

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Licá, Higor.

Investigação numérica de câmaras frias utilizadas no hospital universitário HU-UFMA para conservação de diferentes gêneros alimentícios / Higor Licá. - 2022.
60 p.

Orientador(a): Glauber Cruz.

Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2022.

1. ANSYS. 2. CFD. 3. Convecção Forçada. 4. Refrigeração. 5. Simulação Numérica. I. Cruz, Glauber. II. Título.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO – UFMA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS – CCET
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA - CCEM

**INVESTIGAÇÃO NUMÉRICA DE CÂMARAS FRIAS UTILIZADAS NO HOSPITAL
UNIVERSITÁRIO (HU-UFMA) PARA CONSERVAÇÃO DE DIFERENTES
GÊNEROS ALIMENTÍCIOS**

São Luís - MA

2022



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO – UFMA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS – CCET
COORDENAÇÃO DE CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA - CCEM

**INVESTIGAÇÃO NUMÉRICA DE CÂMARAS FRIAS UTILIZADAS NO HOSPITAL
UNIVERSITÁRIO (HU-UFMA) PARA CONSERVAÇÃO DE DIFERENTES
GÊNEROS ALIMENTÍCIOS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Bacharelado em Engenharia
Mecânica da Universidade Federal do
Maranhão como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Discente: Higor Medeiros Licá.

Orientador: Prof. Dr. Glauber Cruz.

São Luís - MA

2022

HIGOR MEDEIROS LICÁ

**INVESTIGAÇÃO NUMÉRICA DE CÂMARAS FRIAS UTILIZADAS NO HOSPITAL
UNIVERSITÁRIO (HU-UFMA) PARA CONSERVAÇÃO DE DIFERENTES
GÊNEROS ALIMENTÍCIOS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Bacharelado em Engenharia
Mecânica da Universidade Federal do
Maranhão como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

São Luís, 12 de agosto de 2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Glauber Cruz
Universidade Federal do Maranhão - UFMA

Prof. Me. Ricardo Henrique Nascimento Frazão
Universidade Federal do Maranhão – UFMA

Eng. Mec. Thiago dos Santos Maia
Avaliador externo – HU-UFMA

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus que me proporcionou saúde, proteção e perseverança para chegar até aqui.

Aos meus pais e meus irmãos, minha base, que sempre me apoiaram, incentivaram e fizeram de tudo para que eu construísse um bom futuro.

Aos meus familiares, principalmente sobrinhos e afilhados.

Ao meu amigo e quase irmão que a UFMA me deu, Leandro, assim como todos os outros amigos que fiz durante esta caminhada.

Aos meus amigos de longa data e da igreja, por fazerem da minha vida algo mais leve.

Ao Professor Dr. Glauber Cruz por toda ajuda, ensinamentos, dedicação e compreensão.

Ao Engenheiro Mecânico, Thiago Maia, e à nutricionista Patrícia Moreira, bem como todos os colaboradores do Hospital Universitário da UFMA, por todo o auxílio e compreensão durante minha estadia na coleta de dados.

“O sonho de um homem nunca tem fim”

Marshal D. Teach (One Piece)

RESUMO

Alguns alimentos, como frutas, laticínios e os diversos tipos de carnes, muito apreciados e consumidos pela população brasileira, devem ser conservados em ambientes com temperaturas relativamente baixas (≈ -1 a $8\text{ }^{\circ}\text{C}$), para que mantenham os principais nutrientes (proteínas, vitaminas, minerais, carboidratos e lipídios) por um longo espaço de tempo. A maioria dos supermercados e hospitais de médio e grande porte situados no Brasil apresentam sistemas de refrigeração para a estocagem e conservação de diversos gêneros alimentícios. Com o intuito de avaliar, analiticamente e numericamente a temperatura de conservação de diferentes alimentos (frangos, carnes, laticínios e frutas) em câmaras frias realizou-se diversas medições de temperaturas nas câmaras frias do Hospital Universitário da UFMA (HU-UFMA), em São Luís (MA), sempre obedecendo ao mesmo horário das medições para fins comparativos, ou seja, em dois horários previamente determinados (início: 13:00 h e fim da tarde: 16:00 h). As medidas de temperatura foram tomadas com o auxílio de um termômetro digital de infravermelho (pirômetro ótico). Para validação e comparação dos dados experimentais coletados nas câmaras frias utilizou-se o componente *Fluent* do *software* comercial ANSYS. Os resultados mostraram o quanto a simulação numérica pode auxiliar no controle de armazenamento de alimentos em câmaras frias, visto a proximidade entre os valores de temperatura obtidos *in loco* e as obtidas no ANSYS, como a carne bovina, que apresentou temperaturas de $-3,15 \pm 0,39$ e $-3,10\text{ }^{\circ}\text{C}$ para as medições *in loco* e no ANSYS, respectivamente. Por fim, outro fator importante comprovado nos resultados foi a utilização do modelo de turbulência $k-\omega$ SST em problemas que envolvam a simulação numérica de câmaras frias, pois observou-se a presença de vórtices e recirculações nos vetores de fluxo de ar dentro das câmaras frias por meio dos campos de velocidades.

Palavras-chave: Convecção Forçada. Simulação Numérica. Refrigeração. CFD.ANSYS.

SUMMARY

Some foods, such as fruits, dairy products and different types of meat, much appreciated and consumed by the Brazilian population, must be preserved in environments with relatively low temperatures (≈ -1 to 8 °C), so that they maintain the main nutrients (proteins, vitamins, minerals, carbohydrates and lipids) over a long period of time. Most medium and large supermarkets and hospitals located in Brazil have refrigeration systems for the storage and conservation of various foodstuffs. In order to analyze, analytically and numerically, the storage temperature of different foods (chickens, meats, dairy products and fruits) in cold chambers, several temperature measurements were carried out in the cold chambers of the University Hospital of UFMA (HU-UFMA), in São Luís (MA), always observing the same time of measurements for comparative purposes, that is, at two previously determined times (beginning: 01:00 pm and late afternoon: 04:00 pm). Temperature measurements were taken with the aid of a digital infrared thermometer (optical pyrometer). For validation and comparison of the experimental data collected in the cold chambers, the Fluent component of the commercial software ANSYS was used. The results showed how the numerical simulation can help in the control of food storage in cold rooms, given the proximity between the temperature values obtained in loco and those obtained in ANSYS, such as meat, which presented temperatures of -3.15 ± 0.39 and -3.10 °C for on-site and ANSYS measurements, respectively. Finally, another important factor proven in the results was the use of the $k-\omega$ SST turbulence model in problems involving the numerical simulation of cold chambers, since the presence of vortices and recirculations in the air flow vectors inside the chambers was observed. cold through the velocity fields.

Keywords: Forced Convection. Numerical Simulation. Refrigeration. CFD.ANSYS.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representação da caça e pesca na pré-história.....	12
Figura 2. Principais agentes etiológicos causadores de surtos de DTA's no Brasil entre 2000 e 2015.....	15
Figura 3. Principais modos de transferência de calor.....	18
Figura 4. Principais tipos de transferência de calor por Convecção.....	19
Figura 5. Ilustração esquemática de uma câmara fria.....	22
Figura 6. Principais fontes de calor disponíveis em uma câmara fria.....	23
Figura 7. Vista da fachada da entrada principal do Hospital Universitário da UFMA, Unidade Presidente Dutra.....	24
Figura 8. Representação esquemática da distribuição espacial das câmaras frias presentes na unidade hospitalar Presidente Dutra.....	25
Figura 9. Imagens retiradas de algumas câmaras frias do HU-UFMA.....	26
Figura 10. Comparação entre os três tipos de malhas: (a) grosseira, (b) intermediária e (c) fina.....	30
Figura 11. Distribuição de temperaturas coletadas nas câmaras frias: (a) hortifruti, (b) laticínios e (c) carnes.....	33
Figura 12. Câmara fria para Hortifruti.....	38
Figura 13. Malhas geradas para as câmaras frias de hortifrutis: (a) grosseira, (b) intermediária e (c) refinada.....	38
Figura 14. Campos de temperatura para a câmara fria de hortifruti para as malhas: (a) grosseira e (b) intermediária.....	40
Figura 15. Aproximação da área de repolhos para a malha intermediária.....	41
Figura 16. Representação do campo de velocidades da câmara de Hortifruti com destaque para os vetores do fluxo de ar.....	42
Figura 17. Presença de recirculações no fluxo de ar observadas no campo de velocidades da câmara de Hortifruti.....	43
Figura 18. Distribuição do campo de Temperaturas para a câmara fria de iogurte.....	43
Figura 19. Geometria da câmara fria de laticínios.....	53
Figura 20. Malha Grosseira da câmara de laticínios.....	53
Figura 21. Vista em corte da malha intermediária da câmara de laticínios.....	54
Figura 22. Vista em corte da malha fina da câmara de laticínios.....	54
Figura 23. Distribuição de temperatura na malha grosseira da câmara de laticínios.....	55
Figura 24. Distribuição de temperatura na intermediária grosseira da câmara de laticínios.....	55

Figura 25. Campo de velocidades da câmara de laticínios.....	56
Figura 26. Geometria da câmara de carnes	56
Figura 27. Malha Grosseira da câmara de carnes.....	57
Figura 28. Malha intermediária da câmara de carnes.....	57
Figura 29. Malha Fina da câmara de carnes.....	58
Figura 30. Distribuição de temperatura na malha grosseira da câmara de carnes.....	58
Figura 31. Distribuição de temperatura na malha grosseira da câmara de carnes.....	59
Figura 32. Vista ampliada da distribuição de temperatura na malha grosseira da câmara de carnes	59
Figura 33. Campo de velocidades da câmara de carnes	60
Figura 34. Vista ampliada do campo de velocidades da câmara de carnes.....	60

SUMÁRIO

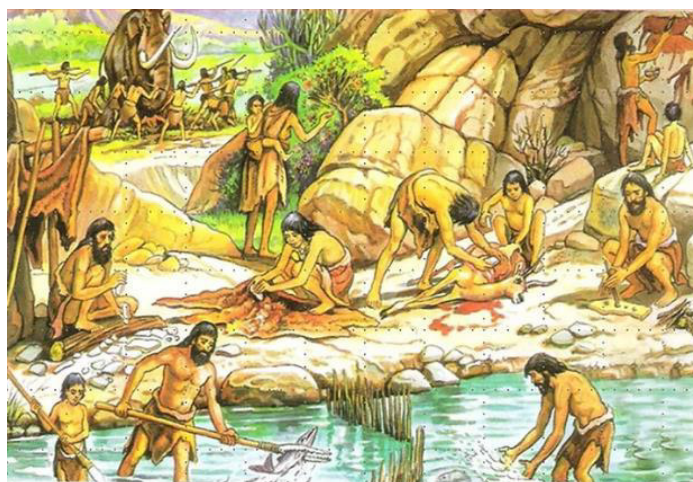
1 INTRODUÇÃO	12
2 JUSTIFICATIVA	14
3 OBJETIVOS	17
3.1 Geral.....	17
3.2 Específicos.....	17
4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
4.1 Fenômenos que regem a transferência de calor	18
<i>4.1.1 Condução térmica</i>	<i>18</i>
<i>4.1.2 Convecção</i>	<i>19</i>
<i>4.1.3 Radiação.....</i>	<i>20</i>
4.2 Câmaras frias	20
4.3 Sistemas térmicos das câmaras frias no Brasil.....	23
4.5 Análise numérica utilizando o software ANSYS.....	26
5 METODOLOGIA.....	29
5.1 Coleta e tratamento dos dados obtidos nas câmaras frias	29
5.2 Análise numérica no software ANSYS.....	29
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
6.1 Coleta de dados nas câmaras frias.....	33
6.2. Análise numérica das câmaras frias.....	36
7. CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	45
7.1. Conclusão.....	45
7.2 Sugestões para trabalhos futuros.....	45
REFERÊNCIAS	47
ANEXO I – MALHAS, CAMPOS DE TEMPERATURA E VELOCIDADE DAS	

CÂMARAS FRIAS DE LATICÍNIOS E CARNES.....	53
--	-----------

1 INTRODUÇÃO

Desde a pré-história, o homem deparou-se com a problemática da conservação de gêneros alimentícios (caças e pescas, Figura 1), pois o caráter nômade dos povos desta época e a distribuição irregular de gêneros por regiões, infligiram a procura de diferentes formas de conservação dos alimentos que permitisse o transporte e armazenamento destes (GASPAR e PITARMA, 2003).

Figura 1. Representação da caça e pesca na pré-história



Fonte: BIOH (2012).

A temperatura relativamente baixa, isto é, da ordem de 5 °C, constitui o único meio de conservação de alimentos no estado natural destes. Entretanto, esta ação somente é verdadeiramente eficaz caso esta temperatura considerada mais fria, seja aplicada de forma contínua, desde a fabricação/empacotamento dos alimentos até o momento do preparo para consumo (GASPAR e PITARMA, 2003).

Esta técnica de conservação de alimentos por meio de baixas temperaturas é de suma importância, pois, retarda e evita alterações nos mesmos, na maioria das vezes causadas por microrganismos, que podem inutilizar os alimentos do ponto de vista composicional e nutricional (MILLANI e POSSAMAI, 2011).

A utilização de baixas temperaturas, como o resfriamento e congelamento, apresenta algumas vantagens frente aos métodos tradicionais de preservação de alimentos, como secagem, fumagem, salga e salmoura, pois, estes podem alterar a aparência, sabor inicial, potencial nutritivo, além destes possuírem um baixo tempo de armazenamento (CUNHA FILHO *et al.*, 2017, GASPAR e PITARMA, 2003).

A relação tempo e temperatura apresenta uma forte influência para a qualidade do processo de produção e armazenagem dos alimentos, principalmente, os perecíveis,

que requerem cuidados especiais (como laticínios e carnes) em relação à temperatura de transporte e exposição dos referidos alimentos em balcões refrigerados ou câmaras frias (OLIVEIRA *et al.*, 2019).

Os balcões refrigerados e câmaras frias em supermercados e hospitais são os locais, onde são disponibilizados ou estocados os alimentos perecíveis. Há casos em que estes locais não atendem aos parâmetros exigidos pelos órgãos da vigilância sanitária, os quais certificam a temperatura mínima necessária para o armazenamento adequado de gêneros alimentícios (SILVA JR., 2014; FONSECA, 2006; OLIVEIRA *et al.*, 2019).

Nesse sentido, é conveniente ressaltar que em alguns hospitais, as câmaras frias são utilizadas não somente para armazenamento e conservação de alimentos, como ainda são úteis na conservação de medicamentos e vacinas (SECRETARIA DA SAÚDE, 2021). Ainda tomando como base os hospitais, as câmaras frias destes também podem ser utilizadas como câmaras frias mortuárias ou de armazenamento de partes amputadas (até que seja dado o devido fim), para acondicionamento de corpos humanos, suprimindo as necessidades dos hospitais em relação à segurança biológica no manejo pós-óbito (SES-AM, 2021).

Neste âmbito, o presente estudo avaliou, analiticamente e numericamente, a temperatura de conservação de diferentes alimentos (tomates, repolhos, ovos, iogurtes, geleias, carnes bovinas e frangos) obtida em três câmaras frias específicas de um hospital universitário, o qual presta relevante assistência médica e ambulatorial para toda a população do Estado do Maranhão e está diretamente ligado à Universidade Federal do Maranhão. Para o perfeito cumprimento dos objetivos propostos neste estudo, os dados obtidos com um pirômetro óptico foram utilizados no *software* Ansys (versão 2020 R2), comparando-os com as normas vigentes para estocagem, preservação de diferentes alimentos e também com diversos trabalhos científicos especializados.

2 JUSTIFICATIVA

A deficiência de cuidados (como controle de temperatura e má higienização dos equipamentos utilizados) e vistorias periódicas na produção e estocagem de produtos perecíveis conservados a frio, podem levar ao surgimento de microrganismos, por exemplo, bactérias, vírus e fungos que causam Doenças Transmitidas por Alimentos (DTA's) (AKTRON, 2018). Essas doenças podem ser causadas pela ingestão de alimentos ou água contaminados (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2019). Atualmente, sabe-se por meio de relatórios fornecidos pela Organização Mundial de Saúde (OMS, 2019), que existe mais de 250 tipos de DTA's conhecidas ao redor do mundo, das quais podem ser citadas: Botulismo, Cólera, Hepatite A e Toxoplasmose (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2018; SINAN, 2019).

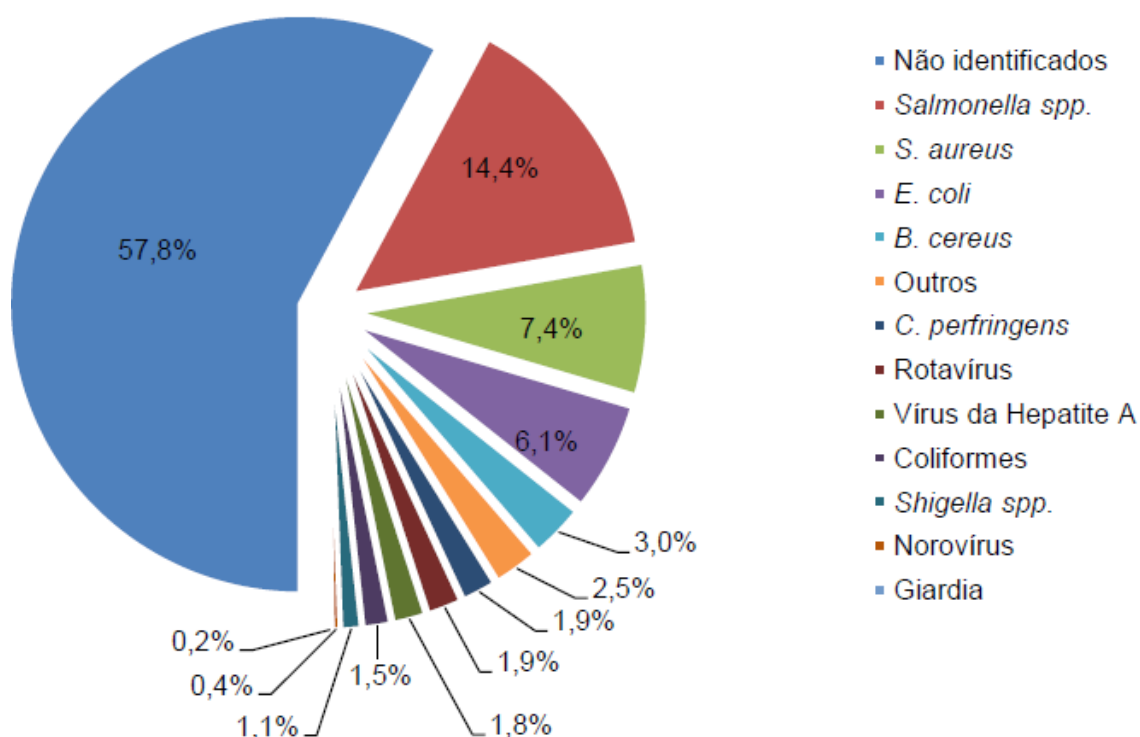
Segundo o Ministério da Saúde (2018), as DTA's são apresentadas como uma das grandes causas de morbidade e mortalidade em todo o mundo. No Brasil, a vigilância epidemiológica das DTA's (VE-DTA) monitora os surtos de DTA's, ou seja, investigam o surto imediatamente após a notificação, desenvolvendo atividades de campo para obter informações epidemiológicas e propõem medidas de intervenção, prevenção e controle (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2018). De acordo com os dados do Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN, 2019), são notificados em média, por ano no Brasil, aproximadamente 700 (setecentos) casos de surtos de DTA's, com envolvimento de 13 (treze) mil doentes e 10 (dez) óbitos (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2018).

De acordo com o Ministério da Saúde (2019), a Organização Mundial de Saúde (OPAS BRASIL, 2019) considera as DTA's como uma grande preocupação de saúde pública global e estima que, a cada ano, estas causem o adoecimento de uma a cada 10 (dez) pessoas, e até o presente momento já causaram a morte de aproximadamente 33 (trinta e três) milhões de vidas. Algumas DTA's podem ser fatais, ou seja, com causa letal direta e instantânea, principalmente em crianças menores de 5 (cinco) anos, onde estas podem totalizar cerca de 420 (quatrocentas e vinte) mil mortes por ano (OPAS BRASIL, 2019). Na região das Américas (Nordeste, Norte, Sul e parte do Sudeste), as doenças diarreicas são responsáveis por aproximadamente 95% (noventa e cinco por cento) das DTA's (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2019).

Dentre os principais agentes causadores de DTA's, que podem ser proliferados devido a irregularidades na temperatura de conservação e armazenamento de alimentos,

podem-se citar: *Staphylococcus aureus*, *Salmonella spp*, *Clostridium perfringens*, *Bacillus Cereus* (tipo emético e diarreico), entre outras, as quais causam diretamente vômitos, náuseas, dores abdominais, diarreia, cefaleia, entre outras doenças ou sintomas apresentados pelos consumidores de alimentos estragados (AKTRON, 2018; MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2019). Os principais agentes etiológicos causadores de surtos de DTA's no Brasil entre os anos de 2000 a 2015 estão dispostos na Figura 2, com destaque para *Salmonella ssp* (14,4%), *S. aureus* (7,4%) e *E. coli* (6,1%).

Figura 2. Principais agentes etiológicos causadores de surtos de DTA's no Brasil entre 2000 e 2015.



Fonte: Adaptado de Ferreira (2017).

O artigo 31 da Norma Regulamentadora nº 4/2014 – DIVISA/SVS/SES preconiza que para os produtos resfriados, por exemplo, as carnes suína e bovina, aves, e os produtos manipulados crus devem ser mantidos em uma temperatura de armazenamento e conservação de até 4 °C, e apresentar um período de validade de no máximo 3 (três) dias (SES-DF, 2014). Ainda com base nesta Norma Regulamentadora, o leite e os derivados de laticínios devem ser mantidos em até 7 °C e esta mesma validade deve ser de no máximo 5 (cinco) dias.

Portanto, para que as normas regulamentadoras vigentes sejam cumpridas, uma análise correta e eficiente dos sistemas de refrigeração possibilita uma redução nos riscos de contaminação dos alimentos por agentes etiológicos, que são proliferados em

temperaturas acima das especificadas pelas NR's, ocasionando também uma considerável redução nos casos de DTA's e, conseqüentemente, melhorando o bem-estar e a saúde dos seres humanos (GEMO, 2016).

Com base nas informações apresentadas anteriormente, esta pesquisa visa à avaliação das câmaras frias de um hospital universitário, localizado na cidade de São Luís (MA), usadas para conservação e armazenamento de diferentes alimentos, por meio de coleta de dados *in loco* e uma análise numérica em um *software* específico de Engenharia, comparando os resultados obtidos nesses dois métodos (*in loco* e computacionalmente) com as Normas Regulamentadoras vigentes voltadas para essa determinada finalidade. Esse estudo foi desenvolvido com auxílio de equipamentos e dispositivos localizados no Laboratório de Processos e Sistemas Térmicos (LPSisTer) do Departamento de Engenharia Mecânica (DEM) da Universidade Federal do Maranhão (UFMA).

3 OBJETIVOS

3.1 Geral

- Comparar com as Normas Regulamentadoras e a literatura disponível de uma forma analítica os dados de temperaturas de alguns alimentos (tomates, repolhos, ovos, iogurtes, geleias, carnes bovinas e frangos) obtidos por meio da medição destas nas câmaras frias do Hospital Universitário da UFMA (HU-UFMA) e numericamente por meio do *software* ANSYS.

3.2 Específicos

- Medir a temperatura dos alimentos nas câmaras frias por meio de um termômetro digital de infravermelho (pirômetro ótico);
- Implementar as câmaras frias com alimento em *software* CAD e exportá-los para o *software* de análise numérica ANSYS;
- Criar diferentes modelos de malhas (grosseira, intermediária e refinada) para os alimentos analisados no *software* ANSYS e utilizar o método *Grid Convergence Index* (GCI) para determinar a malha mais apropriada para a realização da análise numérica;
- Embasar-se teoricamente do assunto abordado em fontes científicas confiáveis (livros didáticos, periódicos, normas regulamentadoras, revistas científicas nacionais e internacionais, etc);
- Analisar e comparar os dados obtidos *in loco* e numericamente, por meio de tabelas, figuras e gráficos, comparando-os com as diferentes fontes científicas e normas regulamentadoras;

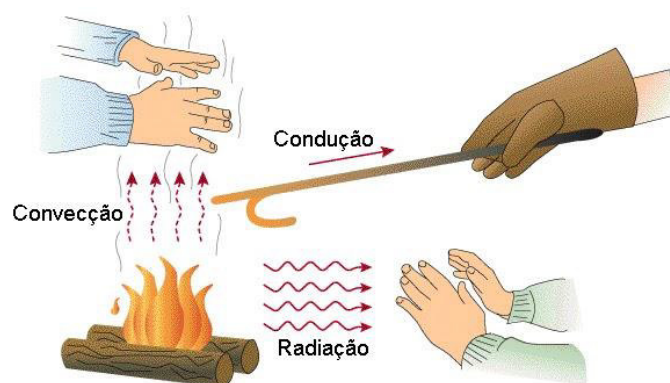
4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 Fenômenos que regem a transferência de calor

A ciência que estuda as taxas de troca de calor entre diferentes corpos e sistemas é conhecida como transferência de calor. Esta transferência é geralmente encontrada em sistemas de Engenharia e aspectos da vida como o próprio corpo humano, rejeitando calor para o ambiente, fogões elétricos e a gás, aquecedores e ar-condicionado, entre outros (ÇENGEL e GHAJAR, 2014).

Incropera e Dewitt (2011) definiram a transferência de calor como a energia térmica em trânsito devido a uma diferença de temperaturas no espaço. Estes mesmos autores citaram que, onde quer que haja diferença de temperaturas em um meio ou entre diferentes meios, haverá, essencialmente, uma transferência de calor obrigatoriamente. Os principais modos estudados de transferência de calor são condução, convecção e radiação e são mostrados na Figura 3 (KREITH, 2003; INCROPERA e DEWITT, 2011).

Figura 3. Principais modos de transferência de calor.



Fonte: Retirada de Bombeiro Baldini (2014).

4.1.1 Condução térmica

De acordo com Çengel e Ghajar (2014) e Incropera e Dewitt (2011), a condução térmica é a transferência de energia das partículas mais energéticas para as menos energéticas de uma substância devido às interações entre partículas. Entretanto, Kreith (2003) definiu que a condução térmica ocorre sempre que existir um gradiente de temperatura, ou seja, diferença de temperaturas em um meio sólido. Nesse caso, o calor fluirá de uma região de maior temperatura para a região de menor temperatura de forma natural, o oposto também pode ocorrer, mas para que tal fenômeno aconteça será necessário a utilização de sistemas específicos que promovam essa determinada troca de

calor (INCROPERA e DEWITT, 2011).

O fluxo térmico (q''), ou seja, a taxa de transferência de calor na direção x por unidade de área perpendicular à direção da transferência, na condução térmica é encontrado por meio da Lei de Fourier da condução térmica (Equação 1).

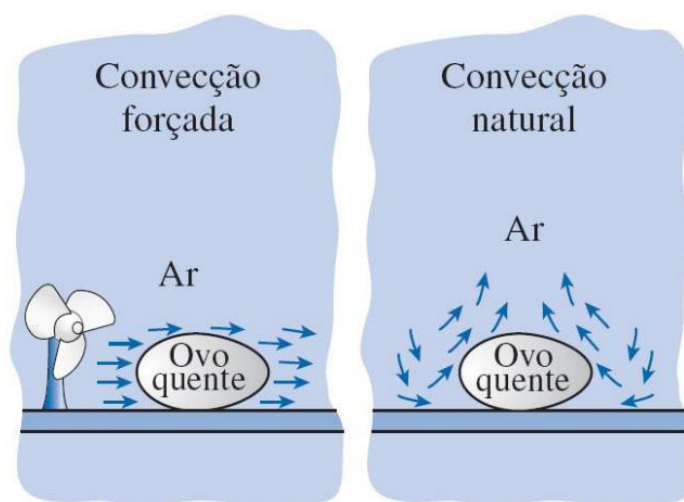
$$q'' = k \frac{\Delta T}{L} \quad (1)$$

onde q'' é o fluxo térmico por condução [W/m^2], k é a condutividade térmica do material [W/mK], ΔT é o gradiente de temperatura [K] e L é a espessura da parede (corpo) (ÇENGEL e GHAJAR, 2014).

4.1.2 Convecção

A convecção é um modo de transferência de calor que ocorre com o contato direto entre um fluido em movimento e uma superfície (aquecida ou resfriada), envolvendo os efeitos combinados de condução e movimento global de um fluido. Quanto maior for a velocidade do fluido, maior será a transferência de calor por convecção. A velocidade de uma massa de fluido é fundamental para a ocorrência de convecção, ou seja, caso não haja movimento do fluido, a transferência de calor entre o fluido e a superfície sólida ocorrerá puramente por condução (ÇENGEL e GHAJAR, 2014; INCROPERA e DEWITT, 2011).

Figura 4. Principais tipos de transferência de calor por Convecção.



Fonte: Adaptada de Çengel e Ghajar (2014).

A transferência de calor por convecção pode ser classificada de acordo com a natureza do escoamento do fluido, podendo ser forçada ou natural (Figura 4). Na convecção forçada, o fluido é forçado a fluir sobre a superfície por meios externos, como bombas e ventiladores. Por outro lado, na convecção natural, o movimento do

fluido é causado por forças de empuxo ou flutuação induzidas por diferenças de densidade, causadas pela diferença da temperatura no fluido (KREITH, 2003).

A taxa de transferência de calor por convecção pode ser obtida por meio da Lei do Resfriamento de Newton (Equação 2).

$$\dot{q} = hA_s(T_s - T_\infty) \quad (2)$$

onde \dot{q} é a taxa de transferência de calor por convecção [W], h é o coeficiente de transferência de calor por convecção [$\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$], A_s é a área superficial onde ocorre a convecção [m^2], T_s é a temperatura da superfície [K] e T_∞ é a temperatura do fluido [K] (INCROPERA e DEWITT, 2011; KREITH, 2003; ÇENGEL e GHAJAR, 2014).

4.1.3 Radiação

Segundo Incropera e Dewitt (2011), a radiação térmica é a energia emitida pela matéria que se encontra a uma temperatura diferente de zero. Esta emissão não ocorre apenas a partir de superfícies sólidas, mas também por gases e líquidos. A taxa máxima de radiação que pode ser emitida de uma superfície é dada pela Equação 3, conhecida como a lei de *Stefan-Boltzmann* (ÇENGEL e GHAJAR, 2014).

$$\dot{q} = \sigma A_s T_s^4 \quad (3)$$

onde $\sigma = 5,67 * 10^{-8}$ [$\text{W}/\text{m}^2 \text{K}^4$] é a constante de *Stefan-Boltzmann*. A Equação 3 descreve um radiador perfeito ou um corpo negro, em que a taxa de transferência de calor por radiação é máxima. A taxa emitida pelas superfícies reais é menor do que a radiação do corpo negro na mesma temperatura, pois é necessário incluir uma constante no cálculo da taxa, conhecida como emissividade (ϵ), $0 \leq \epsilon \leq 1$. Portanto, a radiação para superfícies reais é expressa pela Equação 4 (ÇENGEL e GHAJAR, 2014; INCROPERA e DEWITT, 2011).

$$\dot{q} = \epsilon \sigma A_s T_s^4 \quad (4)$$

4.2 Câmaras frias

A vida útil de armazenamento de alimentos perecíveis frescos, como carnes, peixes, legumes e frutas, pode ser prolongada por vários dias, armazenando-os de forma correta e a temperaturas imediatamente acima do ponto de congelamento, geralmente entre 1 e 4 °C, ou ainda prolongá-la por vários meses, congelando-os e armazenando-os em temperaturas subcongelantes, ou seja, geralmente entre -18 e -35 °C, dependendo do

alimento em particular (ÇENGEL e GHAJAR, 2014). Oliveira *et al.* (2019) demonstraram algumas temperaturas recomendadas para a conservação de determinados alimentos (Tabela 1), segundo indicação de fabricantes de câmaras frias.

Tabela 1 - Refrigeração indicada pelo fabricante de câmaras frias para determinados alimentos.

Produtos	Temperaturas de refrigeração
Leite tipo C	Até 10 °C
Leite fermentado	
Queijo minas frescal	
Manteiga	1 a 10 °C
Queijo tipo <i>Petit Suisse</i>	
Iogurte	-10 a 1 °C
Requeijão	
Manteiga	1 a 8 °C
Fígado de galinha	-12 °C
Linguiça mista	
Corte de frango congelado	
Linguiça toscana	
Sobrecoxa congelada	
Mini quiche	-18 °C
Canjinha de frango	

Fonte: Oliveira *et al.* (2019).

Além de conservar os alimentos, a utilização de baixas temperaturas inibe algumas atividades microbianas, desacelera os processos químicos e/ou biológicos que ocorrem nos alimentos e a deterioração e perda da qualidade dos produtos e diversos nutrientes (proteínas, vitaminas, minerais e ferro) (SOUZA *et al.*, 2013).

Por exemplo, o milho pode perder metade do teor inicial de açúcares em um único dia, quando este é mantido a 21 °C, mas apenas 5% desse teor quando o mesmo alimento é conservado a 0 °C (FERREIRA, 2014). Outro exemplo é o frango após abatido, que iniciado o processo de resfriamento a ar frio pode ter uma perda de umidade de 1 a 2%, enquanto, o resfriamento por imersão em água pode causar uma absorção de umidade de 4 a 15% (ÇENGEL e GHAJAR, 2014).

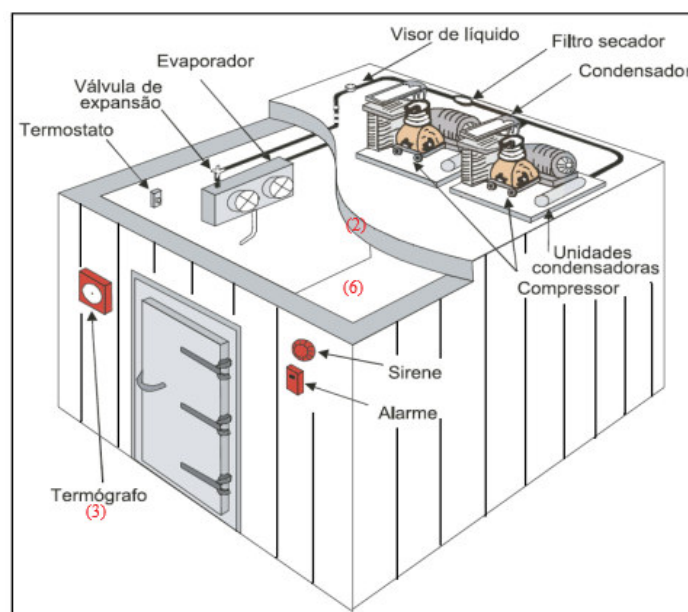
Entretanto, é comum perceber em alguns locais de conservação e armazenamentos como supermercados e hospitais, a conservação irregular de diversos alimentos perecíveis, principalmente, em relação à temperatura, a qual causa contaminações microbianas e bacterianas, estas ocasionando sérios problemas de saúde ao consumidor final e resultando até em óbitos (ÇENGEL e GHAJAR, 2014; FERREIRA, 2014; MORAES, 2013; GEMO, 2016).

A rede que trata do fluxo de alimentos que precisam ser mantidos refrigerados, desde a produção até a disponibilização ao cliente final, é chamada de cadeia do frio

(RADTKE, *et al.*, 2018). A cadeia do frio é uma rede de abastecimento que contém produtos sensíveis à temperatura e muitas vezes altamente perecíveis, envolvendo o armazenamento, preservação, distribuição, transporte e manuseio de produtos com controle de temperatura adequada (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2013).

As pesquisas envolvendo a cadeia de frio continuam sendo aprofundadas, fazendo com que essas mudanças busquem sempre uma melhor eficiência e qualidade para toda a cadeia alimentar (SPAGNOL, *et al.*, 2018). Dentre as diversas pesquisas consultadas, para que seja mantida a qualidade dos produtos que chegam ao consumidor final pela cadeia do frio, evidenciou-se, principalmente, a importância dos cuidados e bom funcionamento das câmaras frias (RADTKE *et al.*, 2018).

Figura 5. Ilustração esquemática de uma câmara fria.



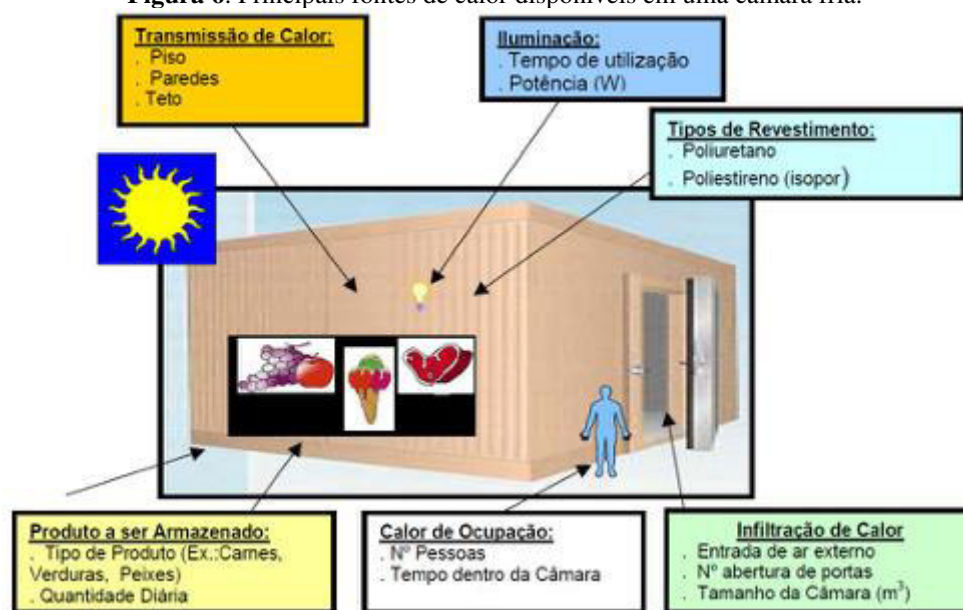
Fonte: Retirado de Silva, Souza e Rocha (2014).

As câmaras frias (Figura 5) são utilizadas para estocagem e congelamento dos alimentos perecíveis nos supermercados, hospitais, restaurantes, hotéis, hospitais, laboratórios, açougues, panificadoras, indústrias alimentícias, etc (SILVA, SOUZA e ROCHA, 2014). De acordo com a Portaria CVS 5 (Centro de Vigilância Sanitária), do Regulamento Técnico de boas práticas para estabelecimentos comerciais de alimentos e serviços de alimentação, por exemplo, as câmaras frigoríficas devem apresentar: 1) antecâmara para proteção térmica; 2) revestimento com material lavável, impermeável e resistente; 3) termômetro de fácil leitura e calibração (com visor instalado no lado externo da câmara); 4) interruptor de segurança localizado na parte externa que sinalize "ligado" e "desligado"; 5) prateleiras e estrados em material impermeável, resistente e

lavável; 6) dispositivo de segurança interno que permita abrir a porta por dentro, isento de ralo ou grelha; 7) piso de material liso, antiderrapante, resistente, impermeável, lavável, íntegro, sem trincas, vazamento e infiltrações, entre outros fatores (SECRETARIA DE ESTADO DA SAÚDE, 2013).

De acordo com Padilha (2018), diversos fatores e cargas térmicas podem influenciar no funcionamento de um sistema de refrigeração de câmara fria, como transmissão de calor, iluminação, tipo de revestimento da câmara, entre outros fatores (Figura 6). A partir da consideração de todos estes itens a câmara fria apresenta chances maiores de ser dimensionada corretamente.

Figura 6. Principais fontes de calor disponíveis em uma câmara fria.



Fonte: Retirado de Padilha (2018)

De acordo com Damasceno (2014), o principal processo de transferência de calor que ocorre nas câmaras frias é a convecção forçada, também ocorrendo condução térmica, sendo importante a definição dos coeficientes convectivos de transferência de calor envolvidos para uma melhor predição deste fenômeno.

4.3 Sistemas térmicos das câmaras frias no Brasil

Diversas pesquisas foram realizadas em câmaras frias do Brasil, mas tem-se conhecimento apenas de forma experimental, que prontamente evidenciaram a ausência de um controle mais rigoroso da temperatura dos alimentos por parte dos órgãos competentes, onde muitos destes equipamentos operavam inadequadamente, pondo em risco a segurança sanitária dos produtos e, conseqüentemente, a saúde dos consumidores (SOUSA *et al.*, 2003; GASPAR *et al.*, 2002; OLIVEIRA *et al.*, 2019; MILLANI e

POSSAMAI, 2011; CUNHA FILHO *et al.*, 2017; FERREIRA, 2017).

Por exemplo, em uma avaliação da temperatura de câmaras frias para armazenamento de queijos e embutidos em supermercados da cidade de Belém – PA, Sousa *et al.* (2003) constataram que as câmaras frias estavam com as temperaturas adequadas em todas as medições, entretanto, os balcões refrigerados apresentaram variações de temperatura acima do aceitável (≈ 10 °C), em alguns casos atingindo médias de 11,1 °C e 12,7 °C, havendo a necessidade de uma manutenção ou monitoramento dos equipamentos, mostrando a importância de tais procedimentos técnicos.

As câmaras frias em hospitais de maneira geral apresentam uma aplicação mais ampla em relação aos supermercados, visto que são utilizadas não somente em refrigeração de alimentos, como também em armazenamento de vacinas, produtos inflamáveis, material médico-hospitalar, bancos de sangue, lixo orgânico e corpos humanos pós-óbito (COZIL, 2019).

4.4 Visão geral do Hospital Universitário da UFMA (HU-UFMA)

O Hospital Universitário da Universidade Federal do Maranhão (HU-UFMA) é composto por 2 (duas) unidades hospitalares: Presidente Dutra e Materno Infantil, e por 9 (nove) anexos externos ambulatoriais. Neste hospital realizam-se atendimentos em diversas especialidades, desde a mais simples clínica médica a complexos transplantes de órgãos (UFMA, 2020).

Figura 7. Vista da fachada da entrada principal do Hospital Universitário da UFMA, Unidade Presidente Dutra.



Fonte: Aquiles Emir (2021).

De acordo com a EBSEH (2021), na unidade Presidente Dutra, Figura 7, é oferecido os serviços assistenciais em clínica médica, clínica cirúrgica, transplantes,

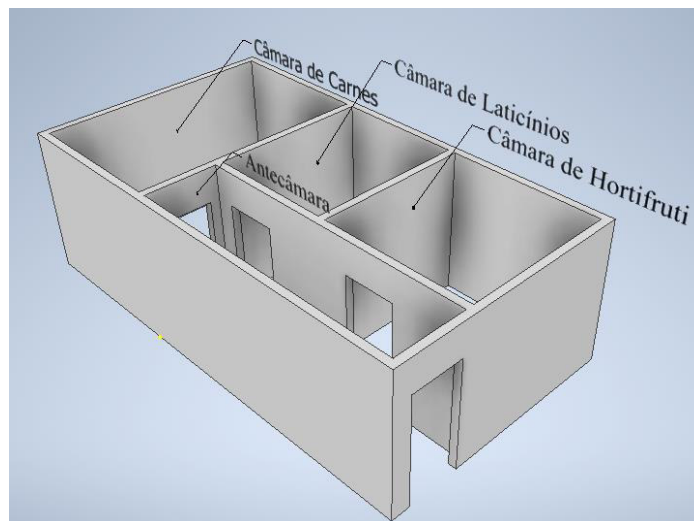
hemodinâmica, UTI geral e cardíaca, litotripsia, terapia renal substitutiva e outros atendimentos ao público em geral. Convém destacar que a Unidade Materno Infantil oferece uma ampla assistência integral às mulheres e crianças.

O HU-UFMA atua em várias vertentes, como ensino, pesquisa, assistência e extensão, voltadas à melhoria da qualidade de vida da população. É um dos Hospitais Universitários ligados aos Ministérios da Educação e Saúde que presta serviços altamente especializados, principalmente, de média e alta complexidade, sendo gerido pela Empresa Brasileira de Serviços Hospitalares (EBSERH). Este Hospital já recebeu vários prêmios, dentre os quais pode-se destacar: Hospital Amigo da Criança/UNICEF e Hospital Estratégico do SUS (REBRATS, 2020).

4.4.1 As Câmaras Frias da Unidade Presidente Dutra

A unidade hospitalar Presidente Dutra possui 5 (cinco) câmaras frias destinadas a diferentes aplicações, sendo 3 (três) destas destinadas à conservação de alimentos, uma para lixo orgânico e outra para conservação de cadáveres. As câmaras frias destinadas à conservação dos alimentos (Figura 8) estão distribuídas conforme os tipos de alimentos armazenados, sendo estas e suas respectivas dimensões: hortifruti (3,26 x 3,18 x 2,80 m), laticínios (2,40 x 3,18 x 2,80 m) e carnes (3.15x4.83x2.80 m).

Figura 8. Representação esquemática da distribuição espacial das câmaras frias presentes na unidade hospitalar Presidente Dutra.



Fonte: Autor (2022).

Estas câmaras frias são compostas de paredes e teto de poliestireno expandido (EPS), portas frigoríficas em fibra de vidro de alta resistência, sistema de refrigeração por expansão direta com compressor alternativo tipo hermético e unidades evaporadoras de ar forçado tipo “*unit-cooler*”, montado em um gabinete compacto de alumínio, com

serpentinas em cobre (DIVISÃO FRIGORIA, 2011). Na Figura 9 observa-se as disposições das evaporadoras, bem como de alguns alimentos nas câmaras frias de (a) hortifruti e (b) laticínios da unidade hospitalar Presidente Dutra do HU-UFMA.

Figura 9. Imagens retiradas de algumas câmaras frias do HU-UFMA



(a) Câmara de Hortifrutis



(b) Câmara de Laticínios

Fonte: Autor (2022).

4.5 Análise numérica utilizando o software ANSYS

Segundo Moraes (2015), quando casos de Engenharia com modelos de comportamento simples são analisados, a determinação de alguns fatores e resultados analíticos são os mais utilizados e recomendados. Entretanto, quando estes problemas e análises são mais complexos, apresentando diversas considerações e restrições, os modelos analíticos se tornam inviáveis (VIEIRA, 2013). Então, a utilização de modelos numéricos vem sendo muito difundindo, devido aos avanços das tecnologias, principalmente, dos computadores modernos, que diariamente surgem com processadores e memórias mais rápidas e potentes (MORAES, 2015).

Em concordância com o trabalho de Radtke *et al.*, (2018), a utilização de ferramentas CFD (em tradução livre, Dinâmica dos Fluidos Computacional) têm sido amplamente empregadas para prever os diferentes fenômenos de agricultura e processamento de alimentos, visto que esta possibilita previsões precisas do campo de velocidades e distribuição de temperatura do ar em ambientes abertos e/ou fechados, principalmente, para a melhoria de projetos de sistemas de ventilação e/ou refrigeração domésticos ou industriais.

Em meio à expansão dos inúmeros *softwares* comerciais destinados as análises numéricas utilizando a dinâmica dos fluidos computacional (CFD), visando à resolução de problemas das várias áreas da Engenharia, o pacote ANSYS é considerado um dos mais completos e utilizados atualmente, visto que este software apresenta alguns *plugins* para as mais diversas aplicações da Engenharia e Ciências de modo geral (VIEIRA, 2013).

Por exemplo, um dos *plugins* do ANSYS e que será utilizado neste estudo é o *Fluent*, o qual é capaz de realizar análises numéricas de diferentes casos de transferência de calor e massa por meio do Método de Volumes Finitos (MVF), seja em regime permanente ou transiente (ANSYS, 2020).

O Método dos Volumes Finitos é o mais encontrado nos códigos comerciais CFD, pois, possibilita resultados razoáveis até mesmo para malhas grosseiras e não estruturadas (VIEIRA, 2013). Este método ocorre, principalmente, pela subdivisão do domínio da solução em um número finito de volumes de controle adjacentes (malha), onde a cada volume de controle são aplicadas as equações governantes do escoamento de fluidos, como as equações de conservação da massa, quantidade de movimento e energia (MALISKA, 2004; RADTKE *et al.*, 2018; DAMASCENO, 2014).

Na maioria das vezes, instalações de armazenamentos refrigerados apresentam um fluxo turbulento causado pela circulação forçada do ar, fazendo surgir uma complexidade de fluxo de ar em consequência à combinações de cisalhamento turbulento, recirculação, efeitos próximos às paredes, gradientes de pressão e principalmente, a presença de cargas térmicas, as quais propiciam uma maior tensão superficial e zonas de estagnação do ar ou uma recirculação secundária (DAMASCENO, 2014).

A fim de resolver estes problemas de turbulências temporárias, as equações de conservação da massa e quantidade de movimento linear são resolvidas por meio das equações de Navier-Stokes com médias de Reynolds (RANS). Entretanto, este modo de resolução causa uma nova variável, conhecida como tensor de Reynolds, tornando-se o número de variáveis do problema maior que o de equações. Portanto, utilizam-se os modelos de turbulência para fechar as equações de Navier-Stokes com médias de Reynolds (RADTKE *et al.*, 2018; DAMASCENO, 2014).

Nos casos de análises numéricas de compartimentos refrigerados, geralmente, utiliza-se o modelo de turbulência $k-\omega$ SST, que é uma combinação dos modelos $k-\varepsilon$ e

k- ω (RADTKE, KOTHE, *et al.*, 2018). De acordo com Menter *et al.* (2003), a formulação é baseada em funções de misturas, a qual garante uma seleção adequada das zonas k- ϵ e k- ω sem necessitar de uma interação do usuário.

No quesito referente à construção das malhas, encontram-se discrepâncias entre valores, embora se tente manter um padrão. Portanto, para analisar-se estas diferenças existe o *Grid Convergence Index* (GCI), ou em tradução livre, índice de convergência de malha (ALI, DOOLAN e WHEATLEY, 2009). O GCI é uma porcentagem de erro e fornece uma confiança vinculada à faixa de erro estimada dentro da qual a solução numérica provavelmente converge. Este método pode ser usado para analisar somente 2 (duas) malhas, entretanto, com o estudo de 3 (três) malhas as estimativas de erros serão bem melhores (SCHWER, 2008). Em termos práticos, o método GCI indica qual a melhor malha poderá ser aplicada para um determinado problema, buscando-se manter os melhores resultados.

A partir do momento em que se tem bem definido o tipo de análise numérica, os modelos de turbulência e as malhas necessárias, o último passo para a simulação numérica de um espaço refrigerado são as condições iniciais, de contorno e propriedades físicas do escoamento. Entre estes fatores, pode-se citar o fluxo de massa nas entradas e saídas do recinto refrigerado, as propriedades termofísicas dos materiais, temperaturas nas paredes e teto, entre outras variáveis envolvidas no problema escolhido, para que este demonstre ou represente uma maior proximidade da realidade (MALISKA, 2004).

5 METODOLOGIA

5.1 Coleta e tratamento dos dados obtidos nas câmaras frias

A etapa de coleta de dados ocorreu por meio de visitas predeterminadas ao HU-UFMA, unidade hospitalar Presidente Dutra, que possui três câmaras frias destinadas à conservação de alimentos. Cada câmara fria é determinada para um tipo de alimento específico, sendo estes: hortifrutis, laticínios e carnes.

Em cada câmara foram escolhidos alguns alimentos para as referidas análises, à saber:

- Hortifruti: tomates, repolhos e ovos;
- Laticínios: iogurtes e geleias;
- Carnes: carnes bovinas e frangos.

A medição da temperatura dos alimentos armazenados nas câmaras frias foi realizada utilizando um pirômetro óptico da marca Omegaette e modelo OS542 - termômetro por infravermelho capaz de aferir temperaturas entre -20 °C e 500 °C com precisão de ± 2 °C. É interessante destacar que se tomou a temperatura em 3 (três) pontos distintos para cada alimento em dois horários díspares da tarde (início: 13:00 h e fim da tarde: 16:00 h) ao longo de 2 (dois) meses, ou seja, fevereiro e março de 2020.

Os resultados das aferições foram anotados, seguidamente guardados em uma planilha de dados do *software* Excel, onde se fez uma análise estatística, calculando-se parâmetros como média e desvio padrão para uma melhor disposição e confiabilidade dos dados obtidos. Os dados tratados foram exportados para o *software* Origin, onde foram plotados diversos gráficos para uma melhor observação e entendimento dos resultados, sendo estes distribuídos conforme a câmara frigorífica específica, a qual os determinados alimentos pertenciam.

5.2 Análise numérica no *software* ANSYS

A análise numérica deu-se por meio do *plugin Fluent* do *software* ANSYS versão 2020 R2. Inicialmente, projetou-se as geometrias das câmaras frias no *software* Inventor versão 2020, o qual é especializado e muito utilizado em projetos CAD/CAE/CAM, tomando como base as medidas dispostas no projeto original das câmaras frias (DIVISÃO FRIGORIA, 2011).

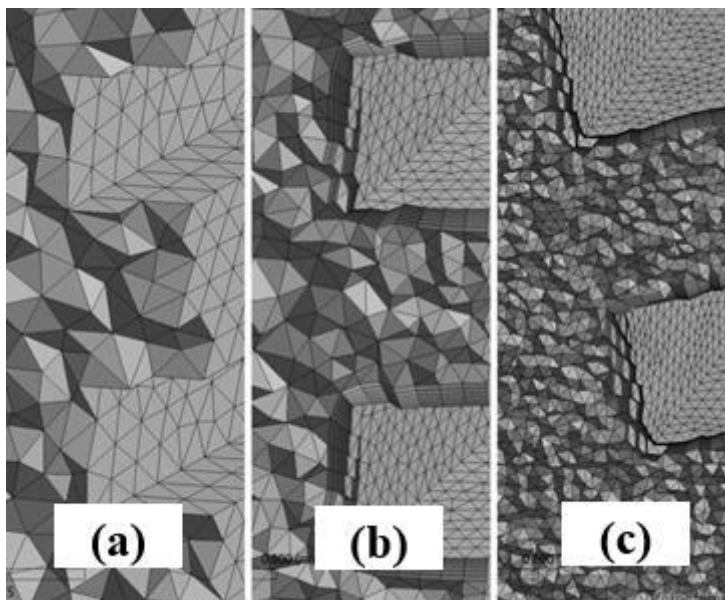
Foram produzidas 3 (três) geometrias para as câmaras frias, cada uma representando uma câmara com um tipo de alimento específico no interior da mesma.

Deste modo, a câmara fria de hortifruti foi caracterizada com o alimento repolho, a câmara de laticínios com o iogurte e a câmara de carnes com a carne bovina. Primeiramente, pensou-se em fazer a análise numérica com todos os alimentos que tiveram as temperaturas aferidas no tópico anterior na respectiva câmara, entretanto, não foi possível devido às limitações de hardware dos computadores disponíveis para as simulações numéricas.

Como uma segunda etapa, têm-se a importação das referidas geometrias para o *software* ANSYS, dando início à confecção de diferentes malhas para o estudo das mesmas. Tal procedimento consistiu em dividir um domínio do problema em vários subdomínios, o que permite a representação de domínios mais complexos em conjuntos de subdomínios mais simples, onde é possível uma melhor aplicação de leis matemáticas e/ou governantes que gerem a transferência de calor e massa (CASTRO e ARAÚJO, 2008).

Quanto às malhas, 3 (três) modelos diferentes foram analisados, diferenciados de acordo com a quantidade de elementos que cada um exibiu. Portanto, estas malhas (Figura 10) são definidas como grosseira, intermediária e refinada, ou seja, da malha com menor número de elementos àquela com um maior número de elementos, respectivamente.

Figura 10. Comparação entre os três tipos de malhas: (a) grosseira, (b) intermediária e (c) fina.



Fonte: Autor (2022).

Para o refinamento da malha, iniciou-se com uma malha padrão seguida de refinamentos adaptativos nas áreas mais críticas, isto é, cantos, junções e

descontinuidades. Portanto, para fins comparativos aplicou-se os mesmos passos em cada uma das geometrias, sendo estes:

- Malha grosseira:
 - Gerou-se uma malha padrão do *software*;
 - Alterou-se o tamanho de elemento para 0,1 m com *maxsize* 0,9 m;
 - *Inflation* automático.
- Malha média:
 - Partiu-se do refinamento da malha anterior;
 - Alterou-se o tamanho de elemento para 0,05 m;
 - Ajustou-se o *inflation* nas paredes de entrada/saída de fluxo de massa e na área de contato dos alimentos com 7 (sete) camadas, empregando-se uma transição suave.

- Malha refinada:
 - Partiu-se do refinamento da malha anterior;
 - Alterou-se o tamanho de elemento para 0,03 m, *maxsize* 0,03 m;
 - Ajustou-se o *inflation* nas paredes de entrada/saída de fluxo de massa e na área de contato dos alimentos com 10 (dez) camadas, ainda utilizando transição suave.

- Aplicou-se *inflation* nas áreas de encontro das paredes da câmara.

Após a geração e refinamento das malhas, iniciou-se o ajuste do *setup* do *Fluent*. Nesta etapa serão identificadas as condições de contorno do problema desejado. Estas condições são parâmetros fundamentais que caracterizam o problema analisado, e geralmente, demonstram as características físicas e/ou situações aplicadas em um determinado espaço de tempo, por exemplo, temperaturas ambiente e inicial, tempos de análise e residência, umidade relativa do ar, entre outras variáveis a serem investigadas (ILANGO VAN, SILVA e GASPAR, 2020).

As seguintes etapas para a aplicação do domínio computacional foram:

- Determinar o uso da equação da Energia nos critérios de convergência, bem como considerar um problema em regime permanente;
- Os critérios de convergência foram estipulados em 10^{-4} para todas as variáveis monitoradas e de 10^{-6} para a equação da energia;
- Utilização do modelo de turbulência k- ω SST (*Shear Stress Transport*), pois as pesquisas anteriores de Ilangovan *et al.* (2020), Radtke *et al.* (2018) e Menter *et al.* (2003) demonstraram que este modelo de turbulência foi eficaz para descrever o comportamento do ar em locais fechados e refrigerados em situação

de armazenamento e conservação de alimentos;

- Seleção de materiais (adicionando à biblioteca do *software* as características termofísicas dos alimentos e componentes da câmara fria);
- Determinação das condições de contorno (temperatura inicial, material e propriedades termofísicas dos componentes) com base nos dados obtidos com o pirômetro óptico e em *Ansys Innovation Space* (2022), além do alimento em temperatura ambiente (25 °C). Os dados utilizados para determinação do coeficiente de transferência de calor por convecção (h) foram extraídos de Costa (2018) e Çengel e Ghajar (2014);
- Inicialização do referido problema, o qual foi calculado inicialmente para 2000 interações;
- Como não foi obtido a convergência total do problema, aumentou-se o número de interações para 5000 como uma possível solução baseada em Radtke *et al.*, (2018), deste modo, obtendo-se êxito. Este procedimento foi repetido para todas as malhas de todas as câmaras frigoríficas. Entretanto, para as malhas com um melhor refinamento, os resultados não puderam ser apresentados neste estudo, devido à limitação de hardware dos computadores disponíveis, impossibilitando a resolução do problema com este tipo de malha.
- Por fim, após o tempo estimado para cada análise, solicitou-se ao *software* que retornasse as distribuições de temperatura e os vetores do campo de velocidade.

Convém também ressaltar que não foi possível a análise numérica em regime transiente por algumas limitações computacionais dos equipamentos disponíveis em nossos laboratórios de informática e também por falta de mais dados experimentais para utilização destes como condições de contorno temporal ou de valor inicial.

Por meio de todos os resultados alcançados nas análises realizadas foi possível avaliar os campos de temperatura (linhas isotermas) e velocidade, bem como os modelos de turbulência ao longo de cada domínio proposto anteriormente neste estudo. Finalmente, os dados obtidos foram armazenados em uma base de dados, tratados, discutidos e serão dispostos no próximo tópico.

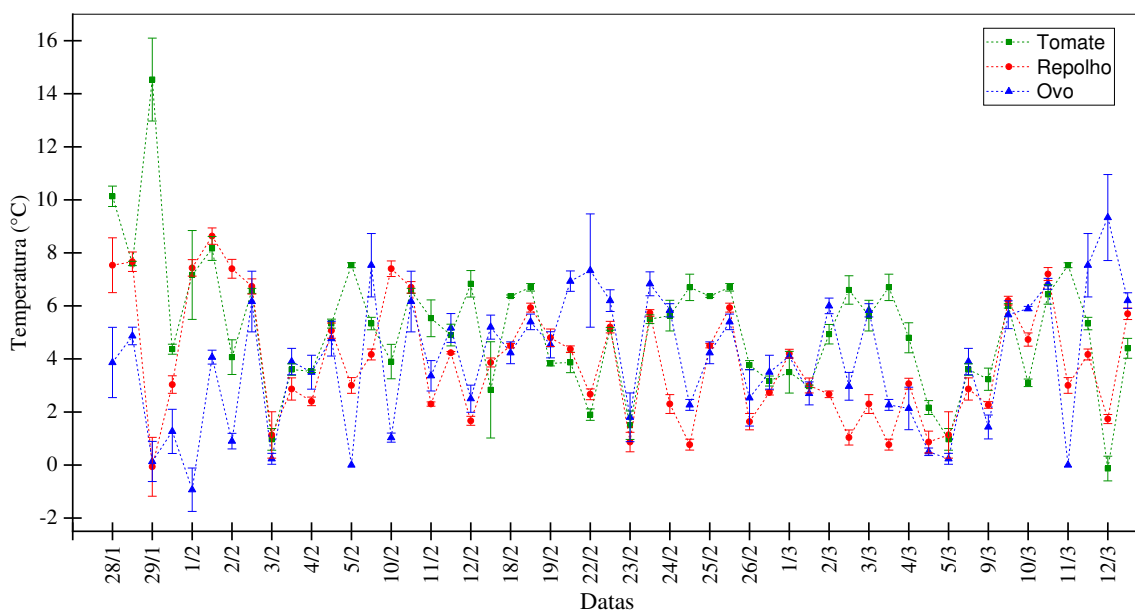
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico serão abordadas as análises e discussão sobre a coleta de dados nas câmaras frias do HU-UFMA e as simulações numéricas realizadas.

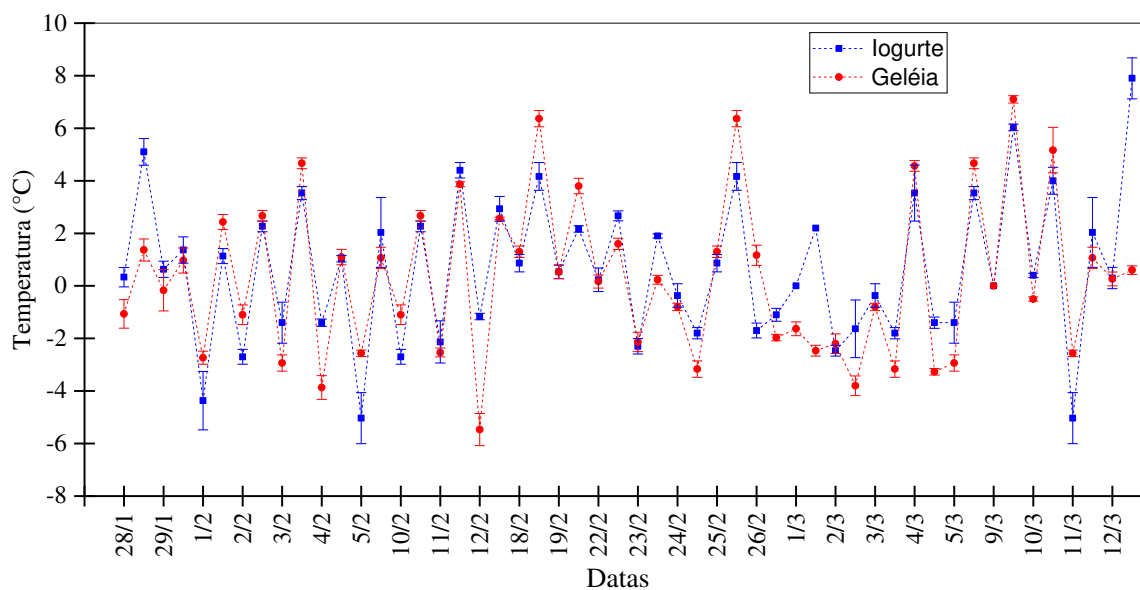
6.1 Coleta de dados nas câmaras frias

Os dados de temperatura foram coletados por meio de um pirômetro óptico e tratados de forma a serem apresentados em termos de valores médios e os respectivos desvio-padrão para medidas realizadas em triplicatas, visto que foi tomado a medida em três pontos distintos dos referidos alimentos a cada medição, o que possivelmente representa o valor de temperatura do alimento no horário tomado. Na Figura 11 são apresentadas as médias de temperatura tomadas em cada medição para as câmaras frias, nas quais são armazenados hortifrutí (tomates, repolhos e ovos), laticínios (iogurte e geleia) e carnes (bovina e frangos).

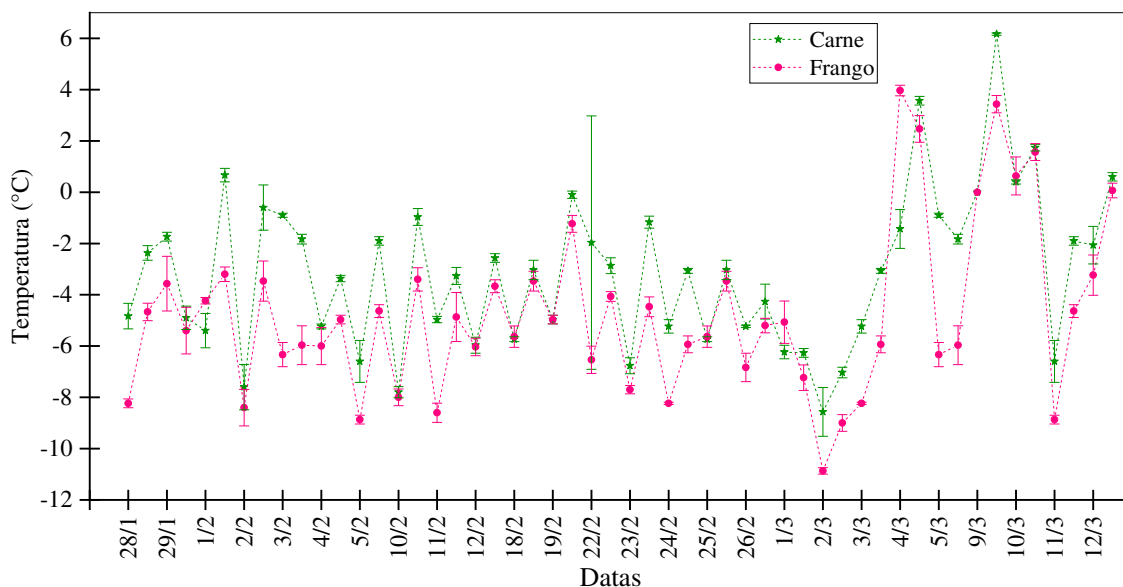
Figura 11. Distribuição de temperaturas coletadas nas câmaras frias: (a) hortifrutí, (b) laticínios e (c) carnes.



(a) Câmara de Hortifrutí.



(b) Câmara de Laticínios.



(c) Câmara de Carnes.

Fonte: Autor (2022).

Ao analisar algumas medições, por exemplo, para o tomate no dia 29/01 (Figura 11a), iogurte no dia 11/03 (Figura 11b), e carne no dia 22/02 (Figura 11c), percebeu-se um elevado desvio-padrão da ordem de 4,94%, o que possivelmente pode ter sido causado, principalmente, por conta de 2 (dois) fatores:

- Algumas partes dos alimentos receberam diretamente um fluxo de ar frio, advindo da evaporadora da câmara frigorífica, resultando em um resfriamento mais rápido na face medida do referido alimento, possivelmente causado por convecção forçada (ILANGOVA *et al.*, 2020), em contraponto a outra face

que realizou apenas uma troca de calor por condução com os outros alimentos ao redor em temperaturas não tão baixas (ÇENGEL e GHAJAR, 2014). Este fato pode ser melhor evidenciado quando em uma mesma medição foi encontrado para o mesmo alimento os valores de temperatura da ordem de 4,9/7,0/10,1 °C, ou seja, a parte do alimento mais exposta ao fluxo de ar frio (sob convecção forçada) atingiu temperaturas menores mais rápido que a parte em contato (sob condução) com os outros alimentos em temperaturas não tão baixas (ovos no dia 22/02, Figura 11a).

- Em algumas medições, os alimentos foram estocados com um tempo de residência inferior ao aceitável, ou seja, não houve um tempo suficiente para uma estabilização da temperatura do alimento (QUEIROZ, 2016). O que pode ser exemplificado também pela existência de alguns picos elevados de temperatura, como foi percebido no dia 29/01 para o tomate (Figura 11a), geleia no dia 12/03 (Figura 11b), e carnes bovina e frangos nos dias 04 e 10/03 (Figura 11c).

É interessante destacar que os intervalos observados em algumas datas plotadas na abscissa (eixo-x) da Figura 11 são explicados pelos dias em que não foi possível realizar as medições de temperatura devido ao serviço de manutenções corretivas e preventivas das câmaras frias, ou ainda por falta de alguns alimentos a serem estocados.

Convém ressaltar que as temperaturas no interior das câmaras frias empregadas neste trabalho foram controladas por um painel de controle externo, sendo estas mantidas as temperaturas entre 4-8 °C, 2-4 °C e 0-2 °C nas câmaras de hortifruti, laticínios e carnes, respectivamente. Como complemento da Figura 11, a Tabela 2 demonstra as temperaturas médias obtidas para cada alimento especificado.

Tabela 2. Valores médios de temperatura dos alimentos.

Alimentos	Temperaturas médias (°C)
Tomates	5,08 ± 0,39
Repolhos	3,88 ± 0,29
Ovos	3,92 ± 0,55
Iogurtes	0,62 ± 0,43
Geleias	0,28 ± 0,28
Carnes	-3,15 ± 0,39
Frangos	-4,79 ± 0,41

Fonte: Autor (2022).

Ao comparar-se a Figura 11 com a Tabela 2, percebeu-se um padrão de

temperatura de cada câmara frigorífica e a importância de manter um rigoroso controle e manutenção destas. Em Çengel e Ghajar (2014) encontra-se informações sobre a temperatura ideal de refrigeração para armazenamento de diferentes alimentos, baseando-se em estudos e pesquisas prévias. As principais e relevantes informações para esta pesquisa estão sintetizadas na Tabela 3.

Tabela 3. Temperaturas ideais para alguns alimentos selecionados.

Alimentos	Temperatura ideal (°C)
Hortaliças e frutas	0 a 10
Laticínios	Abaixo de 4
Ovos	7 a 13 (para consumo em poucas semanas)
Carnes	-2 a -1 (para consumo em até uma semana)
Frangos	Abaixo de -2 (para armazenamento de curta duração)

Fonte: Adaptado de Çengel e Ghajar (2014).

Comparando-se os valores da Tabela 3 com a Tabela 2, pode-se afirmar que os valores de temperaturas encontrados na coleta de dados são satisfatórios e estão de acordo com o que é preconizado pela literatura científica (CUNHA FILHO *et al.*, 2017; QUEIROZ, 2016; RADTKE *et al.*, 2018; ILANGO VAN *et al.*, 2020). As temperaturas medidas na coleta de dados também estão conforme os padrões estabelecidos pela Resolução-RDC n° 216 da Anvisa (2004) e de acordo com a Norma Regulamentadora n° 4/2014 – DIVISA/SVS/SES, que regularizam as boas práticas para serviços de alimentação e conservação destes, além de outros trabalhos científicos, por exemplo, RADTKE *et al.* (2018) e Ilangovan *et al.* (2020).

6.2. Análise numérica das câmaras frias

As geometrias as câmaras frias foram projetadas em CAD, no *software* Inventor versão 2020, da forma mais simplificada possível, visto que quanto mais detalhes implica mais esforço computacional para obtenção dos resultados. Portanto, as geometrias foram importadas para o *plugin Fluent* do ANSYS, dando início à etapa de geração de malha. Assim, dispõe-se na Tabela 4, os valores alcançados de nós e elementos para cada tipo de malha.

Tabela 4. Quantidade de nós e elementos das malhas.

Câmaras	Tipos de malhas	N° de nós	N° de elementos
Hortifruti	grosseira	3,30E+04	1,74E+05
Hortifruti	intermediária	2,04E+05	6,87E+05

Hortifruti	refinada	1,93E+06	9,72E+06
Laticínios	grosseira	6,04E+04	3,28E+05
Laticínios	intermediária	1,51E+05	6,94E+05
Laticínios	refinada	1,29E+06	7,17E+06
Carnes	grosseira	4,85E+04	2,57E+05
Carnes	intermediária	1,97E+05	9,54E+05
Carnes	refinada	2,71E+06	1,43E+07

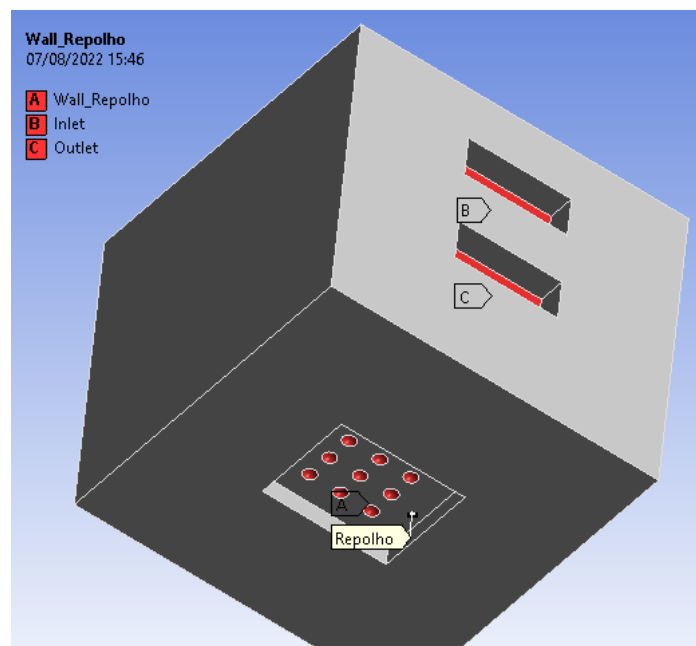
Fonte: Autor.

Da Tabela 4, pode-se afirmar que quanto mais refinada for as malhas, mais elementos esta apresentará. Entretanto, apenas a quantidade de elementos apresentados não é necessária para que seja definida a confiabilidade de uma malha e qual das 3 (três) opções podem ser melhor para ser utilizada (MALISKA, 2004). No caso deste estudo, utiliza-se métodos analíticos, como o método GCI, que utiliza parâmetros da simulação numérica de pelo menos 3 (três) tipos de malhas e indica qual a melhor malha poderá ser empregada para a resolução de um determinado problema (SCHWER, 2008).

Para este trabalho, não foi possível a aplicação do método GCI, pois, devido às limitações computacionais de hardware, as análises nas malhas mais refinadas não puderam ser realizadas, faltando, portanto, parâmetros, como temperatura e velocidade do ar, para um bom funcionamento do método GCI (SCHWER, 2008). Diante do exposto, a análise de malhas dar-se-á como uma possível comparação entre os dados obtidos na coleta de temperaturas com um pirômetro óptico e os dados obtidos nas simulações numéricas, utilizando-se somente as malhas grosseiras e intermediárias, a fim de uma maior confiabilidade e proximidade da realidade dos principais dados alcançados nesta pesquisa.

Na câmara de hortifruti (Figura 12), utilizou-se como simplificação uma elevação no piso para representar os paletes, onde as hortaliças e frutas são depositadas e apenas uma meia esfera acima dos paletes, representando a estrutura dos repolhos.

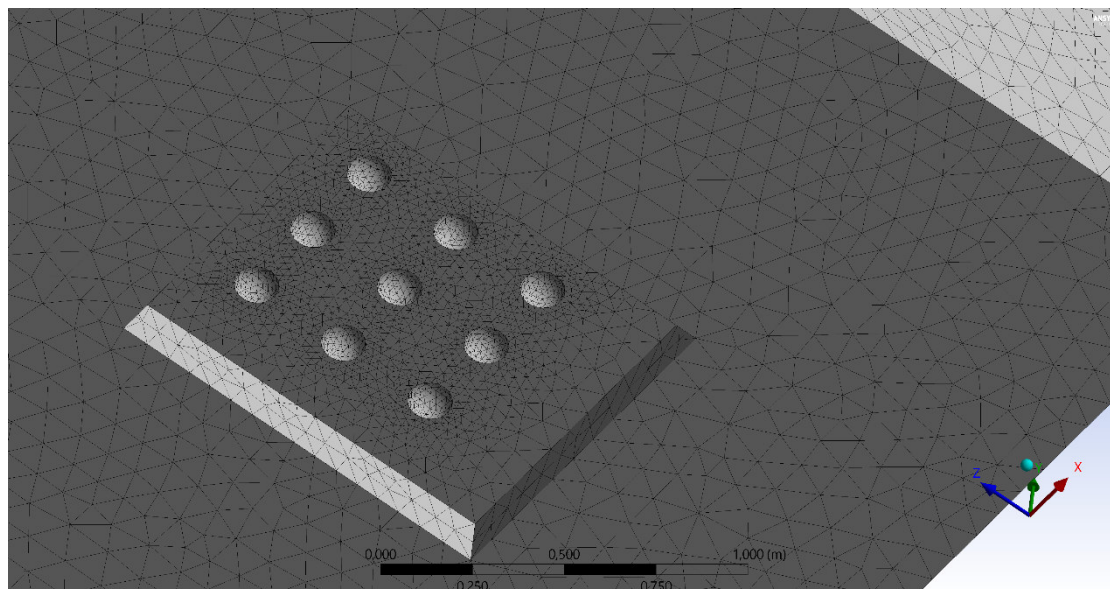
Figura 12. Câmara fria para Hortifruti.



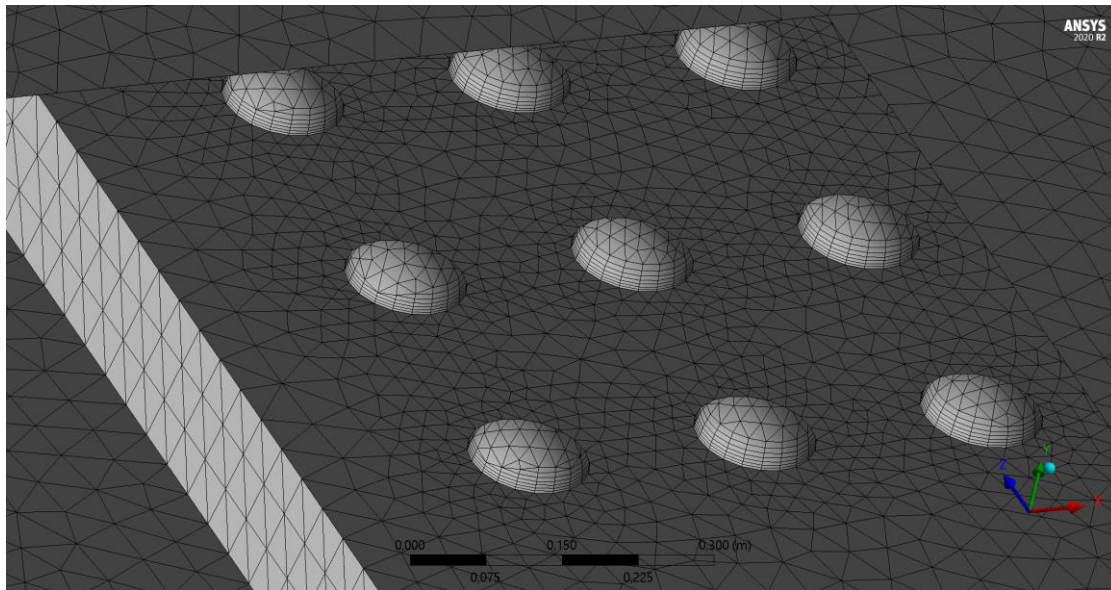
Fonte: Autor (2022).

As malhas geradas para as análises numéricas deste estudo podem ser analisadas na Figura 13. Com base nessas malhas pode-se afirmar que os refinamentos melhoraram os elementos presentes na entrada e saída de fluxo de ar e também nas áreas de contato entre os alimentos e o paleta/prateleira.

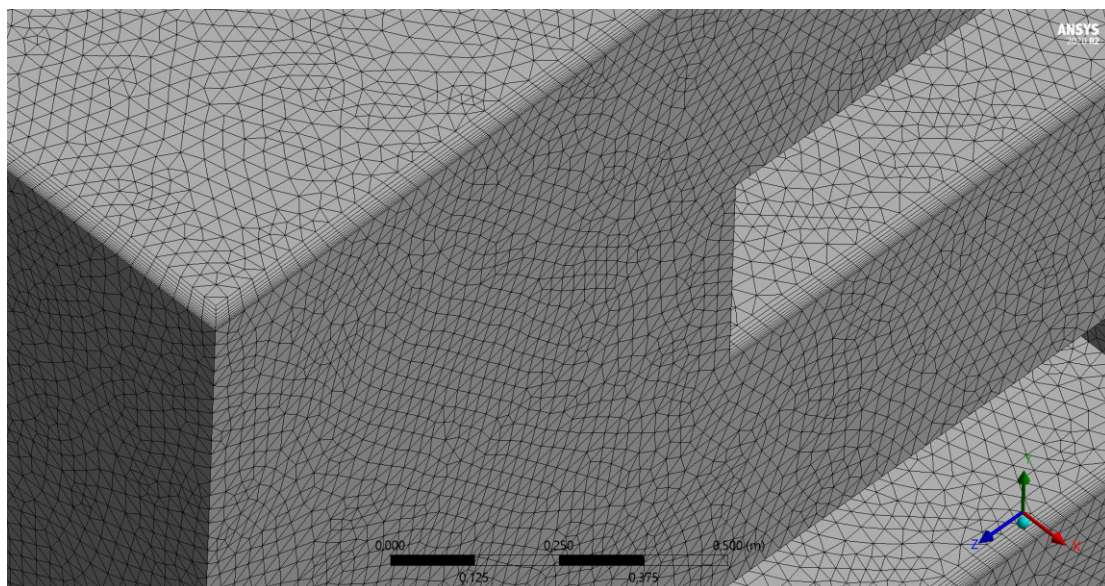
Figura 13. Malhas geradas para as câmaras frias de hortifrutis: (a) grosseira, (b) intermediária e (c) refinada.



(a) Malha grosseira



(b) Malha intermediária



(c) Malha refinada

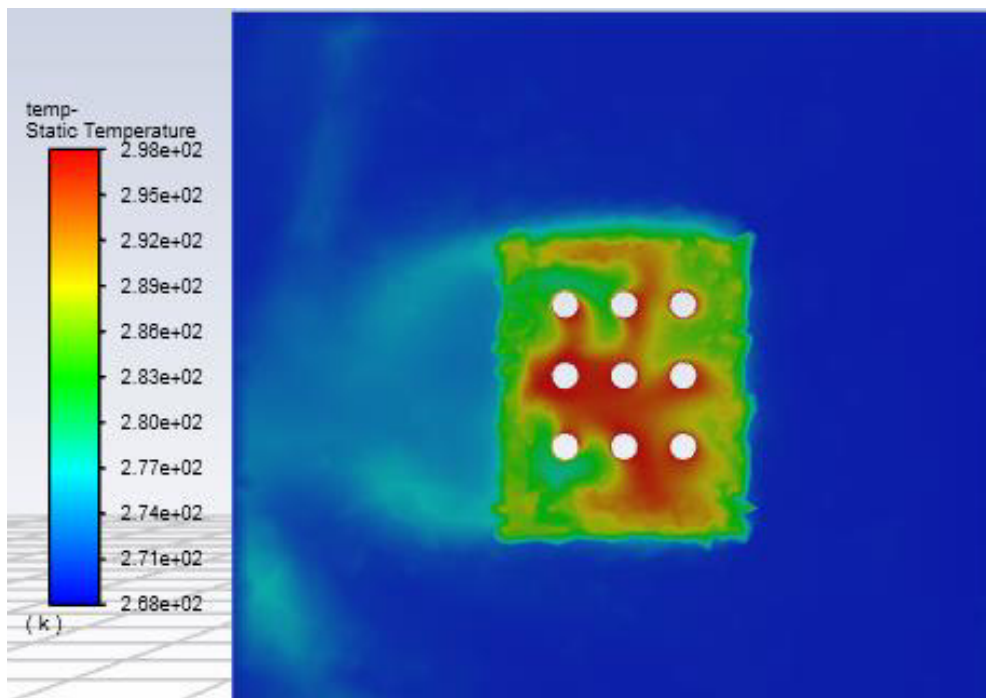
Fonte: Autor (2022).

Analisando a Figura 13 e comparando à Tabela 4, evidencia-se uma mudança de elementos entre as malhas, visto que da malha grosseira (Figura 13a) para a malha intermediária (Figura 13b) houve um crescimento na quantidade de elementos em torno de 25% e da intermediária à refinada (Figura 13c), da ordem de 7%.

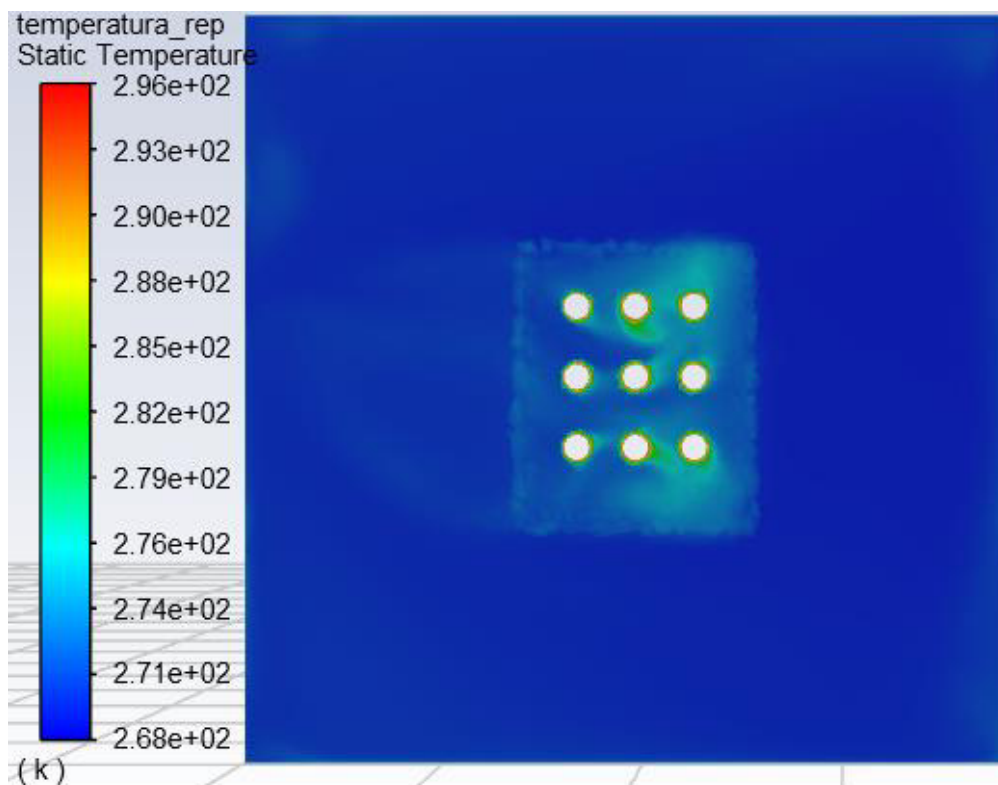
A diferença entre as malhas grosseira e intermediária ficou mais evidente ao serem analisados os campos de temperatura de ambas, por meio de um plano de corte horizontal, conforme disposto na Figura 14. Na Figura 14a, percebeu-se maiores temperaturas ao redor dos alimentos em comparação à Figura 14b, devido a esta área não estar bem discretizada, portanto, o *software* não conseguiu estipular as

aproximações necessárias.

Figura 14. Campos de temperatura para a câmara fria de hortifruti para as malhas: (a) grosseira e (b) intermediária.



(a) Malha grosseira

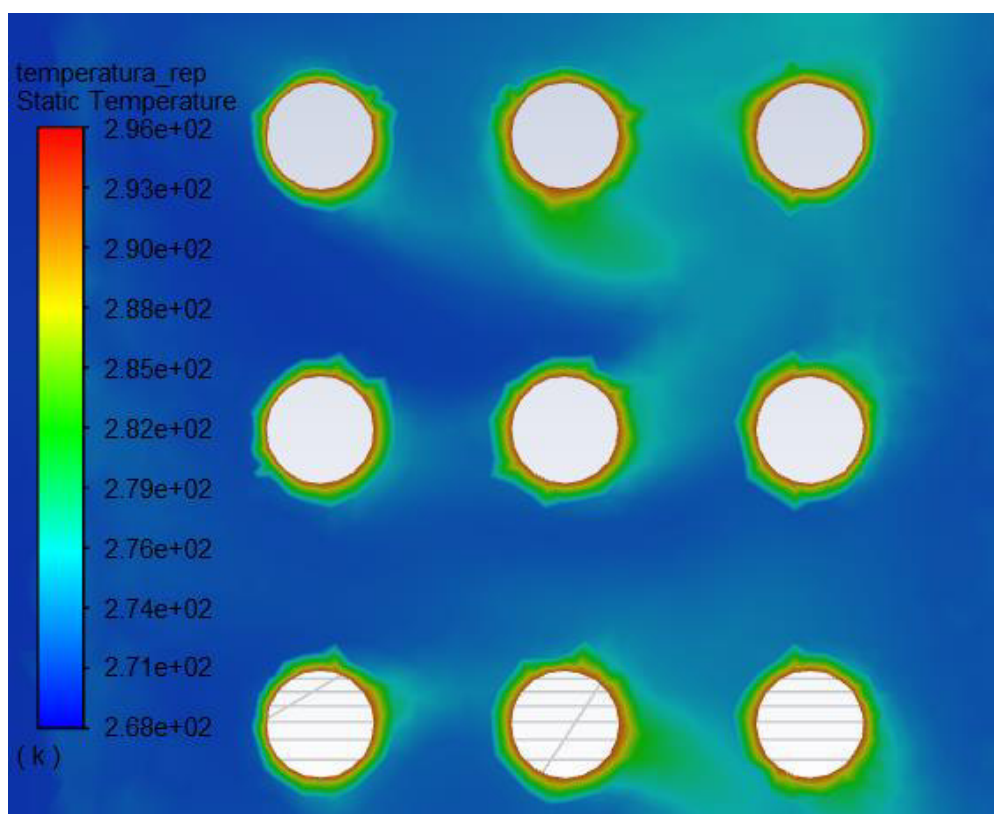


(b) Malha intermediária

Fonte: Autor (2022).

O fato da malha intermediária estar mais próxima de um valor aceitável, ou seja, 0 °C, pode ser explicada quando é aplicado um zoom na área dos respectivos alimentos (Figura 15) e comparado com os valores de temperatura com os encontrados experimentalmente. Na Figura 11 e na Tabela 2, tem-se como média de temperatura do repolho, um valor em torno de $3,88 \pm 0,29$ °C e na Figura 15 tem-se aproximadamente o valor de 288,5 K ($\approx 15,35$ °C). Tal divergência de valores pode ser explicada pela falta ou *setup* incorreto das condições de contorno da câmara fria dispostas no ANSYS.

Figura 15. Aproximação da área de repolhos para a malha intermediária.



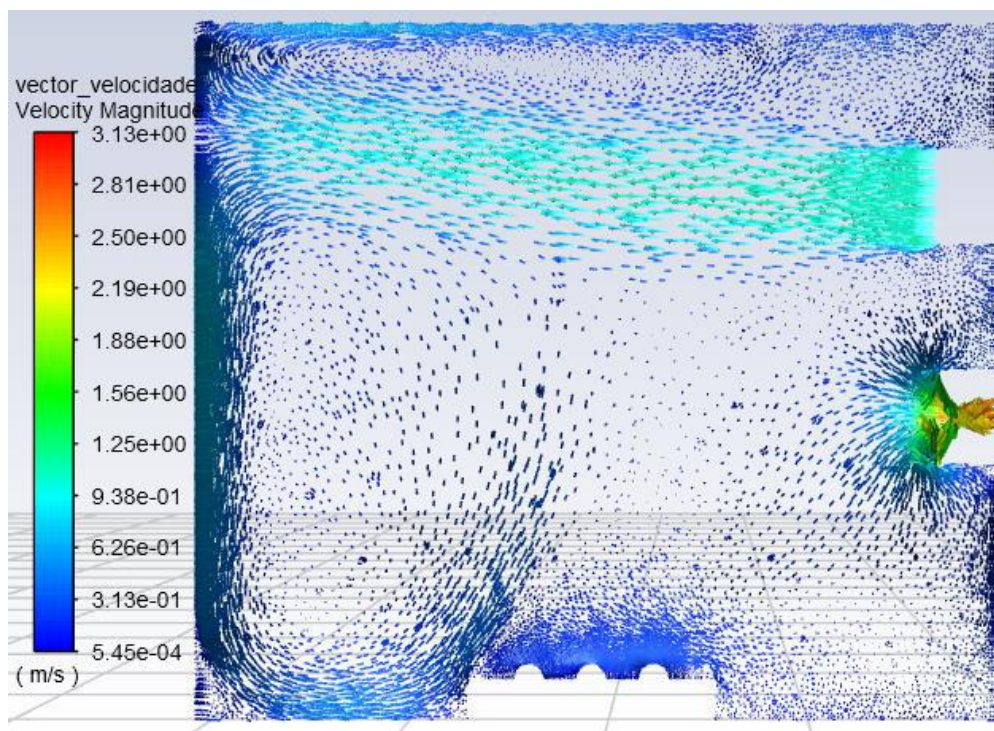
Fonte: Autor (2022).

Um outro fator importante a ser analisado baseado nas Figuras 14 e 15 é a direção do fluxo de ar nas áreas com as menores temperaturas. Este fenômeno pode ser analisado por meio do campo de velocidades, como pode ser melhor observado por meio da Figura 16.

Observou-se que o fluxo de ar inflado pela evaporadora, segue perpendicularmente à parede até este encontrar com uma parede oposta, onde o mesmo é dividido em duas direções, ou seja, um para cima e outro para baixo. Na parte superior percebe-se a geração de zona recirculações do ar ao entrar em contato com os cantos ou bordas das paredes da câmara fria, enquanto que, a parte inferior é direcionada para o referido alimento, onde ocorre uma intensa concentração do fluxo de ar, causado pela

geometria do palete e do repolho (QUEIROZ, 2016).

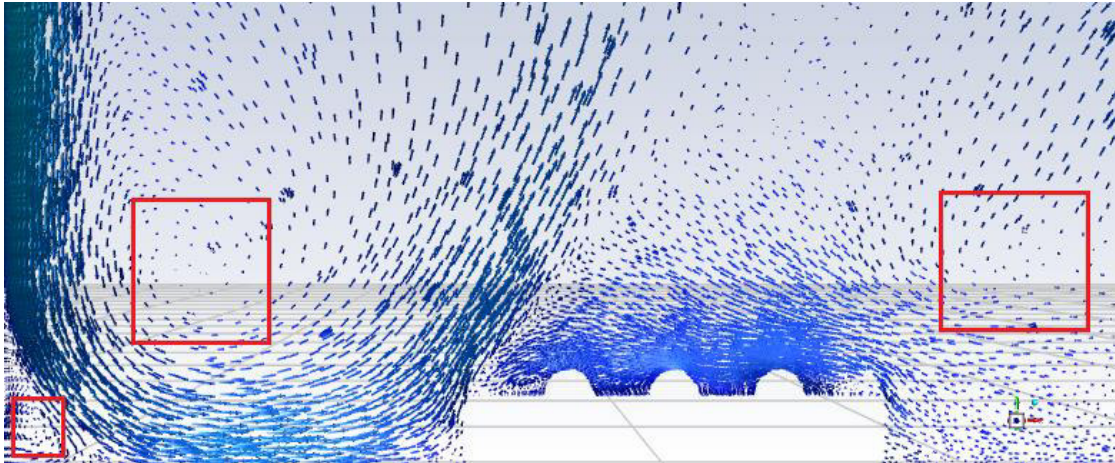
Figura 16. Representação do campo de velocidades da câmara de Hortifruti com destaque para os vetores do fluxo de ar.



Fonte: Autor (2022).

Nas bordas inferiores da câmara também foram observadas zonas de recirculações do fluxo de ar, que podem ou não interferir no armazenamento dos alimentos (RADTKE *et al.*, 2018). Estas áreas de vórtices e recirculações (Figura 17) demonstram a importância da utilização do modelo de turbulência $k-\omega$ SST, pois este prevê o surgimento destes comportamentos do fluxo de ar, tornando-se mais eficaz que outros modelos de turbulência corroborando as pesquisas de Ilangovan *et al.* (2020), Radtke *et al.* (2018) e Menter *et al.* (2003).

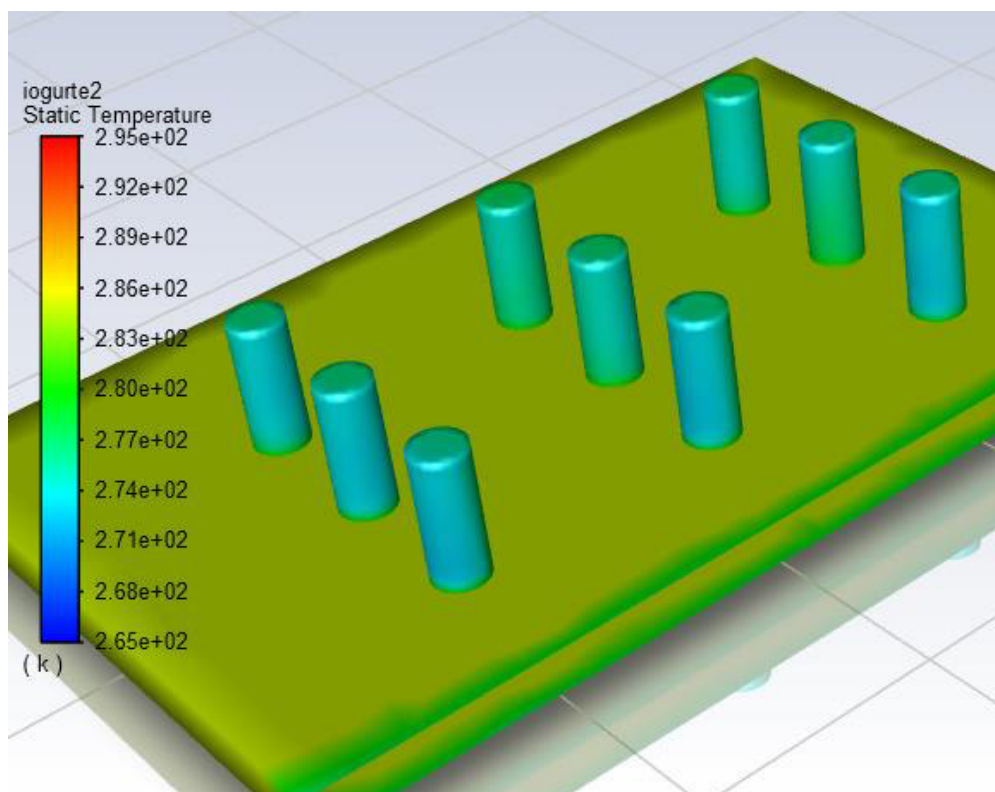
Figura 17. Presença de recirculações no fluxo de ar observadas no campo de velocidades da câmara de Hortifruti.



Fonte: Autor (2022).

Nas coletas de dados com o pirômetro óptico, observou-se em alguns casos que algumas partes do mesmo alimento apresentaram temperaturas diferentes em uma mesma medição, causando um aumento do desvio padrão. Tal fenômeno também foi observado nas 3 (três) câmaras analisadas numericamente. Para elucidar este fenômeno, utilizou-se uma distribuição de temperatura no iogurte, da câmara de laticínios, a qual é apresentada na Figura 18.

Figura 18. Distribuição do campo de Temperaturas para a câmara fria de iogurte.



Fonte: Autor (2022).

Estes padrões de análise observados nas malhas, campos de temperatura e velocidades da câmara fria de hortifruti também foram observados nas câmaras frias para armazenamento dos laticínios e carnes. Portanto, para fluidez na leitura do presente trabalho, as figuras demonstrando tais fenômenos são apresentadas no Anexo I (das Figuras 19 a 34).

Para a validação dos dados obtidos numericamente, fez-se necessário uma comparação entre os valores de temperaturas encontrados na coleta de dados experimentais por meio do pirômetro ótico e aqueles obtidos por meio do *software* ANSYS (Tabela 5).

Tabela 5. Comparação entre os dados obtidos experimentalmente e numericamente.

Alimentos	Temperaturas médias (°C)	
	Pirômetro ótico	ANSYS
Repolhos	3,88 ± 0,29	15,35
Iogurtes	0,62 ± 0,43	0,85
Carnes	-3,15 ± 0,39	-3,10

Fonte: Autor (2022).

Da Tabela 5, a qual sintetiza os dados medidos experimentalmente e validados numericamente, percebeu-se que com exceção do vegetal repolho, todos os outros alimentos estão dentro do intervalo de temperatura aceitável e encontrado nos dados experimentais, que como verificado em tópicos anteriores, estão de acordo com a literatura específica e Normas Regulamentadoras (ILANGO VAN *et al.*, 2020; QUEIROZ, 2016; (OLIVEIRA *et al.*, 2019; PADILHA, 2018; SES-DF, 2014; SECRETARIA DE ESTADO DA SAÚDE, 2013; ANVISA, 2004)

A afirmação desses valores de temperaturas indicou que o funcionamento de forma geral das 3 (três) câmaras frias de alimentos mantidas pelo Hospital Universitário da UFMA, prédio Presidente Dutra, estão de acordo com as Normas Regulamentadoras da ANVISA, bem como com as literaturas científicas do mesmo seguimento, indicando que todos os diferentes alimentos armazenados e/ou conservados nas mesmas, conseguem manter os teores nutricionais e/ou proteicos, sem que maiores danos ou prejuízos sejam causados aos pacientes e acompanhantes do HU-UFMA.

7. CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

7.1. Conclusão

O presente trabalho avaliou as câmaras frias do Hospital Universitário da UFMA por meio de análises numéricas e comparação com os dados experimentais, a fim de melhorar a qualidade dos serviços oferecidos pelo hospital, bem como o bem-estar das pessoas envolvidas nesse processo (pacientes e acompanhantes). As câmaras frias são equipamentos que concluem a cadeia do frio e vêm mudando a vida das pessoas por meio de práticas de refrigeração, ajudando no armazenamento de alimentos perecíveis que não podem ser conservados em condições normais de temperatura. A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) regula e determina os procedimentos que devem ser seguidos sobre o uso da conservação de alimentos com câmaras frias. Neste contexto, foi proposto a avaliação numérica e experimental das câmaras frias do Hospital Universitário da UFMA (HU-UFMA), que após algumas análises realizadas com um pirômetro óptico e o *software* ANSYS, constatou-se que estas câmaras frias estão funcionando de acordo com as normas regulamentadoras da ANVISA, como observou-se por exemplo, o iogurte atingindo $0,62 \pm 0,43$ °C na medição *in loco* e 0,85 no ANSYS, além de artigos científicos da área de refrigeração e CFD. Apesar de não ter sido possível a utilização do método GCI para a determinação da melhor malha, bem como a análise numérica dos casos em regime transiente, alternativas confiáveis para contornar estes problemas foram apresentadas, entretanto, são assuntos que podem ser explorados em trabalhos futuros. Portanto, analisando todo o contexto em que este trabalho foi desenvolvido e o alcance satisfatório dos objetivos, conclui-se que o mesmo pode impactar direta e positivamente no crescimento intelectual da comunidade científica.

7.2 Sugestões para trabalhos futuros

Para trabalhos futuros, pode-se sugerir:

- Expandir as análises numéricas para os outros alimentos das câmaras frias, bem como analisar a performance e desempenho das câmaras com diferentes alimentos ao mesmo tempo;
- Realizar a simulação numérica das câmaras frias utilizando as malhas mais refinadas, bem como a utilização do método GCI para maior confiabilidade dos dados;

- Coletar *in loco* os dados necessários, como umidade relativa do ar e temperaturas controladas em intervalos de tempo, para tornar possível a simulação das câmaras frias em regime transiente.

REFERÊNCIAS

- AKTRON. **Doenças Transmitidas por Alimentos (DTA) – Causa, Sintomas e Como Evitar!**, 2018. Disponível em: <<https://baktron.com.br/doencas-transmitidas-por-alimentos-dta-causa-sintomas-e-como-evitar/>>. Acesso em: Dezembro 2019.
- ALI, M. S. M.; DOOLAN, C. J.; WHEATLEY, V. Grid Convergence study for a two-dimensional simulations of flow around a square cylinder at a low Reynolds Number. **Seventh International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries**, Melbourne, Australia, 2009.
- ANSYS. Workbench Manual User. 19.0. ed. [S.l.]: [s.n.], 2020. Disponível em: <<https://studentcommunity.ansys.com/thread/user-manual/>>.
- ANSYS INNOVATION SPACE. Room with Air-Conditioning Vents. **Site of Ansys Innovation Space**, 2022. Disponível em: <<https://courses.ansys.com/index.php/courses/fluid-kinematics/lessons/simulation-examples-homework-and-quizzes-2/topic/homework-room-with-air-conditioning-vents/>>. Acesso em: 2022.
- ANVISA, A. N. D. V. S. **Resolução RDC nº 216, de 15 de setembro de 2004**. Dispõe sobre Regulamento Técnico de Boas Práticas para Serviços de. Brasília, DF: [s.n.]. 2004.
- BIOH, B. H. O paradoxo da dieta de nossos ancestrais: rica em carne e saudável. **BIOH, Biologia Humana**, 2012. Disponível em: <<https://www.biologiahumana.com/post/2012/03/07/o-paradoxo-da-dieta-de-nossos-ancestrais-rica-em-carne-e-saud%C3%A1vel>>. Acesso em: Agosto 2022.
- BOMBEIRO BALDINI. **Transferência de calor e a Termodinâmica da Energia**, 2014. Disponível em: <<http://bombeirobaldini.blogspot.com/2014/09/transferencia-de-calor-e-termodinamica.html>>. Acesso em: Dezembro 2019.
- CASTRO, M. A. H. D.; ARAÚJO, F. F. V. D. **Geração Gráfica de Malha de Elementos Finitos através do Autocad em 2-D**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2008.
- ÇENGEL, Y. A.; GHAJAR, A. J. **Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications**. 5th. ed. [S.l.]: McGraw-Hill Education, 2014.
- COSTA, W. L. T. **DIMENSIONAMENTO DE CÂMARA FRIA PARA LOJAS DE CONVENIÊNCIA DE POSTOS DE COMBUSTÍVEL**. Universidade Federal Fluminense. Niterói. 2018.

- COZIL. Câmaras frias: O que são, indicações e diferenciais. **Site da empresa Cozil**, 2019. Disponível em: <<https://cozil.com.br/camaras-frias/>>. Acesso em: Dezembro 2021.
- CUNHA FILHO, A. M. D. et al. **Conservação De Alimentos Em Mercados Na Região Da Ibiapaba-CE**. Congresso Brasileiro de Gastronomia, Ciência e Cultura Alimentar. Fortaleza - CE: [s.n.]. 2017.
- DAMASCENO, G. P. Simulação via CFD para otimização do desempenho operacional. **Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Lavras**, Lavras, 2014.
- DIVISÃO FRIGORIA. **Proposta Técnica DEPT 005/11**. Grupo Friominas. Belo Horizonte. 2011.
- EBSERH, E. B. D. S. H. HOSPITAL UNIVERSITÁRIO DA UFMA: Histórico de competência e referência. **Site da EBSERH**, 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/ebserh/pt-br/hospitais-universitarios/regiao-nordeste/hu-ufma/aceso-a-informacao/institucional>>. Acesso em: outubro 2021.
- EMIR, A. Hospital Universitário deve receber nesta sexta os primeiros pacientes de Manaus. **Maranhão Hoje**, 2021. Disponível em: <<https://maranhaohoje.com/blogs/hospital-universitario-deve-receber-nesta-sexta-os-primeiros-pacientes-de-manaus/>>. Acesso em: Dezembro 2021.
- ESM EQUIPAMENTOS. **Balcão Refrigerado Confrio BRC-180 Conservex**, 2019. Disponível em: <<https://www.esmequipamentos.com.br/balcao-refrigerado-confrio-brc-180-conservex>>. Acesso em: Dezembro 2019.
- FERREIRA, E. M. **Investigação da temperatura de comercialização e qualidade microbiológica de carnes e derivados adquiridos em supermercados de Ariquemes-RO**. Universidade Federal de Rondônia. Ariquemes-RO. 2014.
- FERREIRA, J. A. F. **Panorama das Doenças Transmitidas por Alimentos no Brasil entre 2000 e 2015**. Universidade de São Paulo. São Paulo. 2017.
- FONSECA, K. L. **Avaliação da cadeia de frios em um supermercado no Distrito Federal**. Universidade Castelo Branco. Brasília. 2006.
- GASPAR, P. D.; MIRANDA, A.; PITARMA, R. A. Equipamentos Expositores Refrigerados. Pesquisa Comercial e energética, 2002. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/268264455_EQUIPAMENTOS_EXPOSITORES_REFRIGERADOS_PERSPECTIVA_COMERCIAL_e_ENERGETICA>.

- GASPAR, P. D.; PITARMA, R. A. **Avaliação das Condições de Transporte e Exposição de Produtos Perecíveis Conservados em Frio**, 2003. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/228785831_AVALIACAO_DAS_CONDICAOES_DE_TRANSPORTE_E_EXPOSICAO_DE_PRODUTOS_ALIMENTARES_PERECIVEIS_CONSERVADOS_EM_FRIO>. Acesso em: Dezembro 2019.
- GEMO, M. J. F. **Avaliação microbiológica de carne bovina provenientes das prateleiras refrigeradoras do supermercado shoprite da cidade do Chimoio**. Universidade Católica de Moçambique. [S.l.]. 2016.
- ILANGOVAN, A.; SILVA, P. D.; GASPAR, P. D. Airflow and Thermal Behavior within Peaches Packaging Box Using Computational Fluid Dynamics - A Preliminary Study. **Knowledge E**, Covilhã, v. 2020, n. ICEUBI2019 - International Congress on Engineering — Engineering for Evolution, 2020.
- INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P. **Fundamentals of Heat and Mass Transfer**. 7ª. ed. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2011.
- JPC GÔNDOLAS. **Expositor Refrigerado para supermercado**, 2019. Disponível em: <<https://jpcgondolas.com.br/expositor-refrigerado-para-supermercados-314>>. Acesso em: Dezembro 2019.
- KREITH, F. **Princípios da Transferência de Calor**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003.
- MALISKA, C. R. **Transferência de Calor e Mecânica dos Fluidos Computacional**. 2ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.
- MENTER, F. R.; KUNTZ, M.; LANGTRY, R. **Ten Years of Industrial Experience with the SST Turbulence Model, Turbulence Heat and Mass Transfer**. [S.l.]: [s.n.], v. IV, 2003.
- MILLANI, P. M.; POSSAMAI, P. **Avaliação Microbiológica e Físico-Química de Carnes Comercializadas em Supermercados de Francisco Beltrão - PR**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Francisco Beltrão. 2011.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Manual de rede de frio**. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância Epidemiológica. Brasília, p. 144. 2013.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Doenças transmitidas por alimentos: causas, sintomas, tratamento e prevenção**, 2018. Disponível em: <<http://www.saude.gov.br/saude-de-a-z/doencas-transmitidas-por-alimentos>>. Acesso em: Dezembro 2019.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. Doenças Transmitidas por Alimentos. **Informações**

- técnicas**, 2019. Disponível em: <<http://www.saude.gov.br/saude-de-a-z/doencas-transmitidas-por-alimentos/informacoes-tecnicas>>. Acesso em: Dezembro 2019.
- MORAES, N. R. **Avaliação da temperatura de gôndolas de produtos de origem animal dos supermercados da cidade de Formiga-MG**. Centro Universitário de Formiga–UNIFOR. Formiga. 2013.
- MORAES, P. P. C. **análise Numérica da Radiação Térmica Utilizando o Método dos Elementos Finitos**. Universidade Federal do Espírito Santo. [S.l.]. 2015.
- OLIVEIRA, A. M. B. et al. Avaliação da Temperatura de Balcões Refrigerados de Supermercados de Palmas - TO. **Revista Desafios**, v. 6, 2019.
- OLIVEIRA, L. S.; MATOS, L. T.; CRUZ, G. **Avaliação dos sistemas de refrigeração de exposição usados para hortifruti e alimentos em supermercados no Brasil**. Anais da VII Semana de Engenharia do Maranhão. São Luís: Even3. 2019.
- OPAS BRASIL. Organização Pan-Americana de Saúde Brasil. **Rede de Comunicação, Investigação e Vigilância de Surtos de Doenças Transmitidas por Alimentos - RCVISA**, 2019. Disponível em: <https://www.paho.org/bra/index.php?option=com_content&view=article&id=1752:rede-de-comunicacao-investigacao-e-vigilancia-de-surtos-de-doencas-transmitidas-por-alimentos-rcvisa&Itemid=875>. Acesso em: Dezembro 2019.
- PADILHA, C. Z. **Análise da capacidade térmica de um sistema de refrigeração para conservação de embutidos - Estudo de caso**. Universidade Feevale. Novo Hamburgo, p. 67. 2018.
- QUEIROZ, R. A. D. **Modelagem e simulação do resfriamento do leite de frutas não climatéricas com ar forçado. Estudo de caso: laranja valência**. Universidade Federal de Campinas Grande, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Campina Grande-PB. 2016.
- RADTKE, R. K. et al. Avaliação da distribuição de ar e temperatura em uma câmara fria através da Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD). **11º Congresso Internacional de Ar Condicionado, Refrigeração, Aquecimento e Ventilação**, Porto Alegre, Setembro 2018. 9.
- REBRATS, R. B. D. A. D. T. E. S. Sobre o Hospital Universitário da Universidade Federal do Maranhão. **Site da REBRATS**, 2020. Disponível em: <<https://rebrats.saude.gov.br/membros-cat/104-hospital-universitario-da-universidade-federal-do-maranhao>>. Acesso em: Dezembro 2021.

- SCHWER, L. E. IS YOUR MESH REFINED ENOUGH? Estimating discretization error using GCI. **LS-DYNA Anwenderforum**, Bamberg, 2008.
- SECRETARIA DA SAÚDE. Câmaras de conservação de vacinas começaram a chegar aos municípios mais distantes da Capital nesta semana. **Site da Secretaria de Saúde do RS**, 2021. Disponível em: <<https://saude.rs.gov.br/camaras-de-conservacao-de-vacinas-comecaram-a-chegar-aos-municipios-nesta-semana>>. Acesso em: Maio 2022.
- SECRETARIA DE ESTADO DA SAÚDE. **Portaria CVS 5, de 09 de abril de 2013. Regulamento Técnico de Boas Práticas para Estabelecimentos Comerciais de Alimentos e para Serviços de Alimentação**. Centro de Vigilância Sanitária da Secretaria de Estado. São Paulo. 2013.
- SES-AM. Secretaria de Saúde instala câmaras frias no Hospital e Pronto-Socorro João Lúcio. **Site da Secretaria de Estado de Saúde do AM**, 2021. Disponível em: <<http://www.saude.am.gov.br/visualizar-noticia.php?id=5526>>. Acesso em: Maio 2022.
- SES-DF. Norma Regulamentadora nº 4/2014 – DIVISA/SVS/SES, 2014. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=281122>>. Acesso em: Dezembro 2019.
- SILVA JR, E. A. D. **Manual de controle higiênico sanitário em serviços de alimentação**. 7ª. ed. São Paulo: Varela, 2014.
- SILVA, J. G. D.; SOUZA, G. J. D.; ROCHA, S. P. D. **Desenho Técnico para Refrigeração e Climatização**. 1ª. ed. São José: [s.n.], 2014.
- SINAN. Sistema de Informação de Agravos de Notificação. **Surto Doenças Transmitidas por Alimentos - DTA**, 2019. Disponível em: <<http://portalsinan.saude.gov.br/surto-doencas-transmitidas-por-alimentos-dta>>. Acesso em: Dezembro 2019.
- SOUSA, C. L.; FARIA, C. P.; NEVES, E. C. A. Avaliação da Temperatura de Balcões e Câmaras Frias de Armazenamento de Queijos e Embutidos em Supermercados da Cidade de Belém - PA (Brasil). **Boletim CEPPA**, Curitiba, v. 21, n. 1, p. 181-192, jan/jun 2003.
- SOUZA, M. C. D. et al. Emprego do frio na conservação de alimentos. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, p. 1027-1047, 2013.
- SPAGNOL, W. A. et al. Monitoramento da cadeia do frio: novas tecnologias e recentes

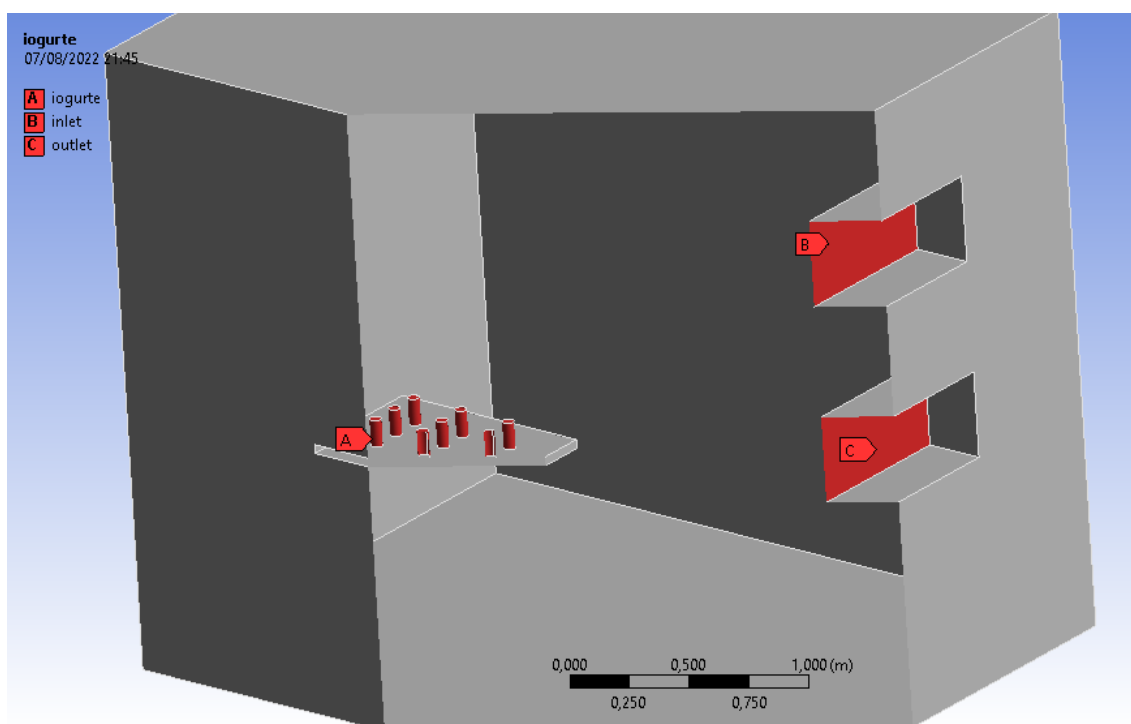
avanços. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 21, n. 2016069, p. 8, Julho 2018. ISSN ISSN 1981-6723.

UFMA, Universidade Federal do Maranhão. HU-UFMA comemora 29 anos como hospital universitário. **Site da Universidade Federal do Maranhão**, 2020. Disponíveis em: [em: <https://portais.ufma.br/PortalUfma/paginas/noticias/noticia.jsf?id=55600>](https://portais.ufma.br/PortalUfma/paginas/noticias/noticia.jsf?id=55600). Acesso em: Dezembro 2021.

VIEIRA, R. W. A. **Análise numérica no software ANSYS da solidificação das ligas Al4,5% Cu e Al-15% Cu**. Universidade Federal do Pará. Marabá. 2013.

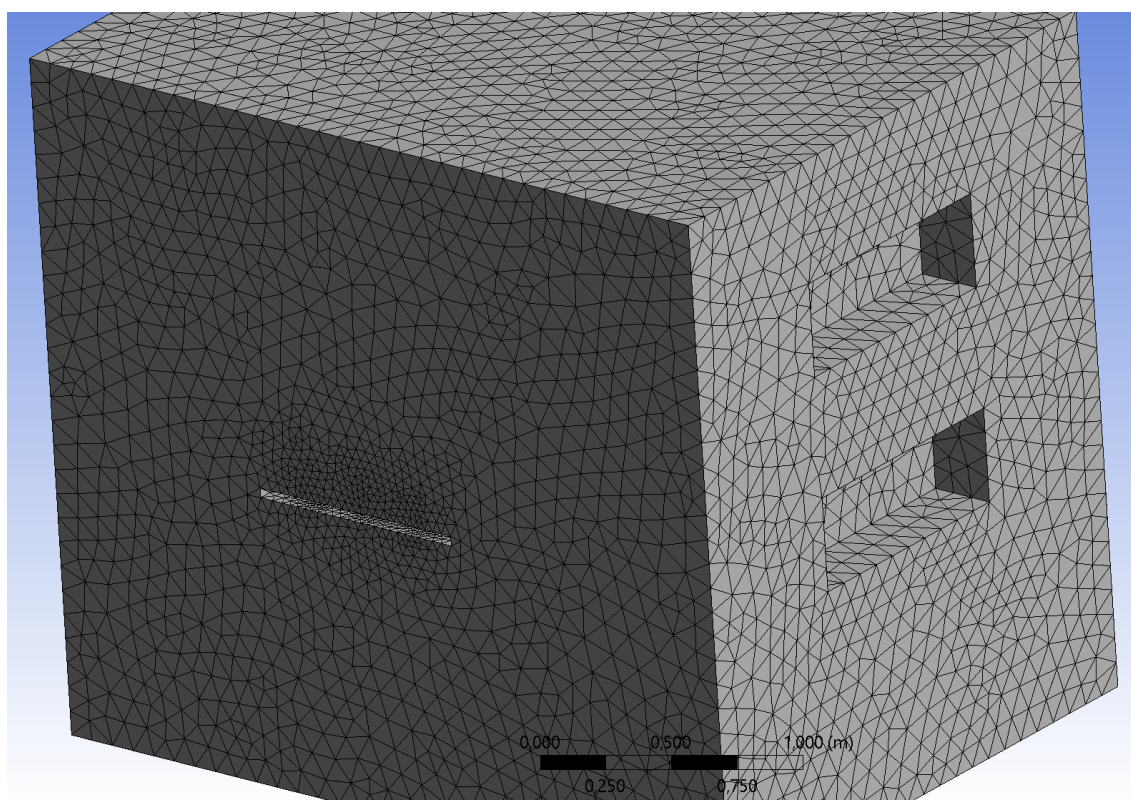
ANEXO I – MALHAS, CAMPOS DE TEMPERATURA E VELOCIDADE DAS CÂMARAS FRIAS DE LATICÍNIOS E CARNES

Figura 19. Geometria da câmara fria de laticínios.



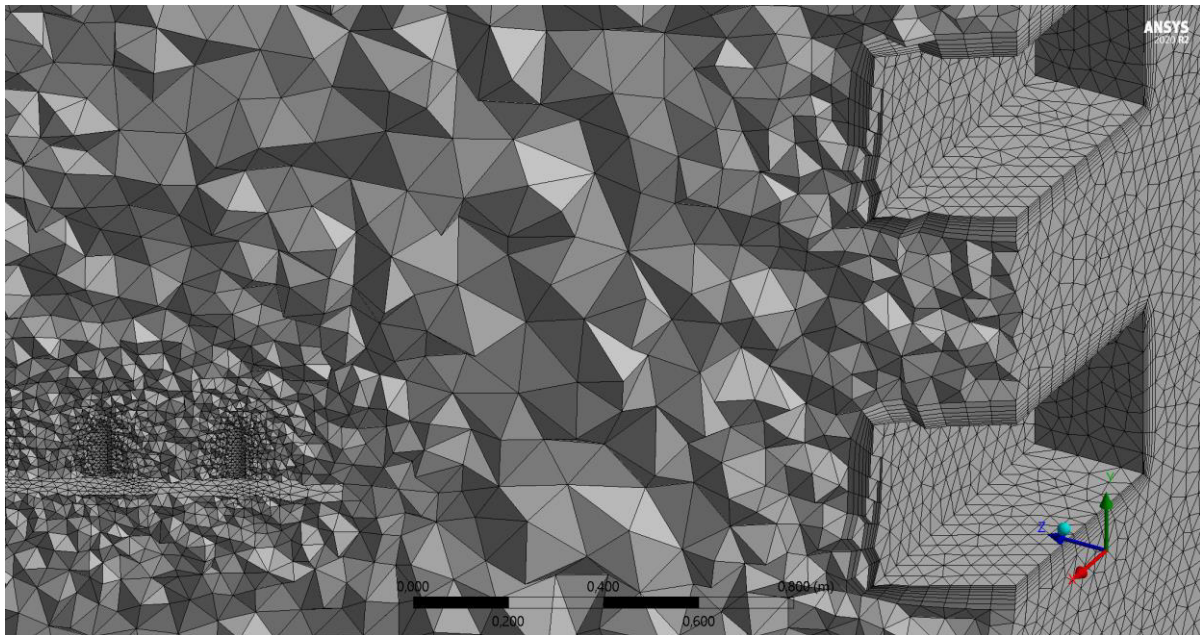
Fonte: Autor (2022).

Figura 20. Malha Grosseira da câmara de laticínios.



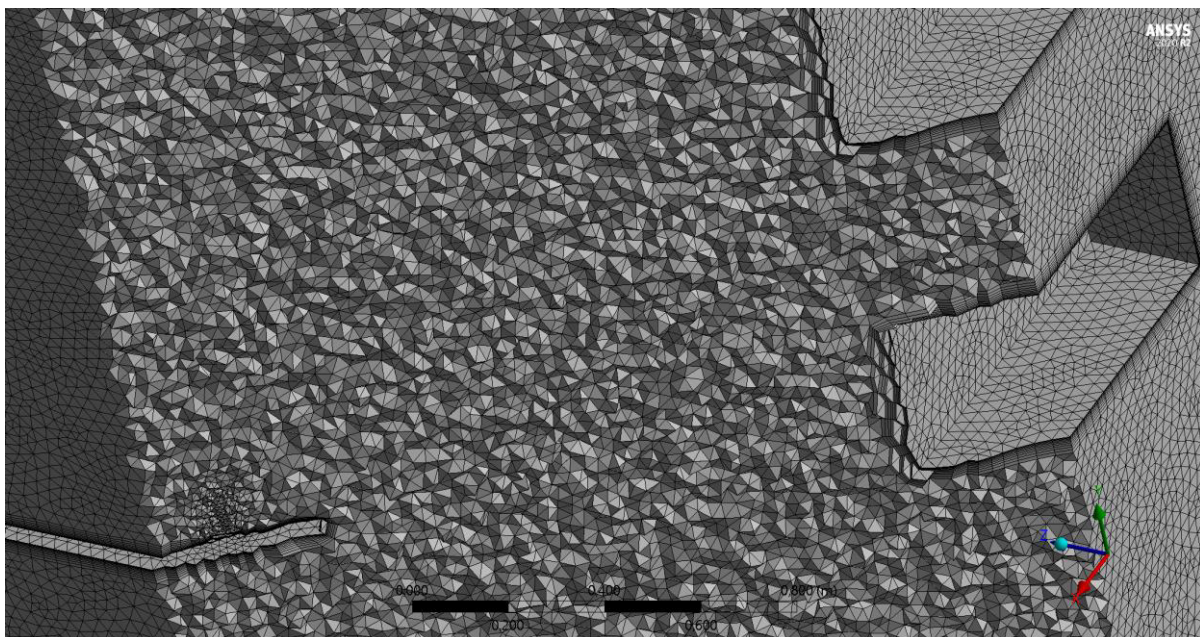
Fonte: Autor (2022).

Figura 21. Vista em corte da malha intermediária da câmara de laticínios.



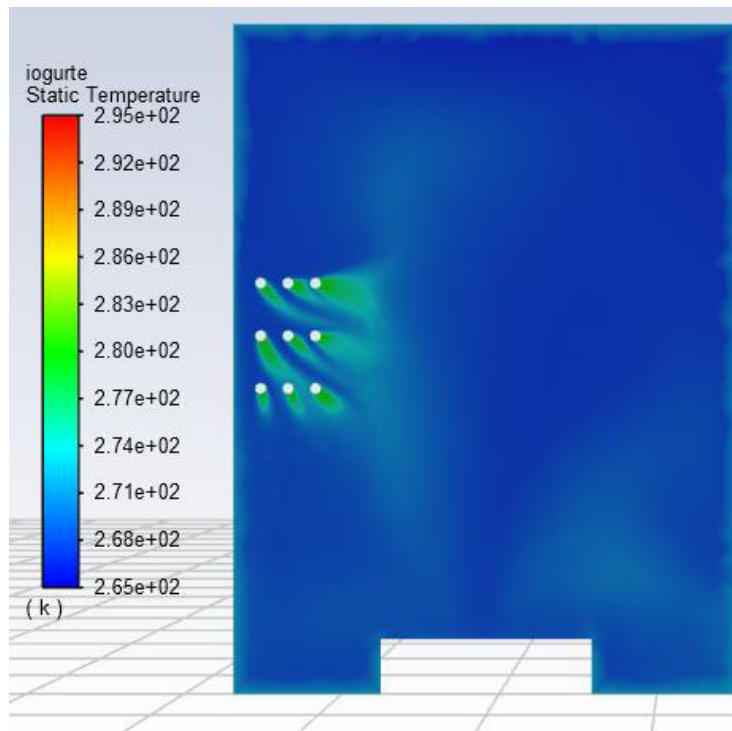
Fonte: Autor (2022).

Figura 22. Vista em corte da malha fina da câmara de laticínios.



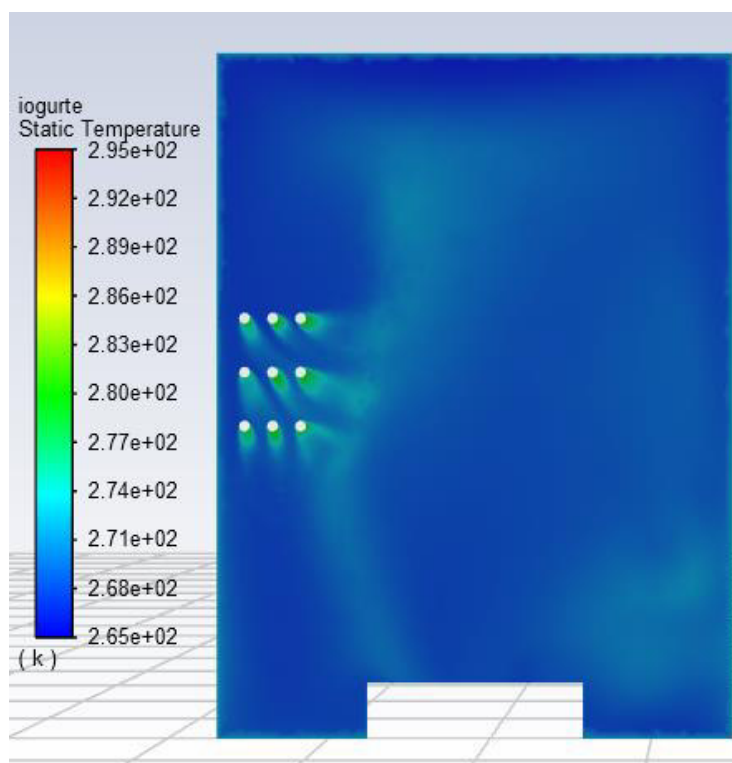
Fonte: Autor (2022).

Figura 23. Distribuição de temperatura na malha grosseira da câmara de laticínios.



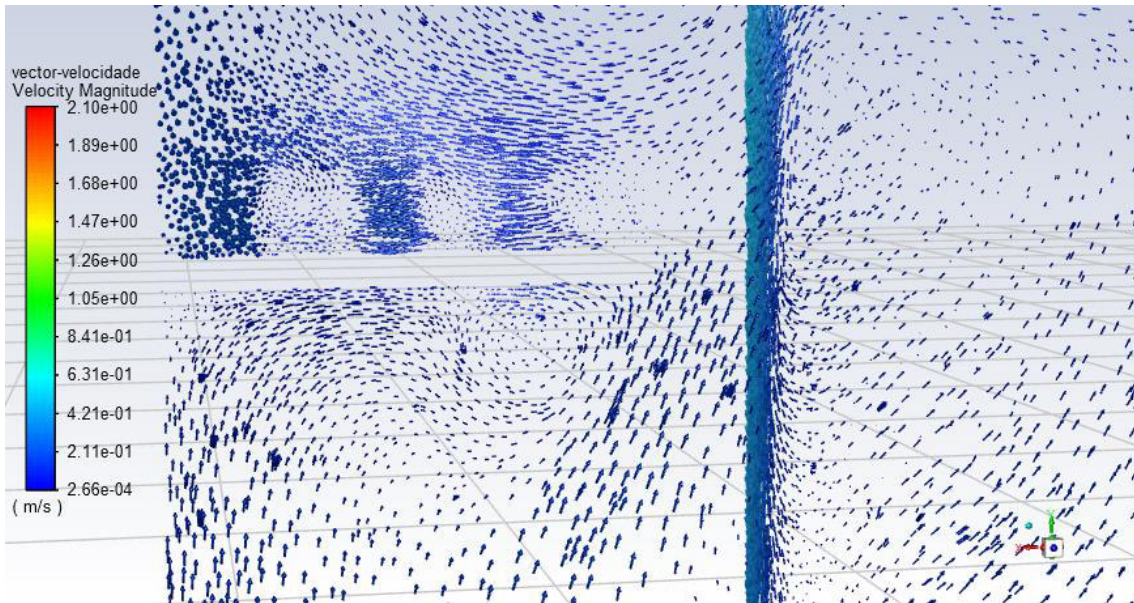
Fonte: Autor (2022).

Figura 24. Distribuição de temperatura na intermediária grosseira da câmara de laticínios.



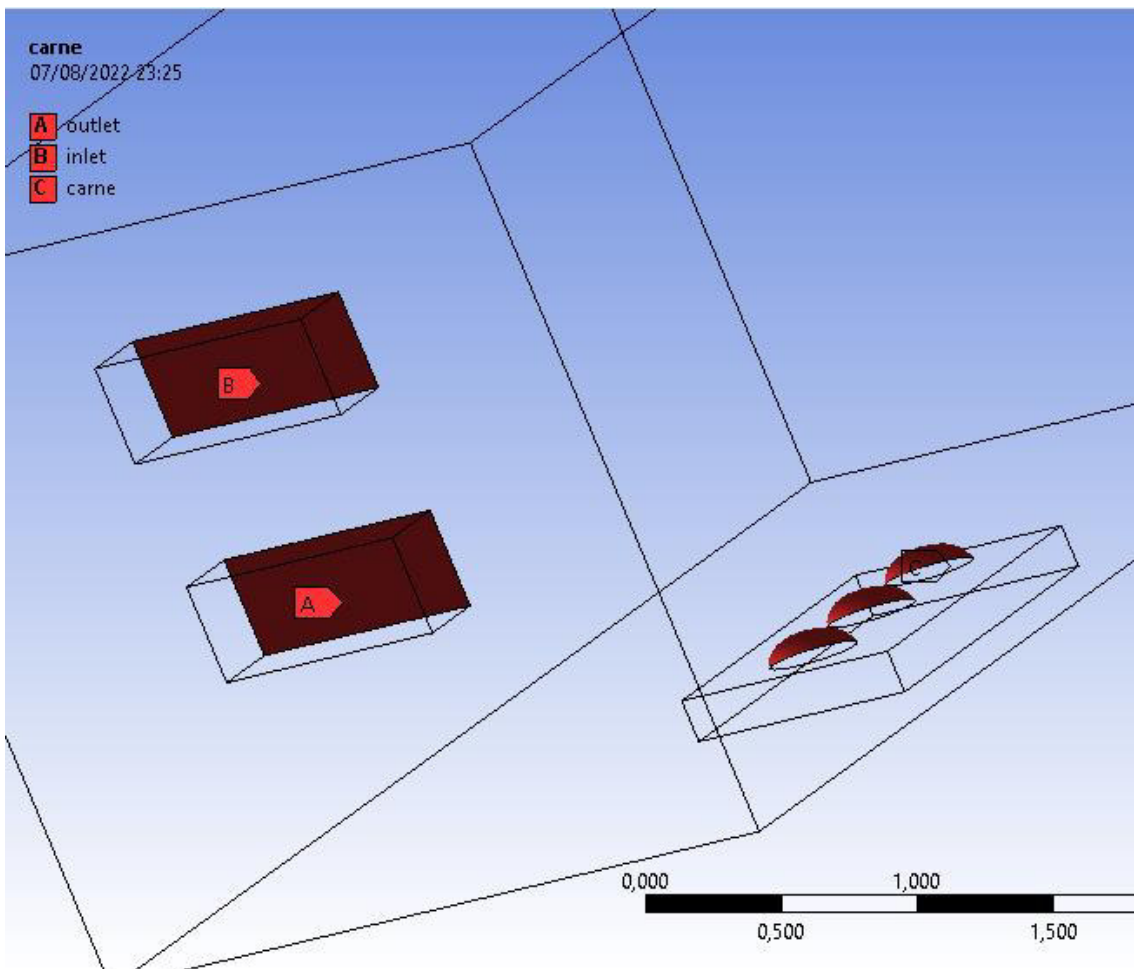
Fonte: Autor (2022).

Figura 25. Campo de velocidades da câmara de laticínios.



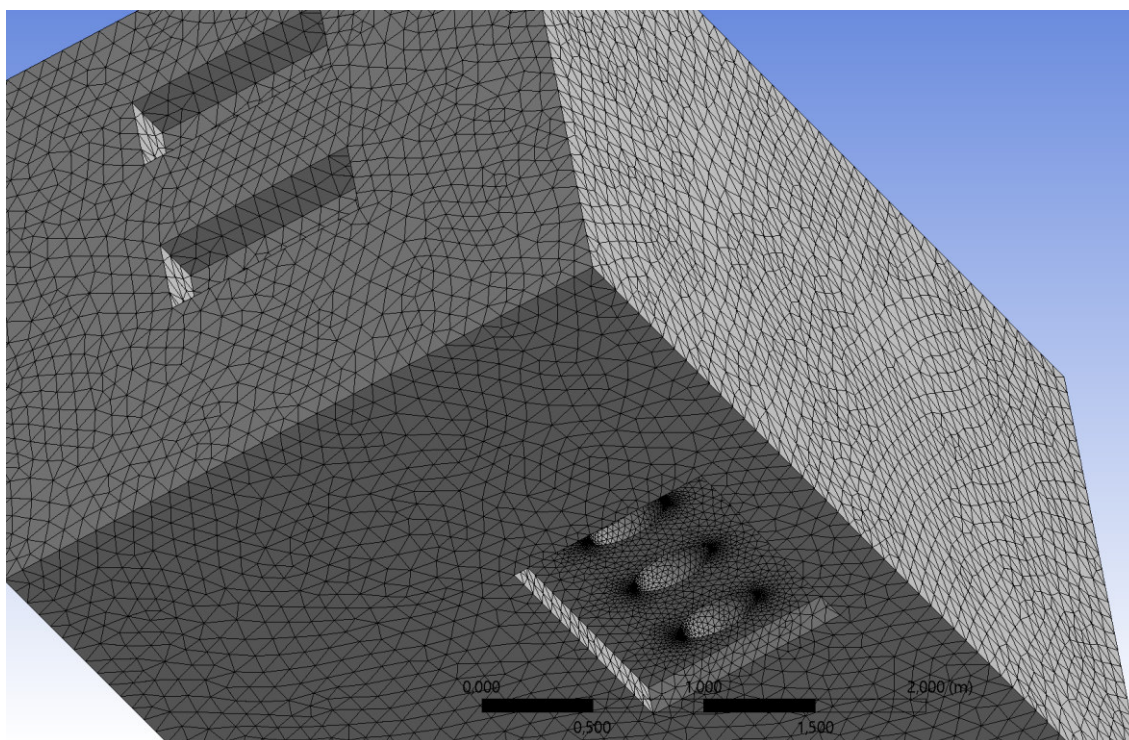
Fonte: Autor (2022).

Figura 26. Geometria da câmara de carnes



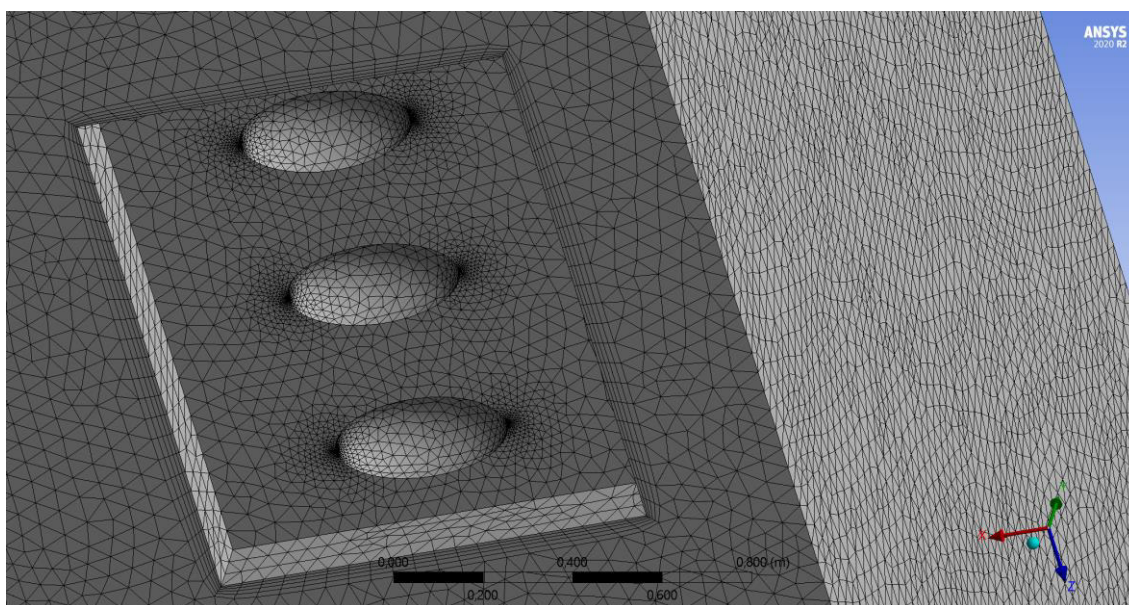
Fonte: Autor (2022).

Figura 27. Malha Grosseira da câmara de carnes.



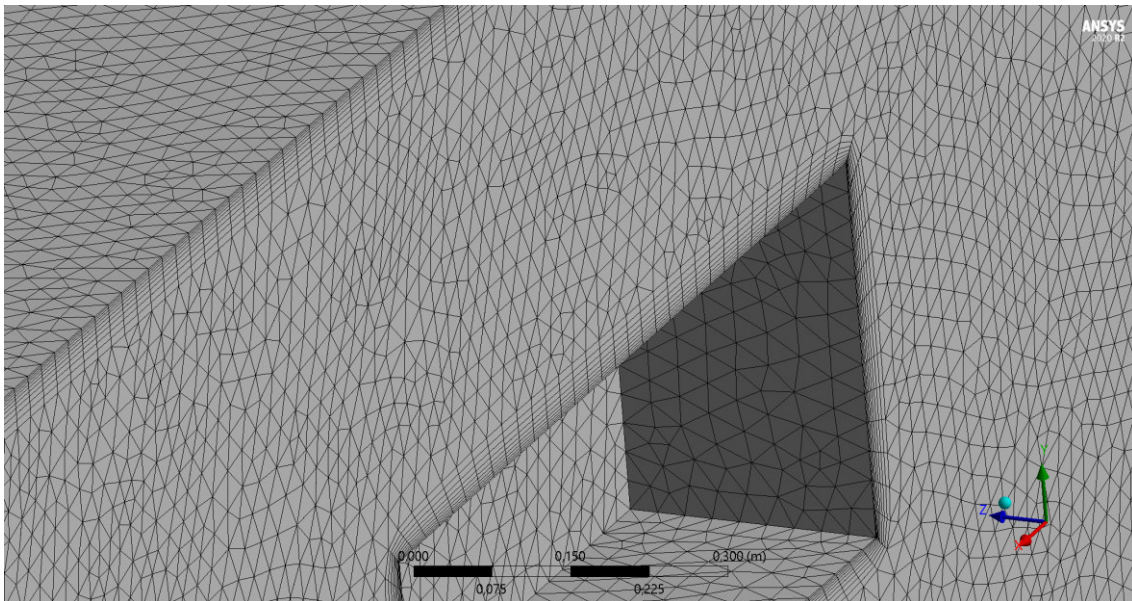
Fonte: Autor (2022).

Figura 28. Malha intermediária da câmara de carnes.



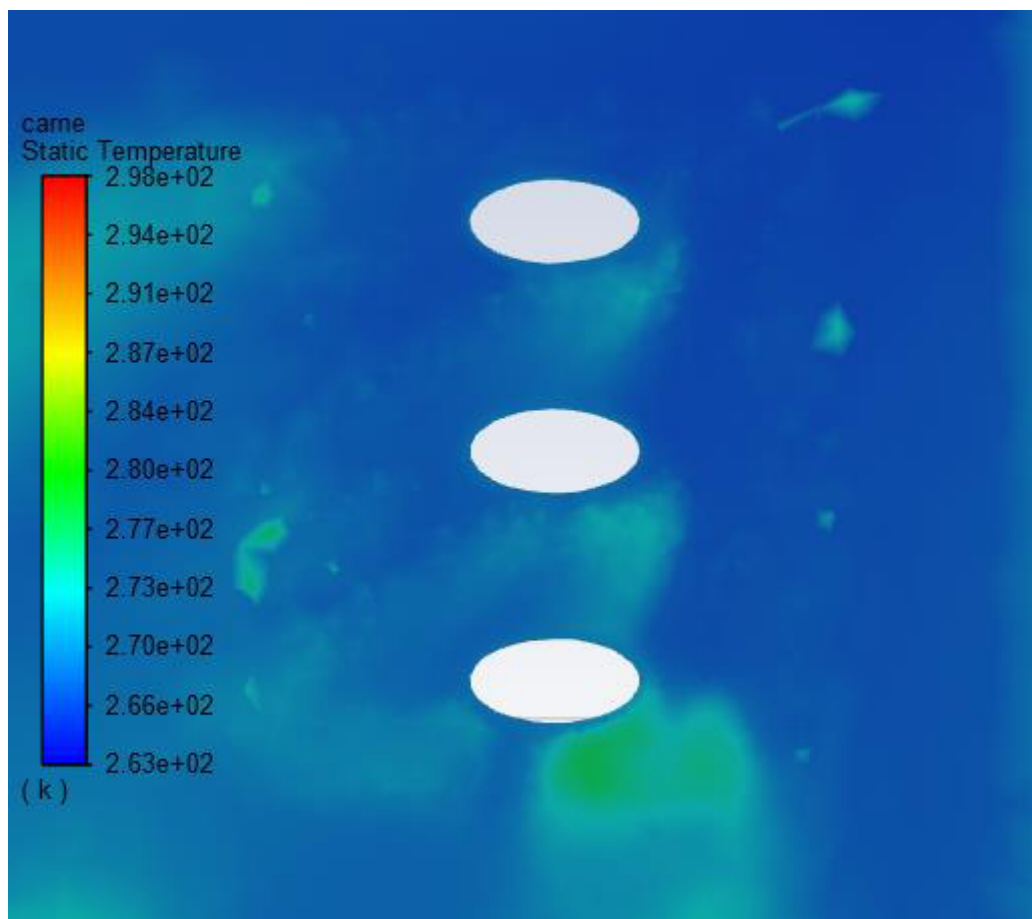
Fonte: Autor (2022).

Figura 29. Malha Fina da câmara de carnes.



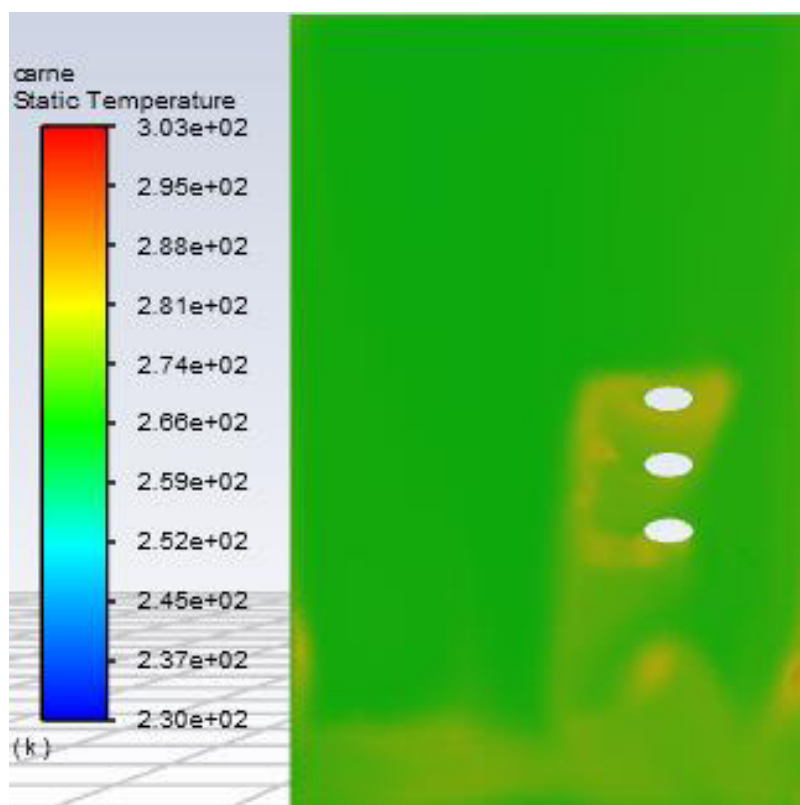
Fonte: Autor (2022).

Figura 30. Distribuição de temperatura na malha grosseira da câmara de carnes.



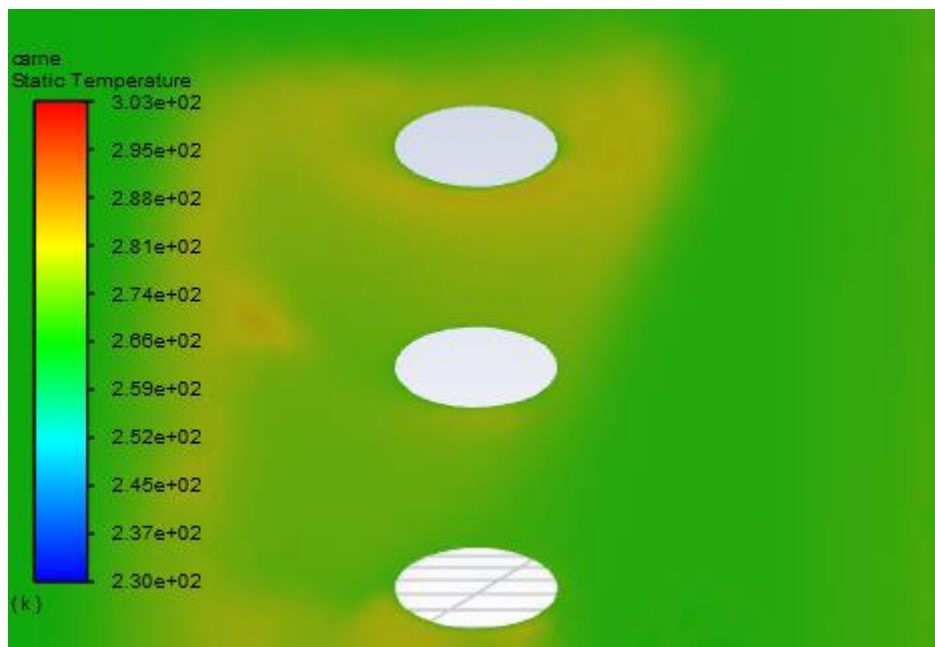
Fonte: Autor (2022).

Figura 31. Distribuição de temperatura na malha grosseira da câmara de carnes



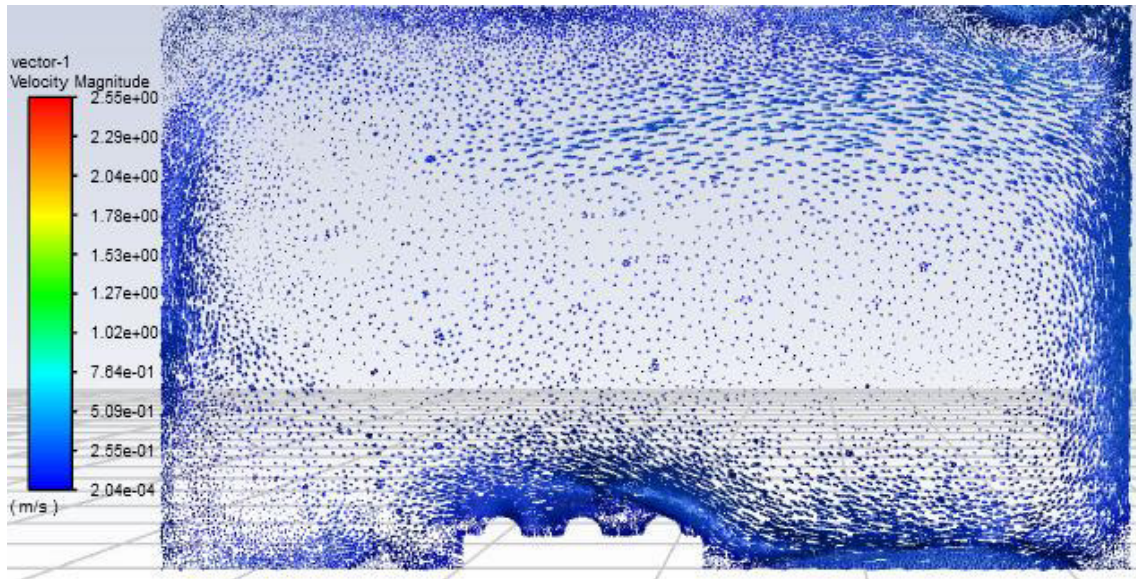
Fonte: Autor (2022).

Figura 32. Vista ampliada da distribuição de temperatura na malha grosseira da câmara de carnes



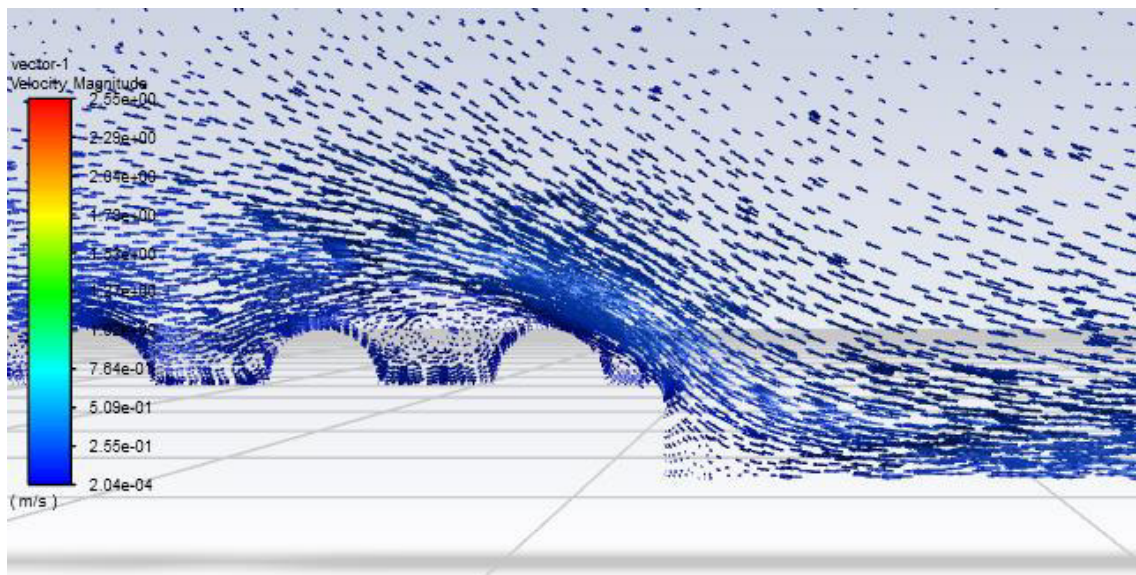
Fonte: Autor (2022).

Figura 33. Campo de velocidades da câmara de carnes



Fonte: Autor (2022).

Figura 34. Vista ampliada do campo de velocidades da câmara de carnes.



Fonte: Autor (2022).