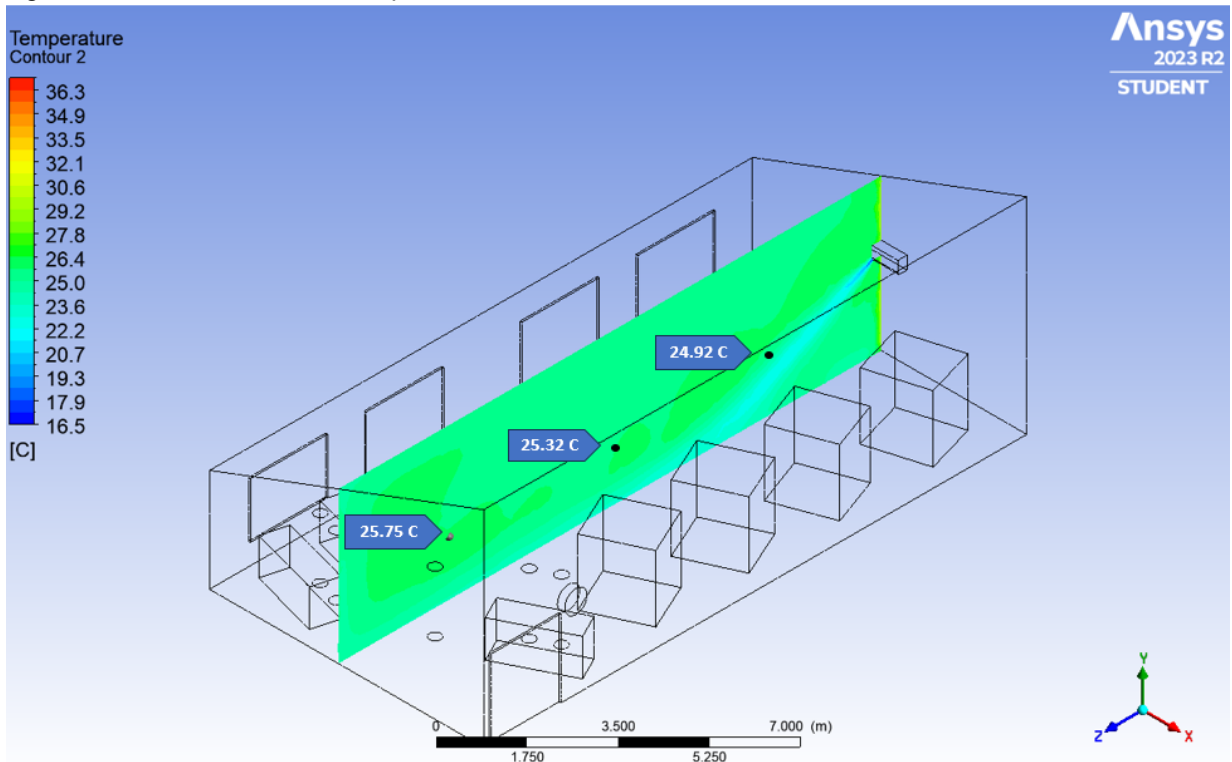
Figura 15: Fluxo de ar do ar-condicionado.



Fonte: O autor (2023).

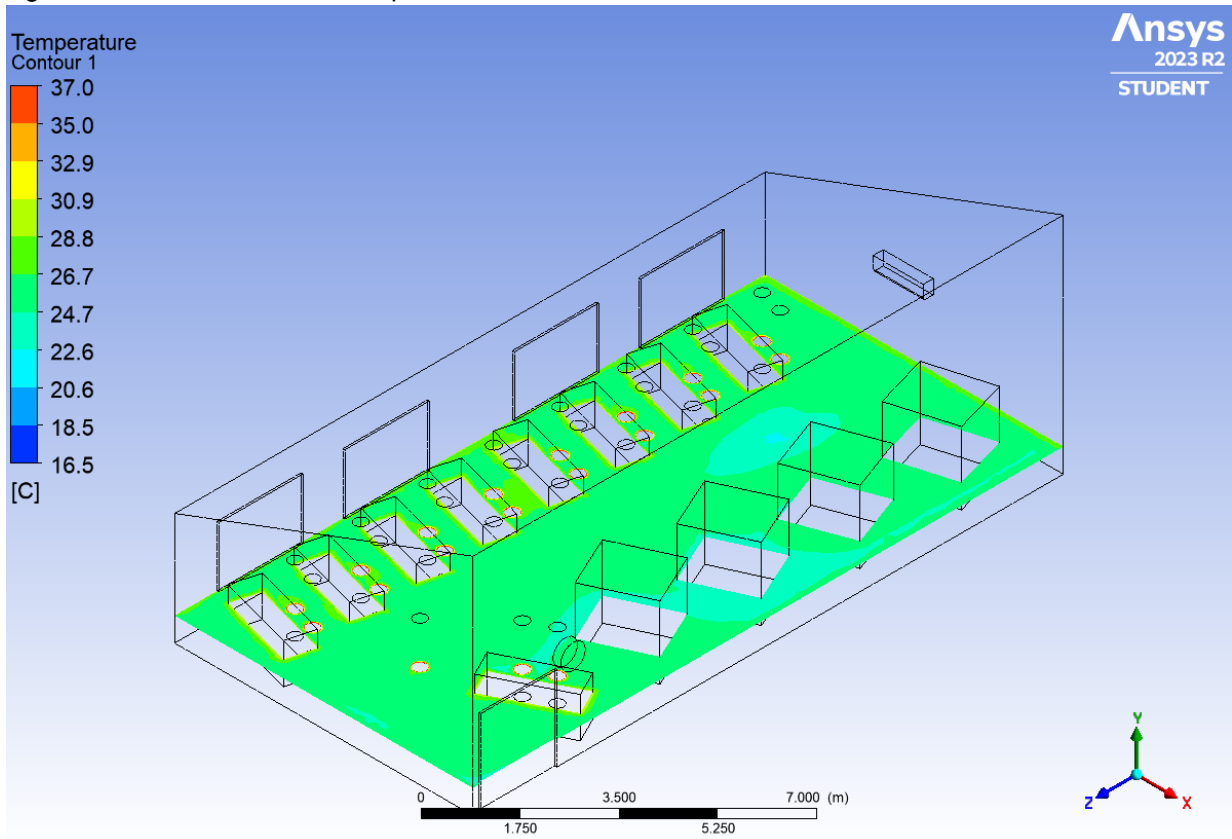
Através dos planos de corte apresentados nas Figuras 16 e 17, pode-se observar que, de maneira similar ao primeiro modelo, temperaturas maiores foram encontradas próximas ao início da sala, onde existe maior aglomeração de pessoas e equipamentos e menor velocidades do ar.

Figura 16: Plano de corte de temperaturas.



Fonte: O autor (2023).

Figura 17: Plano de corte de temperaturas ZX.



Fonte: O autor (2023).

Com a utilização do ar-condicionado no ambiente simulado, os parâmetros de conforto térmico chegam a valores próximos aos recomendados pela NBR 16401-2, apresentando uma redução de até 3,5 °C em relação aos valores medidos, possibilitando um maior conforto térmico e concentração aos alunos e professores.

4.3 Comparação de parâmetros de conforto térmico

Os parâmetros de conforto térmico medidos no laboratório estão comparados com as normas NR 17 e NBR 16401-2 no quadro abaixo.

Quadro 6: Comparativo de conforto térmico.

Norma/Local	Temperatura mínima:	Temperatura máxima:	Velocidade do ar máxima	Umidade relativa:
Laboratório (30/10/23)	23,7 °C	23,8 °C	0,40 m/s	73%
Laboratório (06/11/23)	28,3 °C	28,4 °C	0,30 m/s	46%
NBR 16401-2	21,6 °C	24,6 °C	0,25 m/s	65%
NR 17	20,0 °C	23,0 °C	<0,75 m/s	>40%

Fonte: O autor (2023).

No dia 30/10/2023 o clima estava chuvoso com temperatura externa de 20,1 °C e umidade relativa do ar de 82%, o laboratório possuía apenas o ventilador ligado. Os valores de temperatura medidos atenderam as especificações da NBR 16401-2, velocidade e umidade relativa do ar apresentaram uma pequena variação. Em relação a NR 17, a temperatura ambiente excedeu o limite máximo de 23,0 °C, velocidade e umidade do ar atenderam os valores recomendados.

No dia 06/10/2023 o clima estava ensolarado com temperatura externa de 29,2 °C e umidade relativa do ar de 54%, o laboratório possuía apenas o ventilador ligado. A temperatura ambiente medida não atendeu nenhuma das normas. A velocidade e umidade relativa apresentaram pequena variação com a NBR 16401-2, porém atenderam o exigido pela NR 17.

5 CONCLUSÃO

O estudo atual buscou ressaltar a importância da avaliação do conforto térmico em ambientes educacionais, com foco específico no laboratório de usinagem do IFSC Câmpus Xanxerê durante as aulas práticas de usinagem.

A carga térmica estimada no laboratório ultrapassou a capacidade do ar-condicionado instalado em 18.168 BTU/h. Dessa forma, recomenda-se a substituição do ar-condicionado por um modelo superior a 48.000 BTUs para atender a carga térmica do ambiente, bem como sua utilização durante as aulas de usinagem para atender as normas de conforto térmico. A instalação de dutos para o ar-condicionado é uma sugestão a ser estudada para proporcionar uma melhor distribuição do fluxo de ar.

A simulação computacional do ambiente provou-se como uma ferramenta que auxilia na obtenção de resultados para fenômenos de difícil dimensionamento ou visualização, proporcionando valores que se aproximam da realidade. No entanto, é imperativo buscar estratégias de validação para assegurar a confiabilidade desses resultados.

Através dos valores de temperatura medidos e simulados foi possível observar que em dias mais quentes o laboratório não atende os padrões recomendado pelas normas NR 17 e NBR 16401-2. Recomenda-se, assim, realizar atividades em sala em dias com temperatura superior a 28 °C.

Para trabalhos futuros sugere-se realizar as simulações com geometria e malha mais refinadas, bem como a seleção de outros modelos de turbulência. O cálculo de carga térmica utilizando uma metodologia mais avançada e a validação do modelo simulado, caso se encontre uma data com as condições climáticas semelhantes, são outras possibilidades a serem exploradas.

REFERÊNCIAS

ANSYS. **Mesh Quality & Advanced Topics**: Introduction to ansys meshing. 2015. Disponível em: https://featips.com/wp-content/uploads/2021/05/Mesh-Intro_16.0_L07_Mesh_Quality_and_Advanced_Topics.pdf. Acesso em: 23 out. 2023.

ASHRAE STANDARD. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. **American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.**, p. 13, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401-1**: Instalações de ar condicionado. Rio de Janeiro: Abnt, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401-2**: Instalações de ar condicionado. Rio de Janeiro: Abnt, 2008.

BRASIL. **NR 17 - Ergonomia**. Brasília: 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/acao-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/ctpp/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-17-atualizada-2022.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2023.

CREDER, H. **Instalações de ar condicionado**. 6. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2004.

ESSS. **Fluidodinâmica Computacional**: o que é?. 2016. Disponível em: <https://www.esss.co/blog/fluidodinamica-computacional-o-que-e/>. Acesso em: 04 mar. 2023.

FARIA, M. A. **Avaliação das condições de conforto térmico nas salas de aula do Campus do Morro do Cruzeiro da UFOP**. 2013. 158 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013. Disponível em: https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/3470/1/DISSERTA%c3%87%c3%83O_Avalia%c3%a7%c3%a3oCondi%c3%a7%c3%b5esConforto.pdf. Acesso em: 24 mar. 2023.

FELIX, V. B. **Condições de conforto térmico e desconforto local em salas cirúrgicas**. 2008. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3150/tde-02102008-173221/publico/dissertacao_victor_revisada.pdf. Acesso em: 09 mar. 2023.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico**. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001. Disponível em: <http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/18350/material/ManualConfortoTERMICO.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2023.

GIL, F. S. L. **Análise da qualidade de malha de elementos finitos e validação de**

situação de caso real de viga biapoiada. 2015. 76 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2015. Disponível em: https://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/16316/1/PG_DAMEC_2015_1_05.pdf. Acesso em: 06 mar. 2023.

INÁCIO, W. S. **Dimensionamento da carga térmica de resfriamento de ambientes:** estudo de caso no Instituto Federal Fluminense Campus Itaperuna. 2014. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Candido Mendes, Campos dos Goytacazes, 2014. Disponível em: <https://pep.ucam-campos.br/wp-content/uploads/2014/11/William-dos-Santos-In%C3%A1cio.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2023.

KNUPP, P. M. **Remarks on Mesh Quality.** In: Aerospace Sciences Meeting And Exhibit, 45., Reno., 2007. p. 8-11. Disponível em: <https://www.osti.gov/servlets/purl/1146104>. Acesso em: 23 out. 2023.

LAMBERTS, R. **Conforto e stress térmico.** Florianópolis: Labeee, 2011. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV4200_apostila%202011.pdf_2.pdf. Acesso em: 02 mar. 2023.

LAN, L. et al. The Effects of Air Temperature on Office Workers' Well-Being, Workload and Productivity-Evaluated with Subjective Ratings. **Applied Ergonomics**, 2010. Disponível em: <https://kd.nsf.gov.cn/paperDownload/1000008788793.pdf>. Acesso em: 16 mar. 2023.

MANSOR, H. et al. Body temperature measurement for remote health monitoring system. **IEEE International Conference on Smart Instrumentation, Measurement and Applications (ICSIMA).** Kuala Lumpur, 2013, p. 1-5

MARINI, M. et al. **Verification and Validation in Computational Fluid Dynamics:** the FLOWNET Database Experience. Jsme International Journal Series B-Fluids And Thermal Engineering, 2002. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/238186827_Verification_and_Validation_in_Computational_Fluid_Dynamics_the_FLOWNET_Database_Experience. Acesso em: 04 mar. 2023.

MATOS, R. S. **Refrigeração e climatização.** Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Paraná. 2015.

MAZZAFERRO, L. et al. **Manual de simulação computacional de edifícios com o uso do pré-processador slab no programa EnergyPlus.** Florianópolis, 2013. Disponível em: <https://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/manual%20slab.pdf>. Acesso em: 04 abr. 2023.

MEDEIROS, H. G. et al. **Comparativo no uso da simulação computacional com método prescritivo no cálculo da carga térmica.** Porto Alegre: Entac, 2020. 8 p.

OLIVEIRA, G. S. J. F. et al. **Conforto térmico no ambiente de trabalho: avaliação**

das variáveis subjetivas da percepção do calor. Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, p. 14. 2010.

QUEIROZ, N. F. **Tutorial Ansys Workbench 11.0**. 2008. 54 f. Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008. Disponível em:

<https://www.professores.uff.br/rbrunow/wp-content/uploads/sites/99/2017/08/TutorialAnsysWorkbench.pdf>. Acesso em: 25 maio 2023.

ROELOFSEN, P. The impact of office environments on employee performance: The design of the workplace as a strategy for productivity enhancement. **Journal of Facilities Management**, v. 1, p. 247–264, 2002.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. 3. ed. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.

SIMÕES, M. R. **Simulação computacional de escoamento turbulento em compressor axial utilizando ferramenta de CFD**. 2009. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: https://www.nidf.ufrj.br/wp-content/uploads/2019/05/11-Marcelo-Rodrigues-Simoes_09_D.pdf. Acesso em: 24 mar. 2023.

TORRES, M. G. L. **Conforto térmico e desempenho nos ambientes de ensino com inovações tecnológicas: estudo de multicasos no nordeste brasileiro**. 2016. 162 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/tede/9928/2/Arquivototal.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2023.

VERSTEEG, H. K.; MALALASEKERA, W. **An Introduction to Computational Fluid Dynamics**. Harlow: Pearson Education Limited, 2007. Disponível em: http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM702/Versteeg_Malalasekera_2ed.pdf. Acesso em: 04 mar. 2023.

WALLAUER, M. **Utilização do programa EnergyPlus para a simulação do conforto térmico em edificações populares em quatro capitais brasileiras**. 2003. 121 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/3653/000402925.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 04 abr. 2023.

ANEXO A

Manual AKROM KR 835

TERMO-HIGRO-ANEMÔMETRO KR825



TEMPERATURA AMBIENTE:

Faixa de medição: -10 a 50°C

Resolução: 0.1°C

Exatidão: $\pm 1^\circ\text{C}$

UMIDADE RELATIVA DO AR:

Faixa de medição: 0 a 99%

UR Resolução: 1%

UR Exatidão: $\pm 5\%\text{UR}$

VELOCIDADE DO VENTO:

Faixa de medição: 0.3 a 30 m/s

Resolução: 0.1 m/s

Exatidão: $\pm 5\%$

Temperatura de operação: -10 a 50°C

Umidade de operação: 0 a 99%UR
(sem condensação)

Alimentação: 3V (1 bateria CR2032)

Dimensões (LxAxP): 40x115x18 mm

Peso: 60g

RECURSOS PRINCIPAIS:

- Barra gráfica com 12 níveis de velocidade (Escala Beaufort)
- Ajuste das 3 grandezas pelo usuário
- Desligamento automático após 10 min. de inatividade
- Indicação de bateria fraca
- Bateria CR2032
- Alça de mão
- Estojo para transporte