

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL-UERGS  
UNIDADE GUAÍBA  
PPGSTEM

MARCO CÉSAR SAUER

PRODUTO EDUCACIONAL PARA O ESTUDO EXPERIMENTAL DA  
TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM ALETAS COM EMPREGO DE EQUIPAMENTO DE  
BAIXO CUSTO

Guaíba  
2021

MARCO CÉSAR SAUER

PRODUTO EDUCACIONAL PARA O ESTUDO EXPERIMENTAL DA  
TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM ALETAS COM EMPREGO DE EQUIPAMENTO DE  
BAIXO CUSTO

Dissertação de Mestrado apresentada como requisito para  
obtenção do título de Mestre no Programa de Pós-  
Graduação em Docência em Ciência, Tecnologia,  
Engenharia e Matemática – STEM de Universidade  
Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS.

Orientador: Prof. Dr. Renato Letizia Garcia

Guaíba  
2021

### DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)

S255p Sauer, Marco César.

Produto educacional para o estudo experimental da transferência de calor em aletas com emprego de equipamento de baixo custo / Marco César Sauer. - Guaíba, 2021.  
122 f.: il.

Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Curso de Mestrado em Docência em Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática, Unidade Universitária em Guaíba, 2021.

Orientador: Prof.º Dr.º Renato Letizia Garcia.

1. Teoria da aprendizagem significativa. 2. Transferência de calor. 3. Experimento didático de baixo custo. 4. Aletas. I. Garcia, Renato Letizia. II. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL-UERGS  
UNIDADE GUAÍBA  
PPGSTEM

MARCO CÉSAR SAUER

PRODUTO EDUCACIONAL PARA O ESTUDO EXPERIMENTAL DA  
TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM ALETAS COM EMPREGO DE EQUIPAMENTO DE  
BAIXO CUSTO

Dissertação de Mestrado apresentada como requisito para  
obtenção do título de Mestre no Programa de Pós-  
Graduação em Docência em Ciência, Tecnologia,  
Engenharia e Matemática – STEM de Universidade  
Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS.

Orientador: Prof. Dr. Renato Letizia Garcia

APROVADO EM: 13/12/2021.

BANCA EXAMINADORA:

---

Professora Doutora Liane Ludwig Loder  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

---

Professor Doutor Luciano Andreatta Carvalho da Costa  
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - UERGS

---

Professor Doutor Edson Abel dos Santos Chiamonte  
Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA

## **AGRADECIMENTOS**

Este é o momento para agradecer a todos que de alguma forma colaboraram para que este trabalho pudesse ser concluído. Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao povo gaúcho por manter esta Universidade Pública e gratuita, dando oportunidade de formação de qualidade a todos. Um agradecimento à UERGS por oferecer este programa de mestrado e também aos professores que atuam neste programa. Também à Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha, outra instituição pública, da qual faço parte do quadro docente, pelas horas de dispensa para o aprimoramento acadêmico.

Agradeço aos colegas da turma de mestrado 2019, em especial ao Marco Antonio que soube amparar em momentos complicados, também a Michele, Marli e Vanderléia. Aos alunos da UERGS que participaram do curso de extensão no qual foi aplicado este produto educacional.

Também quero agradecer a Lilian L. Leite pelo apoio e revisão deste trabalho.

Agradeço também a banca avaliadora, Profa. Dra Liane Ludwig Loder, Prof. Dr. Luciano Andreatta Carvalho da Costa e o Prof. Dr. Edson Abel dos Santos Chiaramonte pelas suas sugestões e contribuições a este trabalho.

Um agradecimento especial ao meu orientador Prof. Dr. Renato Letizia Garcia, pela sua dedicação, paciência, compreensão e horas dedicadas na orientação deste trabalho, sou muito grato pela parceria.

## **PENSAMENTO**

“Muitas coisas não ousamos empreender por parecerem difíceis; entretanto, são difíceis porque não ousamos empreendê-las.”

Sêneca

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho aos meus filhos Daniela e Lucas, amores da minha vida, também aos meus pais Zita e Armino (ambos *in memoriam*) que sempre incentivaram a busca pelo crescimento dos seus filhos e também aos meus irmãos Cleto, Adeum (*in memoriam*), Ildo, Beatriz, Liane, Coretti, Marlete e Cleri, que serviram de inspiração e suporte ao longo de toda a caminhada.

## RESUMO

O objetivo desta dissertação é apresentar um produto educacional, na forma de um minicurso, elaborado para o estudo da transferência de calor em superfícies estendidas (aletas) à luz da perspectiva teórica da aprendizagem significativa, com emprego de equipamento didático de baixo custo. Os estudos foram feitos à luz da Teoria da Aprendizagem Significativa, embasados nas discussões de Moreira; e, no que se refere ao experimento didático, foram usadas as análises dos autores Adib e Araújo. O equipamento utilizado na realização dos ensaios, que consistiam na determinação do perfil de temperatura em uma aleta cilíndrica, foi desenvolvido pelo autor. O autor elaborou também vídeos e questionários direcionados para o ensino dos princípios físicos, conceitos e equações associados ao modelo matemático utilizado na obtenção do perfil teórico de temperatura da aleta. O produto educacional criado foi estruturado na forma de um minicurso, intitulado “Estudo Experimental da Transferência de Calor em Aletas com Emprego de Equipamento de Baixo Custo”, construído no ambiente *Moodle*. Este minicurso continha as seguintes atividades: questionário prévio, vídeo aula teórica, vídeo explicativo, aula experimental, questionário final e pesquisa de opinião. O equipamento didático desenvolvido neste trabalho apresenta resultados quantitativos similares a equipamentos comerciais voltados ao estudo de aletas. Os resultados obtidos neste trabalho, avaliados a partir da pesquisa de opinião realizada pelos alunos no final do minicurso, apontam que o produto educacional criado neste estudo propicia a aprendizagem significativa do assunto abordado. Além disso, o fato de que os resultados quantitativos se mostraram condizentes com o modelo teórico proposto, empregando um equipamento de baixo custo, e integrado a um produto educacional (minicurso) constituído de uma série de atividades e que se mostrou satisfatório aos alunos, contribui para a pesquisa científica acerca do experimento didático como estratégia de ensino.

**Palavras-Chave:** Teoria da Aprendizagem Significativa. Transferência de Calor. Experimento Didático de Baixo Custo. Aletas.

## ABSTRACT

The purpose of this work is to present an educational product, in the shape of a mini-course, designed for the study of heat transfer on extended surfaces (fins) through the theoretical perspective of meaningful learning, using low-cost teaching equipment. The studies were carried out considering the Meaningful Learning Theory, based on the discussions of Moreira; and, on regards of the didactic experiment, were used the analysis of the authors Adib and Araújo. The equipment used to perform the tests, which consisted on determining the temperature profile in a cylindrical fin, was developed by the author. The author also elaborated videos and questionnaires which aimed teaching the physical principles, concepts and equations associated with the mathematical model used to obtain the theoretical profile of the fin's temperature. The educational product created was structured in the shape of a mini-course, entitled "Experimental Study of Heat Transfer in Fins with the Use of Low-Cost Equipment", built in the Moodle tool. This mini-course contained the following activities: pre-questionnaire, video lecture, explanatory video, experimental class, final questionnaire and opinion poll. The didactic equipment developed in this work presents quantitative results that are similar to commercial equipment aimed at the study of fins. The results gathered in this work, evaluated based on the opinion poll answered by the students at the end of the mini-course, point out that the educational product created in this study provides a significant learning experience on the addressed topic. In addition, the fact that the quantitative results were consistent with the proposed theoretical model, using low-cost equipment, and integrated with an educational product (mini-course) consisting of a series of activities and which proved to be satisfactory for the students, contributes for scientific research on the didactic experiment as a teaching strategy.

**Keywords:** Meaningful Learning Theory. Didactic Experiment. Heat transfer. Low Cost Experiment. Fins.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Aletas Aplicadas em Equipamentos Mecânicos, e Eletroeletrônicos .....	33
Figura 2 - Aletas na Natureza .....	34
Figura 3 - Aumento da transferência de calor com a inserção de aletas numa superfície .....	35
Figura 4 - Modelo de Aleta Circular .....	36
Figura 5 - Parte Interna da Caixa com Sistema de Aquecimento e Aleta .....	45
Figura 6 - Caixa de Isopor, Câmera Térmica, Estrutura de Acrílico e Trilho Guia da Câmera	47
Figura 7 - Câmera Térmica e Imagem Gerada pela Mesma.....	48
Figura 8 - Imagem de uma bancada comercial usada para ensaios de registro de temperatura em barras cilíndricas (aletas). .....	49
Figura 9 – Imagem ampliada do banho térmico (à esquerda) e vista lateral do equipamento junto à extremidade livre das aletas.....	50
Figura 10 – Dados Experimentais x Valores Teóricos para 65 °C.....	52
Figura 11- Gráfico Gerado na Aula Experimental .....	58
Figura 12 - Resultados Questionário Prévio.....	66
Figura 13- Gráfico Gerado na Aula Experimental. ....	69
Figura 14 - Resultados Questionário Final .....	71
Figura 15 – Dados experimentais x valores teóricos para 55 °C.....	86
Figura 16 – Dados experimentais x valores teóricos para 60 °C.....	88
Figura 17 – Dados experimentais x valores teóricos para 65 °C.....	90
Figura 18 – Dados experimentais x valores teóricos para 70 °C.....	91
Figura 19 – Dados experimentais x valores teóricos para 75 °C.....	93
Figura 20 – Dados experimentais x valores teóricos para 80 °C.....	94
Figura 21 – Dados experimentais x valores teóricos para 85 °C.....	96

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Equação diferencial que define o balanço térmico. ....	35
Equação 2 – Expressão matemática do parâmetro “m” .....	35
Equação 3 - Constantes arbitrárias. ....	36
Equação 4 - Perfil de temperatura em uma aleta de “comprimento infinito” .....	36
Equação 5 – Critério de aleta de “comprimento infinito”. ....	37
Equação 6 – Número de Nusselt.....	39
Equação 7 - Número de Grashoff. ....	39
Equação 8 – Número de Prandtl. ....	40
Equação 9 – Número de Rayleigh. ....	40
Equação 10 – Relação entre os números de Nusselt e Rayleigh. ....	40
Equação 11 – Taxa de transferência de calor por radiação. ....	41
Equação 12 – Taxa de transferência de calor por convecção. ....	41
Equação 13– Taxa de transferência de calor por radiação e convecção simultânea. ....	41
Equação 14 - Taxa de transferência de calor por radiação e convecção, considerando T média da aleta.....	41
Equação 15 – Coeficiente de película “aparente” .....	42
Equação 16 – Taxa de transferência de calor por radiação e convecção, h “aparente”.....	42

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características dos Materiais e Instrumentos Utilizados nos Ensaios.....	48
Tabela 2 – Dados experimentais para temperatura de banho 65 °C.....	51
Tabela 3 - Condições Operacionais e Valores Calculados para os coeficientes de Película....	62
Tabela 4 - Média aritmética dos desvios registrados nos ensaios, conforme descrito nos itens “iii” e “iv”, em relação aos modelos teóricos referenciados em “i” e “ii”. ....	64
Tabela 5 – Pesquisa de opinião (1) sobre o questionário prévio. ....	71
Tabela 6 – Pesquisa de opinião (2) sobre o questionário prévio. ....	72
Tabela 7 – Pesquisa de opinião sobre a videoaula.....	72
Tabela 8 - Avaliação da aula experimental. ....	73
Tabela 9 – Avaliação (1) questionário final. ....	74
Tabela 10 – Avaliação (2) questionário final. ....	74
Tabela 11 – Dados experimentais para temperatura de banho 55 °C.....	85
Tabela 12 – Dados experimentais para temperatura de banho 60 °C.....	86
Tabela 13 – Dados experimentais para temperatura de banho 65 °C.....	88
Tabela 14 – Dados experimentais para temperatura de banho 70 °C.....	90
Tabela 15 – Dados experimentais para temperatura de banho 75 °C.....	92
Tabela 16 – Dados experimentais para temperatura de banho 80 °C.....	93
Tabela 17 – Dados experimentais para temperatura de banho 85 °C.....	95

## LISTA DE SIGLAS

IBECC	Instituto Brasileiro de Educação, Ciência e Cultura.
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
UERGS	Universidade Estadual do Rio Grande do Sul.
PPGSTEM	Programa de Pós-Graduação em Docência para Ciências, Tecnologias, Engenharia e Matemática.

## LISTA DE APÊNDICES

Apêndice 1 – Dados Experimentais.....	85
Apêndice 2 - Questionário prévio.....	97
Apêndice 3 - Questionário final, banco de questões. ....	102
Apêndice 4 - Questionário de avaliação final.....	113

## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 – Ementa da disciplina de transferência de calor da UNESP. ....	117
Anexo 2 - Orçamento de uma bancada para estudos de transferência de calor em aletas (Os dados da empresa foram excluídos pelo pesquisador).....	122

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>20</b>
2.1 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA EM AULAS EXPERIMENTAIS .....	20
2.2 A EXPERIMENTAÇÃO COMO ESTRATÉGIA DE ENSINO .....	26
2.3 TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM SUPERFÍCIES ESTENDIDAS .....	32
<b>2.3.1 BALANÇO DE ENERGIA (CONVENCIONAL) NUMA ALETA.....</b>	<b>34</b>
<b>2.3.2 O COEFICIENTE CONVECTIVO DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR.....</b>	<b>37</b>
<b>2.3.3 RADIAÇÃO E CONVECÇÃO DE CALOR NA SUPERFÍCIE DA ALETA.....</b>	<b>40</b>
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>43</b>
3.1 EXPERIMENTO DIDÁTICO.....	44
<b>3.1.1 CONFECÇÃO DO EQUIPAMENTO, AJUSTES E MONTAGEM FINAL .....</b>	<b>44</b>
<b>3.1.2 REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS .....</b>	<b>50</b>
3.2 ELABORAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL .....	53
<b>3.2.1 DETALHAMENTO DAS ATIVIDADES .....</b>	<b>55</b>
<b>4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>60</b>
4.1 EXPERIMENTO DIDÁTICO.....	61
4.2 PRODUTO EDUCACIONAL .....	65
<b>4.2.1 QUESTIONÁRIO PRÉVIO .....</b>	<b>65</b>
<b>4.2.2 VÍDEO TEÓRICO .....</b>	<b>66</b>
<b>4.2.3 AULA EXPERIMENTAL .....</b>	<b>68</b>
<b>4.2.4 VÍDEO EXPLICATIVO DA ROTINA DE CÁLCULOS .....</b>	<b>69</b>
<b>4.2.5 QUESTIONÁRIO FINAL .....</b>	<b>70</b>
<b>4.2.6 PESQUISA DE OPINIÃO .....</b>	<b>71</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>76</b>
5.1 CONTRIBUIÇÕES ACADÊMICAS .....	77
5.2 LIMITAÇÕES E FUTURAS PESQUISAS .....	79
BIBLIOGRAFIA .....	82
APÊNDICES.....	85
ANEXOS.....	117

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com Moreira (2011), um dos aspectos mais relevantes da Teoria da Aprendizagem Significativa, desenvolvida por David Ausubel, em 1963 (*The Psychology of Meaningful Verbal Learning*), é a importância do conhecimento prévio e no aprendizado. Segundo essa teoria, o processo de aprendizagem ocorre quando um conceito, até então desconhecido, interage com conhecimentos preexistentes na estrutura cognitiva do aprendiz, propiciando a sua assimilação e a elaboração de um novo conceito.

Neste trabalho o autor buscou aplicar os princípios da aprendizagem significativa numa aula experimental, realizada com emprego de equipamento didático de baixo custo, no intuito de otimizar o processo de ensino e aprendizagem do tópico “Transferência de calor em aletas”.

No que diz respeito aos experimentos didáticos é importante destacar que eles têm sido utilizados, ao longo das últimas décadas, como objeto de auxílio no aprendizado de alunos, e, isso acontece por meio da utilização de materiais educativos, em espaço em que a díade professor-aluno buscam congruência de significados (MOREIRA, 2011). Nesse contexto, diferentes produtos têm sido desenvolvidos no intuito de promover o conhecimento e criar conexões entre a teoria e a prática, de modo a propiciar uma aprendizagem significativa.

Experimentos didáticos se tornaram tão relevantes na dinâmica do ensino-aprendizagem que foi criado o Instituto Brasileiro de Educação, Ciência e Cultura (IBECC), no ano de 1946, em São Paulo. Isso foi um marco inicial no desenvolvimento de equipamentos didáticos para o ensino de ciências no Brasil. Desde então, professores de diferentes instituições têm se dedicado a desenvolver experimentos didáticos com a utilização de distintos tipos de materiais. Em muitas situações, principalmente em escolas com dificuldades de aquisição de materiais e equipamentos, são utilizados materiais de baixo custo e de fácil aquisição, que atendem os objetivos das disciplinas ministradas tais como planos inclinados construídos com blocos e tábuas de madeira, utilizados nos estudos do coeficiente de atrito, calorímetros improvisados com um termômetro e uma caixa de isopor, nos experimentos de termodinâmica.

Cabe aqui ressaltar, que tais iniciativas não se restringem ao ensino médio e a experimentos de natureza qualitativa, pois também é possível obter resultados quantitativos satisfatórios, com emprego de equipamentos de baixo custo. Nesse ponto, destacamos alguns

experimentos na área de Transferência de Calor e Massa como, por exemplo, a fusão de uma placa de gelo, o resfriamento de um cilindro de aço e secagem de alimentos (GARCIA *et al.*, 2017a; GARCIA *et al.*, 2017b; GARCIA *et al.*, 2021).

O estudo da transferência de calor em cursos de graduação envolve um conteúdo bastante extenso, sendo tal fato evidenciado nos livros didáticos recomendados nas ementas dessa disciplina (Incropera, Bejan,). A extensão do conteúdo abordado na disciplina de transferência de calor tende a ser um obstáculo na aprendizagem, que se intensifica nas avaliações escritas, nas quais o enfoque consiste, muitas vezes, em verificar a capacidade do aluno memorizar princípios físicos, conceitos e equações.

Um curso típico de Transferência de Calor inicia pelo estudo dos mecanismos de transferência, aspectos relativos à conservação de energia, conceituação das propriedades termofísicas, suas características, unidades e dimensões, além da definição de grandezas físicas como taxa e fluxo de calor. Após essa abordagem introdutória, seguem-se tópicos envolvendo a transferência de calor em regime permanente, uni e bidimensional, em geometrias plana, cilíndrica e esférica; perfil de temperatura na transferência combinada (condução + convecção) e em superfícies estendidas (aletas); condução e convecção em regime transiente, modelo de capacitância global; e, em alguns cursos, tópicos específicos relativos à convecção natural e forçada, balanços térmicos, projeto e dimensionamento de trocadores de calor, radiação e troca radiativa entre superfícies, também estão presentes na ementa.

Conseqüentemente a inclusão de atividades experimentais nas disciplinas de transferência de calor é dificultada ou inviabilizada pela extensão do conteúdo teórico. É importante ressaltar também que, conforme a grade curricular do curso, aulas práticas abordando a transferência de calor podem estar alocadas em disciplinas de caráter exclusivamente experimental; ou, como na ementa apresentada no Anexo 1, incluídas em uma disciplina em que predominam aulas teórico-expositivas. Contudo, é muito frequente a ausência deste tipo de aula experimental em cursos de engenharia que incluam disciplinas de Transferência de Calor.

Cabe destacar, que a realização de experimentos didáticos em sala de aula – em instituições que não dispõem de laboratórios dotados de equipamentos para ensino - requer não apenas um esforço do professor no sentido da construção de um equipamento ou dispositivo que propicie a observação de um fenômeno físico real, previamente abordado em sala de aula, mas também a preparação de um roteiro de ensino que promova o aprendizado

prático vinculado a uma base teórica correta. A necessidade de vincular o experimento prático com o conhecimento teórico, e o modo como esse vínculo é apresentado pelo professor em aula, é analisada por Adib e Araújo (2003), que realizaram uma ampla investigação sobre o emprego da experimentação como estratégia de ensino de Física (ADIB; ARAÚJO, 2003).

O exposto acima reforça a relevância teórica desta dissertação, que enfatiza o estudo teórico ancorado num experimento didático como forma de estimular a aprendizagem significativa. O trabalho aqui apresentado trata o tema Transferência de Calor e, mais especificamente, o estudo da dissipação térmica em superfícies estendidas (aletas). Nesse sentido, foi elaborado um produto educacional na forma de um minicurso, seguindo um roteiro de ensino previamente formulado. O produto educacional está baseado numa aula experimental, concebida a partir da confecção de um equipamento de baixo custo e da realização de ensaios de fácil execução.

Este estudo é relevante ao pesquisador, que é graduado em Engenharia Elétrica e atua como professor de eletrônica na Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha, uma escola técnica de nível médio e Novo Hamburgo - RS. No período de graduação foi bolsista de iniciação científica no Laboratório de Medições Mecânicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, onde atuou desenvolvendo equipamentos de medição de temperatura, abrasão e pressão e auxiliando professores em projetos de pesquisa. Na escola onde atua como professor, também desenvolve trabalhos de orientação de projetos de iniciação científica na área de eletrônica. Dentre esses projetos foram desenvolvidos produtos tais como: corretor postural, sistemas com inteligência artificial para, através de imagens, detectar alterações na pressão arterial, correlação e identificação precoce de Alzheimer; além de um sensor de umidade de solo que resultou numa patente e criação de uma empresa para produzir e comercializar esse equipamento. Todos esses projetos integram teoria e prática, estimulando a aprendizagem teórica do aluno e dando significado real ao conhecimento por ele adquirido. Assim, a pesquisa acerca de estratégias de ensino voltadas para estudos experimentais com emprego de equipamentos de baixo custo irá contribuir do ponto de vista didático e tecnológico, propiciando ao autor um maior conhecimento acerca desse tema e a sua aplicação nos projetos de pesquisa nos quais atua como orientador.

A dissertação aqui apresentada busca ampliar a discussão acerca da Teoria da Aprendizagem Significativa, a partir da sua aplicação vinculada a um experimento didático, cuja realização integra um roteiro de ensino concebido com enfoque no conhecimento prévio

do aluno (conceito de subsunções). Nesse contexto, acredita-se que a estratégia de ensino proposta irá propiciar a esse aluno um conhecimento mais sólido do assunto pela observação de um sistema físico real; e, simultaneamente facilitará seu aprendizado. Os estudos estão embasados nas discussões de Moreira (2011) no que diz respeito à Teoria da Aprendizagem Significativa e, nas análises dos autores Abib e Araújo (2003) no que tange às considerações acerca do Experimento Didático.

Para nortear este projeto busca-se responder à seguinte pergunta problema: **Como os princípios da aprendizagem significativa podem ser aplicados para promover a aprendizagem de conceitos de transferência de calor em aulas de laboratório?** O autor irá formular uma resposta a esse questionamento a partir da análise do referencial teórico abrangendo a teoria da aprendizagem significativa e sua aplicação numa aula experimental. Aspectos teóricos relativos à transferência de calor aplicada ao estudo de aletas também serão apresentados nesse trabalho. A metodologia irá abordar a construção do equipamento de baixo custo, a realização dos ensaios experimentais e a elaboração de um produto educacional vinculado a essa aula experimental. O objetivo geral desta dissertação é: **Desenvolver um produto educacional visando o estudo da transferência de calor em superfícies estendidas (aletas), à luz da Teoria da Aprendizagem Significativa, enfatizando o uso de atividades experimentais utilizando equipamento didático de baixo custo.**

Neste trabalho, o autor destaca aspectos que ressaltam a intersecção da Teoria da Aprendizagem Significativa com os estudos do Experimento Didático, no sentido de gerar estímulos cognitivos nos alunos e no propósito de criar uma atmosfera educacional propícia à extensão do saber, na perspectiva de Moreira (2011) e Abib e Araújo (2003).

Baseado no objetivo geral foram definidos os **objetivos específicos**, visando orientar o desenvolvimento desta dissertação:

a) Conceber um ensaio para análise da transferência de calor em superfícies estendidas (aletas) expostas ao ar ambiente, considerando os mecanismos de convecção e radiação combinados na interface sólida;

b) Analisar o balanço térmico numa aleta e formular um modelo matemático, no qual sejam considerados os dois mecanismos de transferência de calor nessa interface;

c) Confeccionar um equipamento de baixo custo destinado ao estudo da transferência de calor em uma aleta de seção circular e analisar os desvios entre dados experimentais e valores teóricos;

d) Desenvolver um minicurso sobre transferência de calor em aletas circulares fazendo uso de equipamento de baixo custo;

e) Criar questionário, prévio e final, para despertar o interesse/curiosidade do aluno sobre o tema e avaliar seu aprendizado ao final do estudo;

f) Desenvolver um vídeo explicativo, apresentando os fenômenos físicos envolvidos no experimento, descrevendo a metodologia a ser empregada e orientando a execução dos ensaios e a realização dos cálculos para a obtenção dos resultados experimentais;

g) Avaliar o minicurso através de questionários e pesquisa de opinião.

Dentre os objetivos elencados, destaca-se que os itens “a” a “c” constituem uma etapa do trabalho que visa a “construção” do equipamento propriamente dito, utilizado como recurso didático do minicurso.

O minicurso contém questionários prévio e final, videoaula, aula experimental e um questionário de avaliação final. A aula experimental proposta possibilitará aos alunos observar o comportamento físico de um sistema real e avaliar desvios entre valores teóricos e resultados experimentais, sendo tal análise relevante para uma melhor compreensão dos fenômenos observados e da adequação do modelo adotado a uma situação real.

Conforme estabelecido na formulação do problema que serviu de diretriz na execução desta dissertação, o produto educacional concebido está baseado na Teoria da Aprendizagem Significativa, que assume a necessidade do aprendiz revisar seus conhecimentos e, a partir dessa revisão, reformulá-los no intuito de assimilar os novos conhecimentos que lhe são apresentados. Neste ponto, o questionário inicial descrito no item “e” requer uma elaboração cuidadosa, cujo enfoque deve ser os conhecimentos prévios dos alunos. Um questionário final, buscando avaliar a eficiência pedagógica das atividades que integram o produto educacional desenvolvido, também está incluso nesta análise.

O videoaula servirá de referência para a execução do trabalho, orientando os alunos na realização dos ensaios e auxiliando o professor na coordenação dos trabalhos e no acompanhamento dos alunos, esclarecendo suas dúvidas. O vídeo foi elaborado com a finalidade de facilitar a reprodução da aula experimental em diversas instituições de ensino, em disciplinas que tratam da transferência de calor.

Finalmente, a pesquisa de opinião possibilita que os alunos contribuam, a partir da avaliação das atividades integrantes do minicurso, para que o conjunto destas atividades e o minicurso em si possa ser aprimorado continuamente.

No capítulo seguinte consta o referencial teórico do trabalho; abordando, nas duas primeiras seções, uma Revisão Bibliográfica a respeito da Teoria da Aprendizagem Significativa e sua inserção no produto educacional aqui proposto, bem como uma análise cronológica do emprego da experimentação didática como processo de ensino. Tais seções visam avaliar o trabalho desenvolvido, e, sua contribuição potencial, no contexto do processo ensino-aprendizagem. As seções subsequentes deste capítulo irão tratar dos princípios teóricos que envolvem a transferência de calor em uma aleta circular longa, e as considerações utilizadas na formulação do modelo matemático a ser aplicado na análise quantitativa do comportamento térmico dessa aleta.

O capítulo 3 trata da construção do equipamento didático, enfatizando aspectos relativos à montagem propriamente dita e detalhes construtivos e operacionais. Além disso, tem-se a metodologia de realização dos ensaios.

Os resultados obtidos foram analisados no capítulo 4, no qual também foi feita uma análise das discrepâncias constatadas entre resultados experimentais e previsões teóricas. Os principais achados nesta análise apontam que o produto educacional criado neste estudo auxilia na aprendizagem significativa, de acordo com os dados levantados na pesquisa.

No capítulo 5 foram realizadas as considerações finais, avaliando aspectos relativos aos objetivos e resultados alcançados.

Na sequência são apresentadas as referências, apêndices e anexos.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico, aqui apresentado, tem como base a Teoria da Aprendizagem Significativa, a partir dos estudos embasados nas discussões de Moreira (2011).

A teoria da aprendizagem significativa se baseia, resumidamente, no conhecimento preexistente do aluno e na sua capacidade de promover outros saberes, a partir da interação deste conhecimento prévio com os novos conceitos apresentados ao aluno. Consequentemente, incentivar a reflexão do aprendiz acerca destes conhecimentos prévios é uma forma de otimizar sua aprendizagem. Na visão de Moreira, a aprendizagem significativa é uma maneira de promover novas ideias e proposições, através de uma ancoragem conceitual no conhecimento prévio dos alunos. Assim, ressalta-se que espaços de aprendizagem que se utilizam da estrutura cognitiva prévia do aprendiz proporcionam um ambiente didático favorável à apropriação de novos saberes.

Nota-se que no ensino de ciências, o aprendizado ocorre, em geral, mais facilmente quando o aluno se defronta com atividades experimentais, pois estas podem auxiliá-lo na construção de modelos mentais funcionais para si. Tais modelos mentais tendem a ser coerentes com modelos conceituais científicos que se quer ensinar. Um episódio de aprendizagem ocorre quando a díade professor-aluno compartilham significados em relação aos materiais educativos e aos conteúdos ensinados (MOREIRA, 2011).

Neste referencial teórico serão abordados alguns aspectos teóricos da Teoria da Aprendizagem Significativa e da sua aplicação no contexto de aulas experimentais em tópicos de física aplicada, mais especificamente na área de Transferência de Calor. Nesse intuito também serão feitas algumas observações e análises dos escritos de Adib e Araújo (2003) no que tange às considerações destes autores acerca do Experimento Didático. Numa segunda etapa, são apresentados os princípios da transferência de calor, com as equações que descrevem quantitativamente a transferência convectiva e radiativa de calor, em regime permanente, em uma superfície estendida (aleta).

### 2.1 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA EM AULAS EXPERIMENTAIS

Na literatura de Moreira (2011) nota-se que a teoria da Aprendizagem Significativa foi desenvolvida por David Ausubel, em 1963. Esses estudos enfatizam o efeito do conhecimento prévio sobre a estrutura cognitiva como o fator que mais influencia a aprendizagem dos

alunos, Nesse caso, Moreira (2011) considera que a aprendizagem significativa ocorre quando um novo conceito interage com um conhecimento prévio na estrutura cognitiva preexistente criando uma ancoragem do saber. A aprendizagem significativa se caracteriza pela interação entre conhecimentos prévios e novos conhecimentos; e, quando ela ocorre, esses passam a ter maior estabilidade cognitiva.

Para Piaget (1973), o conhecimento é construído e reorganizado através da interação entre o sujeito e o objeto pela apropriação progressiva do objeto pelo sujeito. Buscando as contribuições de Freire (1993), verifica-se que é possível trabalhar o conhecimento a partir das necessidades dos sujeitos envolvidos no ambiente escolar. Já na teoria de Ausubel, considerada por Moreira (2011) encontra-se a afirmação de que um conhecimento prévio está associado a um subsunçor. Quanto mais desenvolvido for um subsunçor, maior será a facilidade que o sujeito terá nas novas aprendizagens.

Um subsunçor, conforme Moreira (2011) é um conhecimento estabelecido na estrutura cognitiva do sujeito que aprende; permitindo-lhe, por interação, dar significado a outros conhecimentos. Nesse contexto, a estrutura cognitiva é um conjunto hierárquico de subsunçores dinamicamente inter-relacionados. Assim, a dinâmica de transformação da estrutura cognitiva decorre da interação não-arbitrária e não-literal de novos conhecimentos com conhecimentos prévios (subsunçores) especificamente relevantes. Com sucessivas interações, um subsunçor vai adquirindo novos significados e pode servir de ancoradouro para novas aprendizagens significativas. O conhecimento prévio é um fator importante para a aprendizagem significativa, pois permite que, a partir dele, sejam estabelecidas conexões com subsunçores já existentes na estrutura cognitiva do sujeito (MOREIRA, 2011).

Na aprendizagem significativa, o conhecimento adquirido tende a ser mais perene, isto é, tende a se manter por muito mais tempo e ser menos passível de esquecimentos. Esta forma de aprendizagem se contrapõe à aprendizagem mecanizada, na qual geralmente o aprendiz memoriza os conceitos sem entendê-los para obter aprovação numa determinada disciplina. O procedimento descrito, alicerçado na memorização de conceitos, tende a “cair no esquecimento”, pois não é incorporado pelo sujeito na forma de uma ideia-âncora. Num processo de aprendizagem significativo, novos conhecimentos são incorporados na estrutura cognitiva do aprendiz, e passam a significar algo para ele, possibilitando-lhe construir relações entre os conteúdos ministrados (MOREIRA, 2011).

Assim, ele se torna capaz de resolver problemas novos, cuja resolução envolve análises e interpretações de conceitos e ideias que não lhe foram previamente apresentados,

mas consegue formular a partir das relações construídas no processo de aprendizagem. Quando há aprendizagem significativa, pode até o sujeito esquecer-se de um determinado assunto, mas esse pode ser facilmente retomado com uma leitura, pois os subsunçores são reativados. Tem-se que o fenômeno da aprendizagem acontece por meio de recursos didáticos e ambiente apropriados. Piaget (1973) considera que o social e o aspecto lógico são inseparáveis e isso pode ser aplicado também no quesito da aprendizagem.

Moreira (2011) utiliza o pensamento do autores Ausubel, Novak, Hanesenian (1980, *apud*) afirmando que a situação de maior influência quanto ao aprendizado é aquilo que o aluno já conhece. Isto implica no fato de que o professor deve estar atento ao conhecimento prévio dos alunos; e, ao ministrar novos conteúdos, deve fazê-lo no sentido de ampliar e reconfigurar ideias por eles já assimiladas. Assim, torna-se importante incentivar conexões com conceitos e ideias existentes na estrutura cognitiva do aprendiz, criando um espaço em que o professor deseja ensinar de modo que ocorra uma aprendizagem significativa dos conteúdos apresentados em sala de aula.

Na visão de Moreira (2011) de acordo com a concepção de Ausubel (1963, *apud*) o conteúdo a ser ensinado deve ser potencialmente relevante e o estudante precisa estar disposto a relacionar o material, de maneira consistente e não-arbitrária, com seu conhecimento prévio. Assim, disponibilizar ao aluno um material de ensino que propicie uma aprendizagem significativa, e que possa estimular sua predisposição de aprender, é uma ação que o professor deve executar ao planejar sua aula, selecionando adequadamente os conteúdos e as atividades a serem realizadas pelos alunos. A importância de se relacionar conhecimentos prévios é fundamental, e de acordo com Jerome Bruner (2008) tem-se que a aprendizagem anterior tem entre os seus fins facilitar uma aprendizagem posterior, e, o professor deve fazê-lo fornecendo um quadro geral no qual as relações entre as coisas anterior e posteriormente conhecidas se tornem o mais claro possível.

Ainda sob a ótica de Bruner (2008) entende-se que é necessário um aprofundamento contínuo do conhecimento, sendo que conceitos mais elaborados só ficam de fora do alcance do estudante se ele não consegue entender intuitivamente ou se ele não tiver oportunidade de experimentar o conhecimento. Assim, a experimentação, na concepção de Bruner (2008), tem um papel relevante, e pode servir como um estímulo ao aprendizado, na medida em que ela está associada ao exercício de aprendizagem.

Por outro lado, Góí e Santos (2018) destacam que a forma de aprendizado através da experimentação, se enquadra num modelo hipotético de ensino, no qual estudante e professor

estão em uma posição de cooperação e o estudante toma parte das formulações e possui liberdade de expressão. Nesse modelo, o aluno é incentivado a pesquisar, buscar o conhecimento, baseado na expectativa de que há algo para ser descoberto.

Diante do exposto, percebe-se que a teoria da aprendizagem significativa requer um planejamento adequado, voltado não só para a execução do ensaio, e do resultado a ser com ele obtido; mas, principalmente, para a forma de como apresentar o conteúdo teórico aos alunos, de modo que eles consigam alcançar uma aprendizagem significativa deste conteúdo através da realização da atividade prática. De acordo com Moreira (2011) quando o material de aprendizagem não é familiar e o aprendiz não tem subsunçores, recomenda-se o uso de um organizador expositivo que, supostamente faz a ponte entre o que o aluno já sabe e o que deveria saber para que os ensaios realizados com esse material possam resultar em uma aprendizagem significativa. Sobre essa questão considera-se que:

Muitas vezes, o aluno tem conhecimentos prévios adequados, mas não percebe a relacionabilidade e a discriminabilidade entre esses conhecimentos e os novos que lhe estão sendo apresentados nas aulas e nos materiais educativos. Nesse caso, é imprescindível que se use recursos instrucionais que mostrem essa relacionabilidade e discriminabilidade, ou seja, como os novos conhecimentos se relacionam com os anteriores e como se diferenciam deles (MOREIRA, 2011).

Atividades mediadas por meio da aprendizagem significativa são importantes para a fixação dos conceitos e para criar relações internas dentro da concepção Ausubeliana (MOREIRA, 2011).

No entanto, na maioria das instituições públicas de ensino, ter uma estrutura de laboratórios e equipamentos que permitam a experimentação é algo inviável. Muitas escolas são carentes de materiais básicos de uma sala de aula convencional como classes e cadeiras adequadas. Manter um laboratório ou adquirir módulos e *kits* didáticos para aulas experimentais não é a realidade de todas as escolas.

Dessa forma, o desenvolvimento de kits educativos e módulos experimentais de baixo custo podem ser uma alternativa para que escolas com orçamentos limitados possam ter laboratórios experimentais, e, dessa forma, permitir que os alunos tenham acesso à aulas experimentais.

Nesse ponto, é importante destacar que o presente trabalho está vinculado ao ensino experimental de física aplicada, e nesse contexto é imprescindível o emprego de instrumentos que façam mensurações de grandezas físicas, cujos valores serão inseridos nas fórmulas matemáticas associadas ao modelo teórico proposto para o fenômeno observado nos ensaios.

Tem-se que em muitas situações, a atividade experimental, ainda que propicie ao aluno a observação do fenômeno e sua interação com um sistema físico real, através da realização de procedimentos operacionais, mensuração e registro de grandezas físicas; não resulta, necessariamente, num aprendizado significativo do conteúdo que se deseja ministrar com a realização de uma aula prática. Isso ocorre, por exemplo, com certa frequência, quando se realizam atividades práticas com roteiros previamente elaborados e que são disponibilizados com a aquisição de módulos didáticos comerciais.

Nesses casos, quando os módulos didáticos são devidamente instalados e os ensaios são executados a contento, nem sempre há uma preocupação maior em vincular os fundamentos teóricos, os procedimentos operacionais e as fórmulas matemáticas apresentadas nos roteiros que descrevem a realização dos ensaios, fornecidos pelo fabricante, com o conteúdo ministrado pelo professor. Além disso, muitos desses roteiros experimentais são falhos e apresentam erros conceituais, sendo que a maioria das empresas que comercializam esses módulos não dispõem de técnicos qualificados ou não disponibilizam, sem custos adicionais, assistência técnica de profissionais que possam orientar os professores a operarem esses equipamentos, esclarecendo suas dúvidas. Mas, apesar das dificuldades, ressalta-se que os *kits* didáticos possuem importância na formulação de uma aula prática.

Conforme exposto no parágrafo acima, existem muitos obstáculos com os quais os docentes se deparam ao buscar a realização de atividades experimentais em disciplinas de física aplicada, impossibilitando a sua execução ou minimizando a sua eficácia como ferramenta didática. Por outro lado, é mister ressaltar alguns fatores que podem auxiliar o professor a implementar aulas experimentais integradas aos conteúdos da disciplina e direcionadas para uma aprendizagem significativa desses conteúdos. O primeiro deles é a disponibilidade, e o custo relativamente baixo, de materiais e instrumentos de medição, como termômetros, termo-higrômetros, multímetros, dentre outros. O segundo fator é a possibilidade de acesso, via *Internet*, a vídeos e artigos que apresentam experimentos elaborados de forma “artesanal”, utilizando materiais de baixo custo, por alguns docentes; e, obviamente, a possibilidade de divulgação e troca de informações com os professores envolvidos na elaboração desses experimentos.

Além disso, a possibilidade de conceber a elaboração de um experimento didático como uma atividade de iniciação científica é uma alternativa para que o professor possa trabalhar com um aluno bolsista na execução dessa tarefa. É importante destacar, que a mediação do professor na realização de uma atividade experimental é fundamental para que

essa atividade possa contribuir para um aprendizado significativo. Essa mediação não se resume ao planejamento do experimento; e não inclui apenas o roteiro de execução dos ensaios. A ação do professor deve se concentrar na vinculação dos conhecimentos prévios dos alunos com os novos conhecimentos, sendo o experimento uma estratégia de ensino que deve estar voltada para esse objetivo.

A realização de um questionário inicial, abordando os conhecimentos prévios, necessários ao aprendizado dos novos conhecimentos, é uma forma de ativar os subsunçores potencialmente relacionados ao conteúdo a ser ministrado, identificando eventuais conceitos errôneos ou falhas no aprendizado desses conceitos, despertando o aluno para a necessidade de revisá-los. Na sequência, a apresentação de um vídeo, abarcando esses conhecimentos prévios e contextualizando-os em fenômenos do cotidiano; e, simultaneamente, fazendo a conexão das leis físicas e equações com esses fenômenos, possibilita o esclarecimento das dúvidas ainda existentes. Uma discussão sobre o vídeo apresentado, incentivando os alunos a formular perguntas e tecer comentários, deve ser conduzida pelo professor, ressaltando as conexões entre os assuntos abordados no questionário e no vídeo com os novos conhecimentos que serão apresentados.

Assim, baseado na concepção de Moreira (2011), considera-se que a importância da preparação de um produto educacional no qual a relacionabilidade e a discriminabilidade dos conteúdos a serem ministrados com os conhecimentos prévios é concretizada através da experimentação, conjuntamente com outras atividades que integram o experimento didático no contexto de um processo de ensino voltado para a aprendizagem significativa do aprendiz.

Diante do exposto, é possível concluir que existe congruência entre a aprendizagem significativa e a utilização da experimentação, pois ambas proporcionam além do aspecto lúdico, a aproximação do aluno com a realidade, e, isso é defendido como estratégia de ensino pela grande maioria dos teóricos da aprendizagem e da psicologia cognitiva. Nesta Dissertação, pretende-se analisar a experimentação como estratégia de ensino sobre o enfoque da Teoria da Aprendizagem Significativa, visando seu emprego em disciplinas que tratam de aplicações da física na área de transferência de calor.

## 2.2 A EXPERIMENTAÇÃO COMO ESTRATÉGIA DE ENSINO

Ao analisar evolução histórica do ensino em sala de aula, constata-se que, até o início do século XX, o processo de ensino-aprendizagem estava centrado na memorização e verbalização. Na visão de Fernandes e Santomauro (2011), a aula expositiva se consolidou como prática pedagógica na Idade Média pelas mãos dos jesuítas. O conhecimento era transmitido pela linguagem verbal, sendo essa a estratégia mais utilizada nas escolas. Nesse tipo de aprendizagem, caracterizada como passiva e receptiva, a compreensão desempenhava um papel muito reduzido e o professor utilizava o procedimento de perguntas e respostas, tanto em sua forma oral como escrita. Este era o chamado método catequético, ressaltando que a palavra “catecismo” provém do termo grego *katechein*, que significa "fazer eco". Souza *et al.* (2010) destacam o enfoque mecânico desse método e a exclusão do aluno na elaboração do conhecimento, propiciando também que não houvesse qualquer tipo de reflexão sobre o assunto estudado.

Já no Brasil, percebe-se que a aula expositiva ainda é uma prática usual. Nesse caso, geralmente, o professor discorre sobre um determinado tema usando quadro e giz, e o aluno procura se encaixar no processo de aprendizagem, e, essa acaba sendo uma forma mais tradicional de ensino de ciências no ensino médio. Filho (ALVES PINHO, 2000, *apud*) menciona um estudo realizado por Alves Pinho sobre o ensino de física e destaca que os livros didáticos mais utilizados nas décadas de 50 a 80 não incluíam a descrição de experimentos didáticos, afirmando ainda que esse tipo de atividade ficava relegado a um segundo plano e os autores desses livros recomendavam dar prioridade para as leituras de texto, exercícios de fixação e revisão. Tradicionalmente, os laboratórios didáticos das escolas tinham um acervo muito limitado, principalmente, pela pouca disponibilidade e alto custo de aquisição de equipamentos e instrumentos didáticos. Dessa forma, as aulas experimentais, quando ministradas, se resumiam a aulas demonstrativas, executadas pelo professor, ficando muito limitada a participação do aluno nesse tipo de aula.

Percebe-se que a criação do IBICC (Instituto Brasileiro de Educação Ciência e Cultura), em 1946, órgão responsável pela produção de material instrucional de Ciências, cuja linha norteadora é a ênfase na vivência do aluno no processo de investigação científica, foi vista como uma tentativa de introduzir, em nosso país, as estratégias de ensino voltadas para a experimentação.

O IBECC se tornou uma instituição inovadora na divulgação científica e do ensino de ciências quando foi implantado em São Paulo, em 1950, junto a Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo – USP (ABRANTES; AZEVEDO, 2010). Através do IBECC foram realizados projetos de divulgação científica e educação em ciências, em conjunto com a produção de material didático. O objetivo era despertar o interesse do aluno pela ciência através da vivência do processo de investigação científica. A ideia de desenvolver material didático sob a forma de *kits* era de valorizar a experimentação e o método da redescoberta, buscando assim desenvolver no aluno aptidões para a solução de problemas, aprender fazendo (ABRANTES; AZEVEDO, 2010).

Tem-se que valorizar a experimentação e a redescoberta como instrumentos fundamentais para o aluno entender os mecanismos para a solução de problemas e aprender fazendo, era o princípio pedagógico fundamental para o ensino de ciências (ABRANTES; AZEVEDO, 2010). Nesse sentido, o IBECC também auxiliou na capacitação de professores para o ensino de ciências, na elaboração de livros-texto e desenvolvimento de materiais para os laboratórios das escolas. Havia uma preocupação em desenvolver equipamentos com materiais acessíveis. Inicialmente, foram desenvolvidos *kits* para o ensino de química, física e biologia que foram distribuídos em escolas públicas e privadas a um baixo custo, conforme mencionado acima. Posteriormente esses *kits* foram aperfeiçoados e distribuídos também em escolas primárias. Nota-se que o ensino de ciências passou por uma transformação dando uma ênfase maior na investigação, observação e resolução de problemas (ABRANTES; AZEVEDO, 2010).

Nesse ponto começa um novo olhar sobre o laboratório didático. Os experimentos passam a ser elaborados a fim de serem executados pelos alunos, buscando uma inter-relação com a teoria desenvolvida, introduzindo a participação ativa do aluno, isto é, aprendizagem através da descoberta ou redescoberta. O laboratório didático que inicialmente era um espaço para aulas de demonstração pelo professor, que realizava experimentos padronizados, agora passa a ser um espaço onde o aluno é o protagonista. O aluno interage com o equipamento, realiza a montagem, coleta e analisa os dados saindo da passividade das aulas demonstrativas. O laboratório, a prática experimental agora são elementos motivadores do processo de ensino aprendizagem (ABRANTES; AZEVEDO, 2010).

Essa mudança, onde o aluno assume o protagonismo dentro do laboratório de ensino, exigiu a produção de equipamentos simples e robustos para que pudessem ser manipulados pelos alunos, a fim de facilitar a manutenção. Ao mesmo tempo esses equipamentos deveriam

ter um custo reduzido para que pudessem ser adquiridos pelas instituições de ensino. Sendo assim, é interessante observar que as iniciativas voltadas para uma reformulação da metodologia de ensino, por meio de modificações significativas, foram benéficas e contribuíram com as escolas. No entanto, ainda existem lacunas quanto ao melhoramento das aulas, e, nesse caso, é necessário que os professores continuem pensando formas de introduzirem recursos didáticos de baixo custo nas aulas, a fim de otimizarem o aprendizado dos alunos. Filho (2000) ressalta que o discurso didático, enaltecendo as atividades experimentais como prática pedagógica é defendido pela maioria dos professores.

O tipo atual de exame vestibular de Física para os candidatos a engenharia, medicina, tem prejudicado imensamente o ensino da Física no curso secundário....os nossos métodos são antiquados, pois a maioria dos professores, preocupados com os vestibulares, ensinam apenas Física teórica, Física de giz na lousa escolar, obrigando o estudante a decorar fórmulas matemáticas, desleixando completamente a prática, jamais ilustrando as aulas com experiências. Com isso o aluno perde o estímulo e atrativo pela matéria. Resultado: falta de iniciativa nas ciências e nas pesquisas de físicos autênticos, de que o Brasil tanto necessita para vencer o estágio de subdesenvolvimento (Texto introdutório do volume de Física da FTD para o 3º ano colegial, 1963).

Assim, destaca-se que a falta de experimentação no ensino médio dificulta o aprendizado não só na disciplina de Física, mas também em outras áreas do saber.

Mas, por outro lado, é possível afirmar que houve, em nosso país, ao longo das últimas décadas, uma crescente valorização do ensino experimental, resultando em um novo olhar sobre o laboratório didático, ou seja, houve um avanço. Os experimentos passaram a ser elaborados para serem executados pelos alunos, buscando uma inter-relação com a teoria desenvolvida e a participação ativa do aluno. Isso também exigiu a produção de equipamentos simples e robustos para reduzir os custos e viabilizar a manipulação por parte dos alunos. Ainda que essas mudanças não tenham sido implementadas na maioria das instituições de ensino médio, é importante ressaltar que elas vêm sendo aplicadas em muitas escolas técnicas e em instituições de ensino superior (FILHO, 2000).

Portanto, laboratório didático, tanto no ensino médio como no superior, vem sofrendo uma transformação, convertendo-se em um espaço para aulas demonstrativas, nas quais o professor realiza experimentos padronizados, em um espaço onde o aluno é o protagonista e os procedimentos experimentais integram o processo de aprendizagem. O aluno interage com o equipamento, realiza a montagem, coleta e analisa os dados, deixando de ser apenas um observador das aulas demonstrativas. A prática experimental é usada como um elemento

motivador no processo de ensino aprendizagem, que passa a envolver o aspecto lúdico e emocional do aluno (FILHO, 2000).

A experimentação como estratégia de ensino visa dar subsídios ao trabalho do professor dentro das diferentes metodologias experimentais quer sejam elas de demonstração, verificação ou investigação criando dessa forma um ambiente propício ao aprendizado (FILHO, 2000). Assim, as atividades demonstrativas servem para ilustrar fenômenos e estabelecer uma base para discussões mais aprofundadas, permitindo a participação ativa do estudante e criando situações facilitadoras de aprendizagem. Dessa forma, permite aos estudantes elaborarem novos conhecimentos, novos conceitos e interações estimulando a criatividade. Também contribuem para a fixação de conceitos e para as correlações entre a teoria e a prática.

O sujeito ao tocar, sentir, manipular, dá um significado, cria uma representação de uma ideia, expressa seu significado e não necessita diretamente de mediação na construção do conhecimento. Adib e Araújo (2003) defendem que o uso de atividades experimentais tem a capacidade de estimular o aluno e propiciar situações desafiadoras, além de desenvolver habilidades relacionadas ao fazer e entender ciência. Quanto a isso tem-se que:

Estimular a participação ativa dos estudantes, despertando sua curiosidade e interesse, favorecendo um efetivo envolvimento com sua aprendizagem e também, propicia a construção de um ambiente motivador, agradável, estimulante e rico em situações novas e desafiadoras que, quando bem empregadas, aumentam a probabilidade de que sejam elaborados conhecimentos e sejam desenvolvidas habilidades, atitudes e competências relacionadas ao fazer e entender a Ciência (ADIB; ARAÚJO, 2003).

Desta forma, cabe ao professor ser ativo e consciente no processo de formação do aluno, pois na perspectiva de Paulo Freire (1998) as palavras ensinadas a que faltam a corporeidade do exemplo valem pouco ou quase nada. Ainda sobre a consciência do papel do professor Freire afirma que:

Não temo dizer que inexistem validade no ensino em que não resulta um aprendizado em que o aprendiz não se tornou capaz de recriar ou de refazer o ensinado. (...) nas condições de verdadeira aprendizagem os educandos vão se transformando em reais sujeitos da construção e da reconstrução do saber ensinado (...). Percebe-se, assim, que faz parte da tarefa docente não apenas ensinar conteúdos, mas também ensinar a pensar certo (FREIRE, 1998).

Assim, o uso de materiais concretos para trabalhar determinados conteúdos auxilia a prática docente, tornando-a didática. Segundo Freire (1998), a aprendizagem acontece com mais facilidade quando o objeto de estudo está mais próximo do aprendiz e se relaciona com

seus conhecimentos prévios. Cabe ao professor criar estratégia de ensino que consiga realizar essas conexões entre o conhecimento prévio e o que se quer que o aluno aprenda. Assim, as estratégias de ensino estão relacionadas com o modo de organizar o saber didático, permitindo que se alcancem os objetivos propostos para uma atividade de ensino e o uso correto dos recursos para que aula se torne dinâmica e o aluno consiga fazer as devidas conexões.

Tem-se que materiais e equipamentos didáticos são todos os recursos utilizados em um procedimento de ensino, tendo como objetivo aproximar e estimular o aluno. Alguns exemplos de materiais e recursos didáticos são os globos, mapas, sementes, palitos, muito utilizados nas aulas de geografia, matemática e ciências. Estes são recursos visuais que permitem conectar o aluno ao conteúdo que está sendo ensinado. Os materiais e equipamentos aproximam o aluno da realidade do que se quer ensinar e facilitam a compreensão dos conceitos, desenvolvem aptidões e habilidades no manuseio de equipamentos por parte dos alunos.

Num estudo realizado por Fiscarelli (2007) a autora observou que materiais didáticos são capazes de deixar a aula mais estimulante, mais envolvente, aproximando o aluno do conhecimento. Observou também que os professores selecionam com cuidado os materiais didáticos que serão utilizados durante a aula e observam também que o conjunto de saberes, valores e significados construídos em torno de um objeto é que o faz tornar útil o processo de ensino-aprendizagem, transformando-o em um material didático, e, que esses saberes criam “regimes de verdade” dominantes, capazes de orientar a visão e o pensamento sobre ensinar. Assim, em torno dos materiais didáticos se tem construído, ao longo da história da educação brasileira, um discurso que legitima sua utilização em sala de aula, salientando as suas potencialidades rumo a um ensino moderno, renovador, eficiente e eficaz.

Nota-se que o professor que faz uso de recursos didáticos deve observar que estes devem ser adequados aos objetivos e às habilidades a serem desenvolvidas, ter simplicidade e qualidade de atração para despertar a curiosidade do aluno. Outro critério importante é ter baixo custo e facilidade de manipulação Fiscarelli (2007). Segundo Freitas (2009) se aprende: 1% por meio do gosto, 1,5% por meio do tato, 3,5% por meio do olfato, 11% por meio da audição e 83% por meio da visão. Retemos: 10% do que lemos, 20% do que escutamos, 30% do que vemos, 50% do que vemos e escutamos, 70% do que ouvimos e logo discutimos e 90% do que ouvimos e logo realizamos. Sendo assim, aulas que associam a teoria com a experimentação contribuem para a construção de um conhecimento de forma significativa. O material didático contribui para a conexão da comunicação entre o professor e o aluno e serve

para que o aluno consiga realizar análises e possa fazer abstrações partindo de um objeto concreto.

Uma aula demonstrativa tem características que se relacionam com a teoria da aprendizagem significativa, considerado, é uma aula onde o professor com o uso de materiais e equipamentos demonstra um conceito científico, ao mesmo tempo em que apresenta o tema relacionando-o com a prática. Dessa forma, permite que o aluno acrescente elementos ao seu conhecimento, possibilita a compreensão de sistemas, serve para visualizar e até mesmo manusear objetos tornando sua aprendizagem mais significativa. Por outro lado, uma aula prática ou de verificação se assemelha a uma aula demonstrativa, mas com a diferença que nesse modelo de aula o aluno é o elemento ativo do processo, é ele quem executa o experimento e procura relacionar os aspectos teóricos e práticos (FREITAS, 2009).

A aula de caráter investigativo tem por base a problematização através de experimentos de laboratórios, onde o aluno procura formular hipóteses, e o objetivo é levar o aluno a pensar, refletir e aplicar os conhecimentos aprendidos, na visão de Pizzi (2013). Uma atividade investigativa deve contemplar uma situação problema, formulação de hipótese, análise e comparação dos dados com previsões e uma conclusão. Deve propiciar que o aluno consiga relacionar o tema investigado e que gere um momento de descoberta que tenha significado para o aluno. Quando o aluno consegue interiorizar e realizar as conexões e formular um novo conceito, pode-se dizer que aquela atividade foi significativa (MOREIRA, 2011).

Nas reformulações educacionais que foram implantadas no Brasil, nos últimos anos, foram previstos adoção de equipamentos didáticos e recursos pedagógicos. Quanto a essas reformulações, faz-se necessário a adoção de novas técnicas que se relacionem com estes novos recursos didáticos. É necessário ainda, que os equipamentos e os recursos didáticos sejam utilizados de maneira eficiente (FREITAS, 2009).

Portanto, é importante que se leve em conta a participação dos diversos segmentos da comunidade escolar na elaboração de propostas pedagógicas, pois ações bem planejadas, com objetivos definidos, respeitando as singularidades do contexto educacional, propicia explorar, de forma significativa, os recursos que os materiais e equipamentos didáticos podem oferecer. Nesse sentido, a utilização de experimento didático é um meio apropriado de se criar um cenário de ensino-aprendizado vantajoso.

## 2.3 TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM SUPERFÍCIES ESTENDIDAS

Em muitas aplicações industriais, é desejável o aumento da taxa de transferência de calor de uma superfície sólida para o fluido circundante. A estratégia mais utilizada para este fim é o aumento da superfície de contato entre o objeto sólido e o fluido; e, nesse intuito, são empregadas aletas. Em síntese, aletas são dispositivos constituídos por materiais condutores de calor e que tem a função de aumentar a taxa de transferência de calor numa interface sólido-fluido, através do aumento da área de contato entre esses dois meios (INCROPERA, 1992).

Aletas são utilizadas no resfriamento de cilindros de pistões de motores de combustão, motores elétricos, carcaças de componentes como amplificadores de som e circuitos eletrônicos, conforme ilustrado na

**Figura 1.** Starner e McManus (1963) definem aletas como sendo superfícies que servem para dissipar o calor que chega até elas, através de uma troca térmica que se comporta de forma significativa quando estão em altas temperaturas.

Aletas, do ponto de vista geométrico, podem ser caracterizadas como superfícies estendidas, cuja relação massa/área é significativamente menor que a do objeto no qual estão afixadas. Na **Figura 2**, são visualizados animais cujo formato do corpo é caracterizado pela presença de aletas (barbatanas de tubarão e escamas dos dinossauros). De acordo com os paleontologistas, o sangue circulava pelas escamas e ali era refrigerado, o que possibilitava um controle mais efetivo da temperatura corporal desses dinossauros.

Ao analisar a transferência de calor numa superfície estendida (aleta) deve-se atentar para o fato de que ocorre condução no interior de um sólido e convecção (e radiação) nas fronteiras do sólido. A inserção de uma superfície estendida em um objeto sólido é realizada quando se necessita de um aumento da taxa de transferência de calor. Cabe ressaltar, que esse aumento pode ser realizado de duas formas (INCROPERA, 1992):

- a) elevando o valor do coeficiente de transferência de calor ( $h$ );
- b) pelo acréscimo de aletas, cuja área superficial ( $A_s$ ) é, de modo geral, significativamente maior que a área do objeto desprovido dessas aletas.

Neste ponto deve ser considerado que, em certas situações, como na ventoinha, ilustrada no canto superior direito da

**Figura 1**, o aumento da taxa de transferência de calor é realizado pela circulação forçada de ar, que produz o aumento de  $h$  - e pela inserção de aletas, através do acoplamento

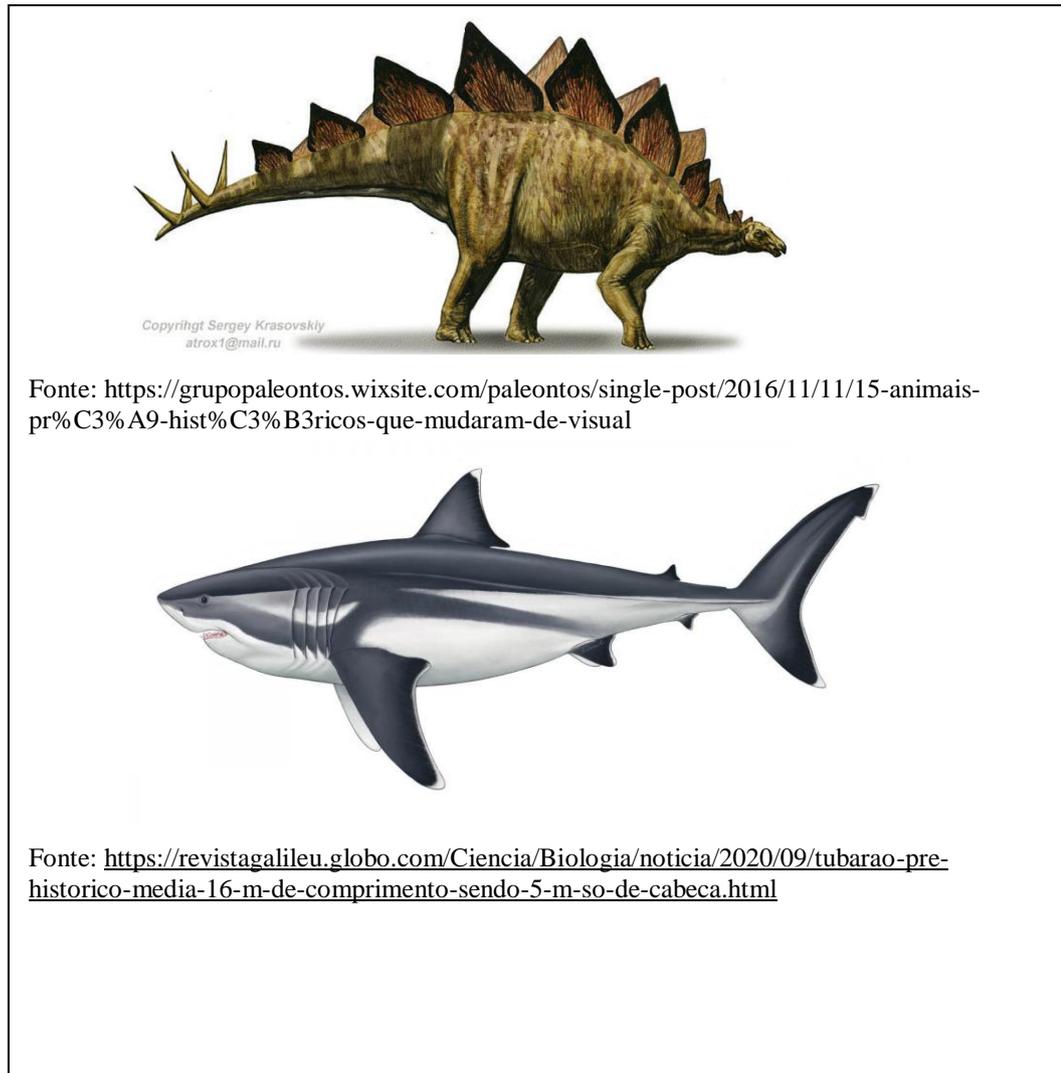
de um ventilador e de um conjunto de aletas ao bloco no qual está fixada a CPU. Neste caso específico são adotadas as duas formas mais utilizadas para o aumento da taxa de transferência de calor em uma interface sólida.

Figura 1 - Aletas Aplicadas em Equipamentos Mecânicos, e Eletroeletrônicos



Fonte: Google Imagens, 2020.

Figura 2 - Aletas na Natureza

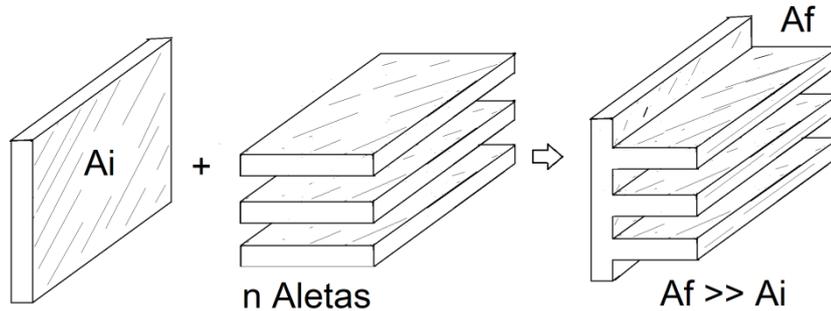


Fonte: Google Imagens, 2020.

### 2.3.1 BALANÇO DE ENERGIA (CONVENCIONAL) NUMA ALETA

O aumento da taxa de transferência de calor a partir da inserção de aletas em uma placa plana, conforme ilustrado na **Figura 3**, é avaliado através de um balanço térmico aplicado em um elemento infinitesimal de volume da aleta. Nessa ilustração é possível evidenciar que a inserção das aletas resulta numa área de interface sólida ( $A_f$ ) consideravelmente maior que a área inicial dessa interface ( $A_i$ ).

Figura 3 - Aumento da transferência de calor com a inserção de aletas numa superfície



Fonte: Elaborada pelo autor 2020.

O balanço térmico entre duas seções transversais, afastadas por uma distância  $dx$ , considerando um fluxo de calor unidimensional, em regime permanente, numa aleta de seção transversal constante; e, admitindo que o calor flui por condução no interior da aleta e exclusivamente por convecção na superfície exposta da aleta, resultando na seguinte equação diferencial:

$$\frac{d^2T}{dx^2} - m^2 \cdot (T - T_{amb}) = 0 \quad , \quad (1)$$

Equação 1 – Equação diferencial que define o balanço térmico.

Na equação (1),  $T$  é a temperatura numa seção transversal e  $T_{amb}$  é a temperatura ambiente. Nesta equação,  $m$  é um termo que relaciona a condutividade térmica do material da aleta, o coeficiente convectivo de transferência de calor, o perímetro e a área da seção transversal de uma aleta, respectivamente,  $k$ ,  $h$ ,  $P$  e  $A$ , através da expressão (INCROPERA, 1992):

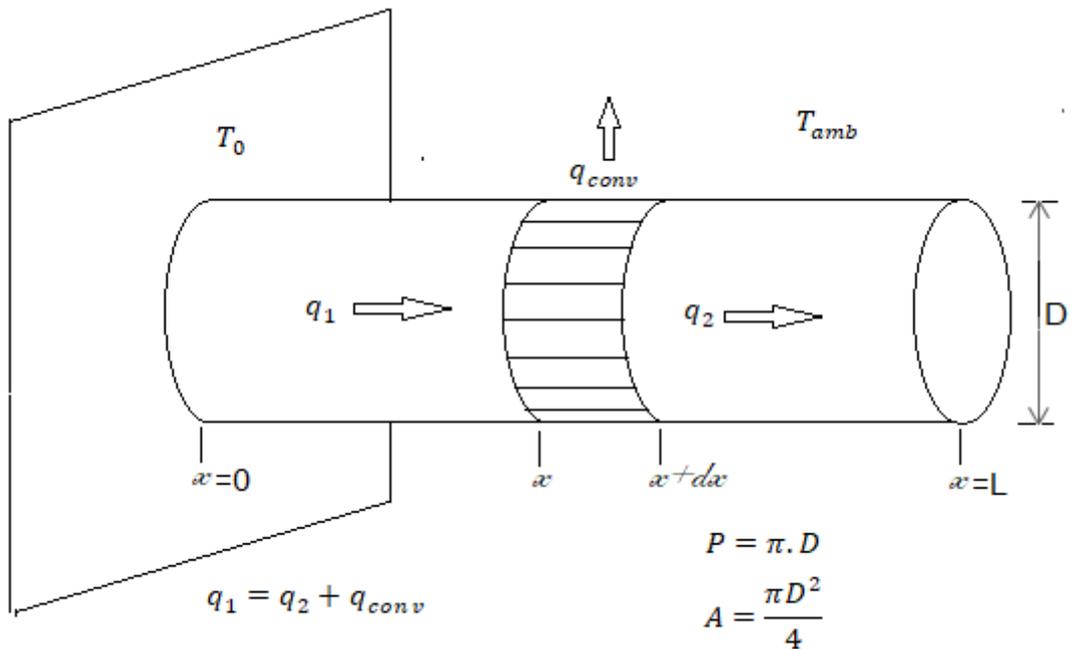
$$m = \sqrt{\frac{h \cdot P}{k \cdot A}} \quad . \quad (2)$$

Equação 2 – Expressão matemática do parâmetro “m” .

Na ansversal circular e constante, cujo comprimento é igual a  $L$ .

**Figura 4** é apresentado um esquema do processo de transferência de calor em uma “fatia” de espessura infinitesimal de uma aleta de seção transversal circular e constante, cujo comprimento é igual a **L**.

Figura 4 - Modelo de Aleta Circular



Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.

A solução geral da equação (2), que descreve o perfil de temperatura ao longo da aleta, é

$$T(x) = C_1 \cdot e^{m \cdot x} + C_2 \cdot e^{-m \cdot x} \quad , \quad (3)$$

Equação 3 - Constantes arbitrárias.

Os termos  $C_1$  e  $C_2$  são constantes arbitrárias a serem determinadas pelas condições de contorno na base e na extremidade exposta da aleta. A situação mais simples, válida para aletas de “comprimento infinito”, resulta em:

$$T(x) = T_{amb} + (T_0 - T_{amb}) \cdot e^{-m \cdot x} \quad , \quad (4)$$

Equação 4 - Perfil de temperatura em uma aleta de “comprimento infinito”.

Na equação (4),  $T_0$  é a temperatura na base da aleta, e a temperatura na outra extremidade da aleta é arbitrada como sendo igual à temperatura ambiente ( $T_{amb}$ ). Uma aleta de “comprimento infinito” é aquela cuja temperatura da ponta (extremidade oposta à base), pode ser igualada à temperatura ambiente, sendo tal condição associada ao seguinte critério (INCROPERA, 1992):

$$m.L \geq 2,51, \quad (5)$$

Equação 5 – Critério de aleta de “comprimento infinito”.

Contudo, nem sempre pode se avaliar o perfil de temperatura em uma aleta a partir da equação (4), pois esta é de aplicação restrita. A solução da equação (2) para a condição de contorno mais genérica na extremidade livre, isto é, na qual se considera a transferência convectiva de calor na seção transversal da aleta exposta ao ar nesta extremidade, é dada pela equação:

$$T(x) = T_{amb} + (T_0 - T_{amb}) \cdot \frac{\cosh[m.(L-x)] + \left(\frac{h}{m.k}\right) \cdot \sinh[m.(L-x)]}{\cosh(m.L) + \left(\frac{h}{m.k}\right) \cdot \sinh(m.L)} \quad (6)$$

Equação 6 – Perfil de temperatura em uma aleta com transferência convectiva de calor na extremidade livre

### 2.3.2 O COEFICIENTE CONVECTIVO DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Para estudar a transferência de calor é válido ressaltar que a metodologia de ensino amplamente empregada em aulas expositivas sobre transferência de calor consiste em explanações do conteúdo teórico, que inclui a análise e/ou dedução de equações, seguida da resolução de problemas. A determinação do perfil de temperaturas em um ponto da aleta afastado a uma determinada distância da base é um dos problemas usualmente propostos, para o qual são fornecidos dados relativos à geometria e condutividade térmica do material constituinte da aleta, além dos valores da temperatura ambiente e na base da aleta. O coeficiente convectivo de transferência de calor,  $h$ , é outra informação necessária à resolução desse tipo de problema; embora seu valor seja, essencialmente, uma estimativa para uma situação real, diferentemente dos demais dados fornecidos no enunciado.

O coeficiente convectivo de transferência de calor,  $h$ , é outra informação necessária à resolução desse tipo de problema; embora seu valor seja, essencialmente, uma estimativa para uma situação real, diferentemente dos demais dados fornecidos no enunciado. Nesse sentido,

convecção pode ser entendida como etapas que servem para transportar a massa caracterizada pelo movimento de um fluido devido à diferença da densidade (BILITSKY, 1986).

Na abordagem descrita, a obtenção do resultado numérico correto é uma das maiores preocupações do aluno ao efetuar os cálculos, sendo induzido a pensar que as equações utilizadas reproduzem, com elevado grau de confiabilidade, o sistema físico descrito no enunciado. Cabe destacar que o valor de  $h$ , na convecção natural de um gás, situa-se entre 2 e 25 W/m<sup>2</sup>.K, segundo a literatura científica (INCROPERA, 1992); o que significa uma diferença relativa da ordem de 1000% entre os limites desse intervalo. Esse fato, muitas vezes, não é destacado com a devida importância nas aulas expositivas ministradas sobre o assunto; gerando alguma desconexão entre o ensino formal, associado à resolução de problemas teóricos, e o comportamento real do sistema físico, descrito nesses problemas.

Atividades experimentais, cuja realização tende a motivar e envolver o aluno no assunto em pauta, serve para aumentar a capacidade de aprendizado significativo (GIORDAN, 1999), e, possibilitar confrontar o comportamento real com as simulações teóricas previstas para um sistema físico.

Um dos dispositivos mais empregados no estudo experimental da transferência de calor em aletas registra as temperaturas ao longo de uma barra metálica cilíndrica, na posição horizontal. Uma das extremidades da barra é aquecida e mantida à temperatura constante. Após algum tempo, é atingido o regime estacionário, e o perfil de temperaturas correspondente é utilizado para estimar o valor do parâmetro  $m$ . Na maioria dos casos, o dispositivo possui várias barras, de materiais e/ou diâmetros distintos, com uma série de sensores de temperatura posicionados ao longo dessas barras. Assim, os registros de temperatura são utilizados no cálculo do valor de  $m$  e, na sequência, é estimado o valor de  $h$ , com o emprego da equação (2). Em alguns casos, o valor de  $h$  assim obtido é confrontado com o valor teórico de  $h$  para a convecção natural, a partir de equações empíricas envolvendo números adimensionais (JÚNIOR; GONÇALVES, 2016).

Assim, cabe uma análise a respeito da natureza e das características desse coeficiente, também denominado coeficiente de película, na situação analisada. O aquecimento de um sólido induz a presença de um gradiente de temperatura junto à interface que o delimita, de modo que se forma uma película de fluido, de espessura diminuta, responsável pela transferência de calor entre a superfície exposta do objeto e o fluido que o circunda. Este gradiente de temperatura induz a movimentação do fluido na interface, num processo denominado convecção natural. As temperaturas da interface e do fluido circundante, bem

como a geometria do sólido e as propriedades termofísicas do fluido contido na película descrita, determinam o valor do coeficiente convectivo de transferência de calor.

Desta forma, no experimento descrito no parágrafo anterior, a movimentação do fluido (ar ambiente) é induzida pela diferença de temperatura entre as barras metálicas e o fluido, sendo que tal escoamento é muito tênue e facilmente afetado por quaisquer correntes de ar próximas ao equipamento e, inclusive, pela circulação de pessoas no local. Conseqüentemente, podem ocorrer discrepâncias significativas entre valores experimentais e teóricos de **h**.

O cálculo do valor teórico de **h**, num processo de convecção natural, conforme mencionado anteriormente, envolve o emprego de números adimensionais. Tais valores são gerados a partir da adimensionalização de equações e a combinação de variáveis em grupos (números), Çengel e Ghajar (2012). Nesse processo, o coeficiente de película é adimensionalizado na forma:

$$Nu = \frac{h.L_c}{k_f} \quad , \quad (6)$$

Equação 6 – Número de Nusselt.

Na equação (6), **k<sub>f</sub>** a condutividade térmica do fluido (ar) na temperatura de filme; e **L<sub>c</sub>**, o comprimento característico do objeto sólido. O termo “filme” é outra designação para a película de ar em que se forma o gradiente de temperatura entre a interface sólida e o ambiente, e cuja temperatura é arbitrada como sendo a média entre a da superfície e do ar circundante. O comprimento característico, para uma barra cilíndrica horizontal, corresponde ao seu diâmetro. O número de Grashoff (**Gr**), associado ao fenômeno da convecção natural, é calculado através da expressão

$$Gr = \frac{g.\beta.\Delta T.L_c^3}{\nu^2} \quad , \quad (7)$$

Equação 7 - Número de Grashoff.

Na equação (7), **g** corresponde a aceleração da gravidade; **β**, o coeficiente de expansão térmica do fluido; **ΔT**, a diferença entre a temperatura da aleta e do fluido; e **ν**, a difusividade cinemática. O coeficiente de expansão térmica corresponde ao inverso da temperatura (absoluta) de filme.

Outros dois números adimensionais envolvidos na convecção natural são o de Prandtl (**Pr**) e o de Rayleigh (**Ra**), assim definidos (INCROPERA, 1992):

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} \quad , \quad . \quad (8)$$

Equação 8 – Número de Prandtl.

$$Ra = Gr \cdot Pr \quad (9)$$

Equação 9 – Número de Rayleigh.

A movimentação do fluido numa interface sólida, num processo de convecção natural, é influenciada pela geometria dessa interface, havendo uma correlação específica, entre os números adimensionais citados, específica para cada geometria. No caso de um cilindro horizontal longo, para  $10^2 < Ra < 10^4$ , é válida a relação (MORGAN, 1975):

$$Nu = 0,85 \cdot Ra^{0,188} \quad . \quad (10)$$

Equação 10 – Relação entre os números de Nusselt e Rayleigh.

O cálculo do coeficiente de película teórico, associado à convecção natural do ar numa barra cilíndrica longa e horizontal, em regime estacionário, é feito a partir das Equações (6 a 10). No intuito de simplificar os cálculos, a temperatura da aleta foi considerada como sendo o valor médio entre a temperatura da sua base e o ar ambiente.

### 2.3.3 RADIAÇÃO E CONVECÇÃO DE CALOR NA SUPERFÍCIE DA ALETA

Outro assunto que merece atenção nesta dissertação é o valor experimental do parâmetro **m**. Em um dos experimentos mais utilizados para o estudo da transferência de calor em aletas, o valor deste parâmetro é obtido a partir dos registros de temperatura ao longo da barra cilíndrica, num ensaio real, e do ajuste da função exponencial descrita na Equação (4) a esse conjunto de registros. A Equação (2) fornece o valor de **h** correspondente ao parâmetro **m** calculado através desse ajuste. Numa etapa final, é confrontado o valor de **h** assim obtido, isto é, de modo experimental, com o valor teórico de **h**; sendo este último calculado a partir das equações (7) a (11).

O balanço térmico tradicionalmente adotado em uma aleta, que resulta na equação diferencial indicada em (1), considera que o calor é transferido da superfície metálica para o ar ambiente exclusivamente por convecção. Tal hipótese não condiz com os resultados do ensaio mencionado, pois podem ocorrer discrepâncias significativas entre o valor experimental de **h** e o valor teórico desse coeficiente. Consequentemente, o modelo proposto

deve ser reformulado, incorporando-se ao balanço original a parcela de calor transferida por radiação.

A taxa de transferência de calor por radiação,  $q_{rad.}$ , entre uma superfície sólida e o ar ambiente pode ser assim expressa:

$$q_{rad.} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (T^4 - T_{amb.}^4) \quad , \quad (11)$$

Equação 11 – Taxa de transferência de calor por radiação.

sendo  $\varepsilon$  e  $\sigma$ , respectivamente, a emissividade da superfície sólida e a constante de Stefan-Boltzmann, cujo valor é  $5,67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$ . A emissividade é um valor numérico entre 0 e 1, e os valores de T e  $T_{amb.}$ , correspondem às temperaturas absolutas, em K, da aleta e do ar ambiente. A convecção do calor é dada pela equação (INCROPERA, 1992):

$$q_{conv} = h \cdot A \cdot (T - T_{amb}) \quad . \quad (12)$$

Equação 12 – Taxa de transferência de calor por convecção.

Somando as equações (11) e (12) e rearranjando os termos obtém-se:

$$q_{rad} + q_{conv} = [h + \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T^2 + T_{amb}^2) \cdot (T + T_{amb})] \cdot A \cdot (T - T_{amb}) \quad (13)$$

Equação 13 – Taxa de transferência de calor por radiação e convecção simultânea.

Os termos entre colchetes correspondem ao coeficiente de película “aparente”, isto é, o valor experimental desse coeficiente obtido a partir do balanço térmico tradicionalmente empregado. Neste ponto, cabe destacar que T é função de x, isto é, sendo variável ao longo da aleta. Neste sentido, adota-se o valor médio de T na aleta, caracterizado como a média aritmética da temperatura de suas extremidades, o que permite reescrever a equação (13) na forma:

$$q_{rad} + q_{conv} = [h + \varepsilon \cdot \sigma \cdot (\bar{T}^2 + T_{amb}^2) \cdot (\bar{T} + T_{amb})] \cdot A \cdot (T - T_{amb}) \quad (14)$$

Equação 14 - Taxa de transferência de calor por radiação e convecção, considerando T média da aleta

Confrontando as equações (12) e (14), é possível definir um coeficiente de película “aparente”,  $h_{aparente}$ , no qual está inserida a contribuição da transferência radiativa de calor na superfície da aleta. Este coeficiente é dado pela expressão abaixo:

$$h_{aparente} = h + \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T^2 + T_{amb}^2) \cdot (T + T_{amb}) \quad (15)$$

Equação 15 – Coeficiente de película “aparente”

Diante do exposto, é possível concluir que quando se deseja considerar a convecção e a radiação simultânea de calor na superfície da aleta, o emprego do coeficiente de película “aparente” nos permite escrever:

$$q_{conv} + q_{rad} = h_{aparente} \cdot A \cdot (T - T_{amb}) \quad (16)$$

Equação 16 – Taxa de transferência de calor por radiação e convecção, h “aparente”

Tendo em vista que a estrutura do lado direito da equação (16) é idêntica à da equação (12); e , considerando que tal estrutura origina a equação diferencial apresentada em (1), conclui-se que o perfil teórico de temperatura em uma aleta é calculado de forma similar nas hipóteses de convecção (sem radiação) e de convecção e radiação simultâneas. Como já mencionado, a equação (6) pode ser utilizada em ambos os casos, ressaltando apenas que, na hipótese de convecção exclusiva, utiliza-se o valor de h; e, na outra hipótese, o valor de  $h_{aparente}$  . É preciso atentar para o fato de que os valores de “m” a serem utilizados são distintos nos dois casos, pois no cálculo deste parâmetro é computado o valor de h.

### 3 METODOLOGIA

O trabalho desenvolvido nessa dissertação é uma pesquisa exploratória e consistiu na elaboração de um experimento didático e de um produto educacional destinado ao ensino da transferência de calor em aletas.

O experimento didático foi concebido a partir da ideia de que os ensaios fossem de fácil execução e com emprego de equipamento de baixo custo. Esses pressupostos tendem a viabilizar a adoção do experimento em diversas instituições de ensino, pois o emprego de equipamentos cujo custo requer um processo de aquisição institucional envolve custos financeiros e trâmites burocráticos que dificultam sobremaneira a oferta da aula experimental planejada.

Além disso, há a necessidade de que os ensaios a serem realizados forneçam resultados quantitativos cujos desvios em relação ao modelo proposto sejam compatíveis com a incerteza inerente a um sistema físico real, bem como aos materiais, equipamentos e instrumentos cotidianamente utilizados na prática de engenharia. Neste ponto, cabe ressaltar que resultados experimentais quantitativos condizentes com as previsões teóricas obtidas com o emprego das fórmulas e equações apresentadas em aulas teórico-expositivas podem contribuir para uma maior participação dos alunos e estimulá-los no aprendizado dos conceitos teóricos e na vinculação destes conceitos com a prática.

De modo geral, o experimento didático foi desenvolvido através da seleção dos materiais, montagem do equipamento e realização dos ensaios. A partir dos resultados obtidos na comparação dos dados experimentais com os valores teóricos fornecidos pelo modelo matemático proposto foram promovidos ajustes no equipamento e nas condições operacionais dos ensaios. Após a conclusão desta primeira etapa, buscou-se elaborar uma proposta de ensino da transferência de calor em superfícies estendidas (aletas), baseada no experimento didático concebido. Dessa forma, a intenção deste trabalho foi desenvolver um produto educacional com atividades voltadas para o estudo teórico e prático da transferência de calor em aletas, tendo como ponto de partida uma aula experimental com emprego de equipamento didático de baixo custo. O produto educacional é composto por um questionário prévio sobre conceitos de transferência de calor, uma videoaula, um uma aula experimental, um questionário final sobre conceitos de transferência de calor em aletas e um questionário de avaliação.

Este produto educacional foi inserido na disciplina de Fenômenos de Transporte II – Transferência de Calor e Massa, ministrada em 2021/2, sob a forma de um minicurso, para alunos dos cursos de Engenharia de Energia e Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia da UERGS tendo inicialmente 27 alunos inscritos.

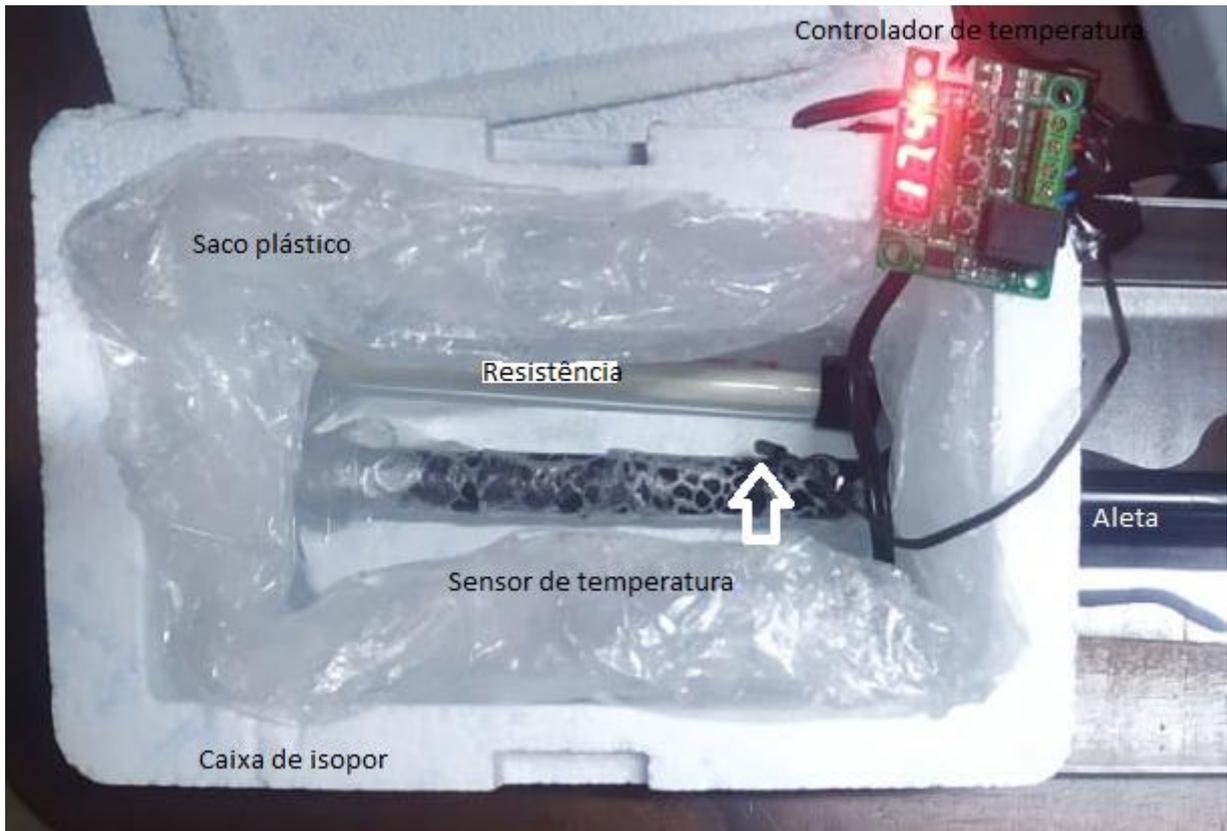
### 3.1 EXPERIMENTO DIDÁTICO

O experimento didático consistiu na criação de um equipamento de baixo custo desenvolvido para realizar ensaios visando determinar o perfil de temperatura em aletas cilíndricas. O equipamento confeccionado pode ser descrito sucintamente como uma haste cilíndrica horizontal, parcialmente inserida no interior de uma caixa de isopor e com sua porção restante exposta ao ar ambiente. O interior dessa caixa estava preenchido com água e ali havia uma resistência elétrica e um controlador de temperatura, de modo a envolver a porção interna da haste imersa em um banho térmico cuja temperatura podia ser regulada.

#### 3.1.1 CONFECÇÃO DO EQUIPAMENTO, AJUSTES E MONTAGEM FINAL

Uma caixa de polipropileno expandido (isopor) com as dimensões de 220x140x180mm foi utilizada, sendo que a opção pelo polipropileno expandido foi devido ao seu baixo custo, facilidade de aquisição e por se constituir em um bom isolante térmico, minimizando assim a dissipação de calor através das paredes dessa caixa. Na face interna da parede lateral de menor área foi engastada a haste (aleta), que se estendia horizontalmente no interior da caixa, transpassava a parede lateral oposta e se projetava para fora numa extensão de 570 mm, conforme pode ser visualizado na **Figura 5**.

Figura 5 - Parte Interna da Caixa com Sistema de Aquecimento e Aleta



Fonte: Elaborada pelo autor, 2021.

A aleta utilizada consistia de uma haste de alumínio com 15mm de diâmetro e 760mm de comprimento total, pintada na cor preta (com tinta *spray* preto fosco). Segundo dados do fabricante da haste, o material trata-se de uma liga de alumínio 6063, que possui um peso específico de 2.710 kg/m<sup>3</sup>, calor específico de 0,21 Cal/g.°C e condutividade térmica de 0,48 Cal/cm.°C. A resistência térmica utilizada é do tipo empregado em aquários, possui uma potência de 100W e pode ser facilmente encontrada no comércio. O controlador de temperatura é um modelo básico comercial com ajustes de *set point* e histerese e utiliza um sensor do tipo NTC.

Cabe aqui ressaltar que um saco plástico foi colocado no interior da caixa de isopor, e ajustado para ocupar todo o espaço interno desta caixa. Essa medida foi tomada para evitar vazamentos de água, pois se observou que, em temperaturas superiores a 70 °C, o isopor irá se expandir e gerar vazamentos de água através dos poros presentes na estrutura deste material. A porção da haste inserida no interior da caixa estava envolvida externamente pelo saco plástico.

A colocação de placas de acrílico, posicionadas lateralmente ao longo de toda a extensão da aleta, foi outro ajuste que se fez necessário. A inserção desta peça teve como

objetivo direcionar o escoamento do ar ambiente, que é induzido pela aleta aquecida e apresenta um movimento vertical ascendente; e, além disso, minimizar a interferência de correntes de ar presentes no local, ou produzidas pela movimentação de pessoas e objetos no entorno da aleta. As placas utilizadas foram posicionadas a 10 mm acima do nível da base da caixa de isopor e sua altura era de 100 mm. A colocação de cantoneiras e de uma placa adicional na extremidade livre da aleta possibilitou uma melhor fixação da haste na caixa, conforme pode ser observado na **Figura 6**, minimizando tensões no ponto de engaste desta haste na face interna da parede de isopor e reduzindo ainda mais a influência de correntes de ar indesejáveis no entorno da aleta.

Para a realização das medidas da temperatura ao longo da aleta foi utilizada uma câmera térmica da marca FLIR, modelo TG165. A fixação desta câmera num tripé e o posicionamento deste sobre um trilho de alumínio consistiu em mais um ajuste cuja necessidade foi constatada durante a realização dos ensaios iniciais. Este procedimento foi adotado no intuito de minimizar a incerteza associada à medição da distância entre o ponto de registro e a base da aleta, garantindo que a câmera percorresse um percurso único ao longo da aleta e, através de marcações no trilho, possibilitando uma medição mais precisa dessa distância.

Na **Figura 6** é apresentado o equipamento confeccionado após a realização dos ajustes necessários, ilustrando a montagem final utilizada na realização dos ensaios.

Figura 6 - Caixa de Isopor, Câmera Térmica, Estrutura de Acrílico e Trilho Guia da Câmera



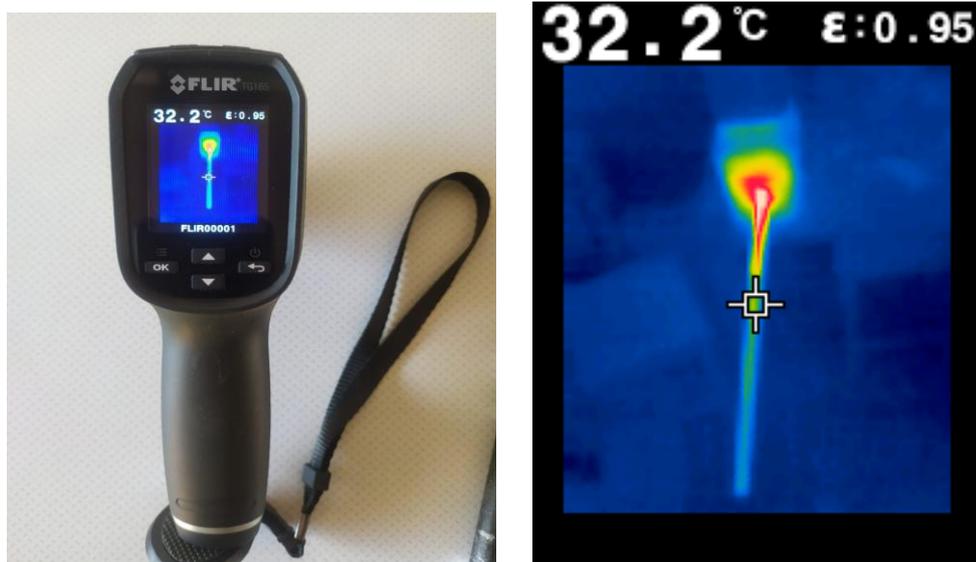
Fonte: Elaborada pelo autor, 2021.

A câmera termográfica empregada possui uma faixa de medição de temperatura de  $-25^{\circ}\text{C}$  até  $300^{\circ}\text{C}$ , precisão de  $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$  na faixa de medição de  $50^{\circ}\text{C}$  a  $100^{\circ}\text{C}$ , resolução de  $0,1^{\circ}\text{C}$  e tempo de resposta de 150ms. Com essa câmera foi possível efetuar as medidas da temperatura ao longo da aleta sem contato, pois a mesma possui um sensor infravermelho. É importante ressaltar que a câmera tem no centro da tela um sinalizador que indica o ponto no qual está sendo realizada a medição da temperatura, conforme ilustrado na **Figura 7** na qual se visualiza a câmera térmica e uma imagem gerada pela mesma.

A Tabela 1 apresenta os custos dos materiais e instrumentos necessários para a realização dos ensaios, sendo nela destacado o item correspondente à câmera termográfica, cujo custo é muito superior aos demais itens ali discriminados. Cabe aqui ressaltar, que o emprego deste instrumento facilita sobremaneira a realização dos ensaios, possibilitando o registro de uma grande quantidade de pontos espaçados ao longo da aleta. A utilização de sensores do tipo PT100 ou termopares, alternativa que se contrapõe ao uso da câmera termográfica, implicaria na necessidade da realização de orifícios ao longo da haste para a

introdução destes instrumentos de medição, dificultando a montagem do equipamento e reduzindo significativamente o número de registros obtidos num ensaio. Além disso, a necessidade de acoplamento destes sensores a um equipamento que possibilitasse a visualização dos valores de temperatura registrados seria uma dificuldade adicional na montagem do experimento.

Figura 7 - Câmera Térmica e Imagem Gerada pela Mesma



Fonte: Elaborada pelo autor, 2021.

Tabela 1 - Características dos Materiais e Instrumentos Utilizados nos Ensaio

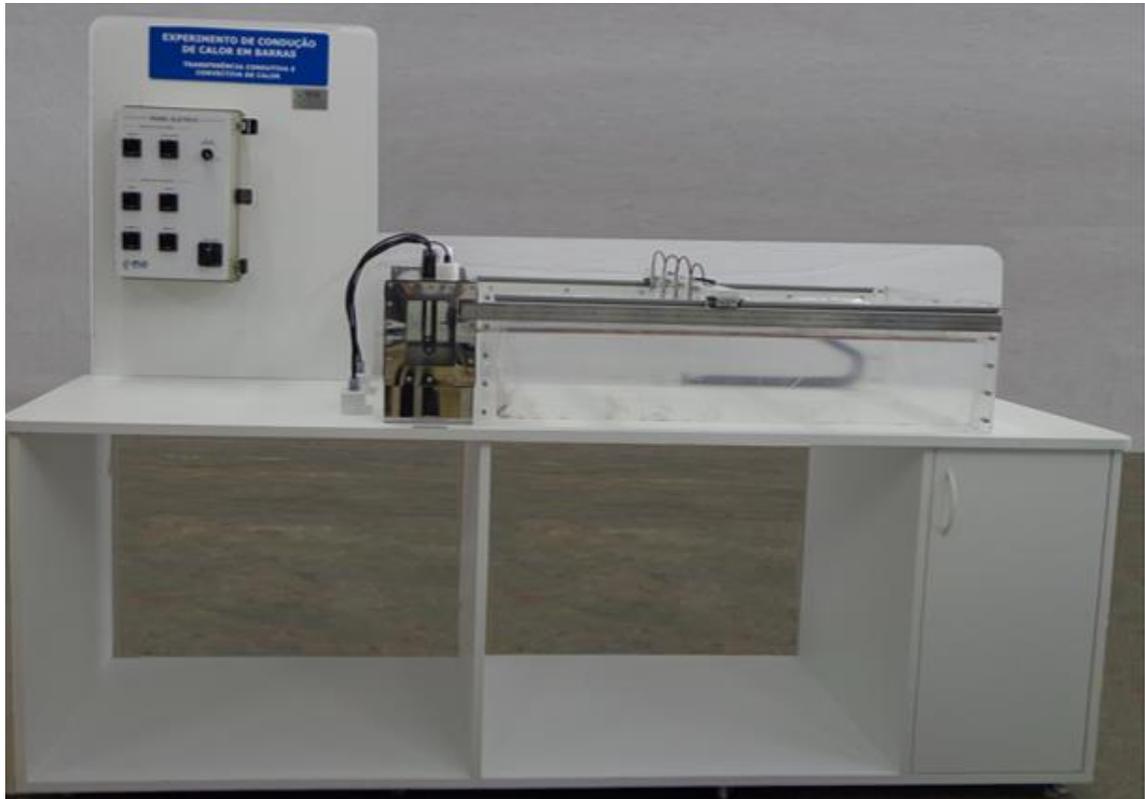
Recursos	Quantidade	Custo (R\$)
Caixa de isopor	1	6,00
Controlador de temperatura	1	25,00
Aquecedor (100W)	1	40,00
Fonte de alimentação 12V	1	15,00
Barra de alumínio (750mm x 15mm)	1	36,00
Câmera térmica FLIR TG165	1	2500,00
Base de acrílico	1	80,00
Tripé	1	60,00
Trilho de alumínio	1	30,00
TOTAL		2778,00

Fonte: Elaborada pelo autor, 2021.

Nas **Figura 8** e **Figura 9** pode-se visualizar um produto comercial empregado para realizar experimentos práticos com aletas, ofertado por uma empresa que fabrica

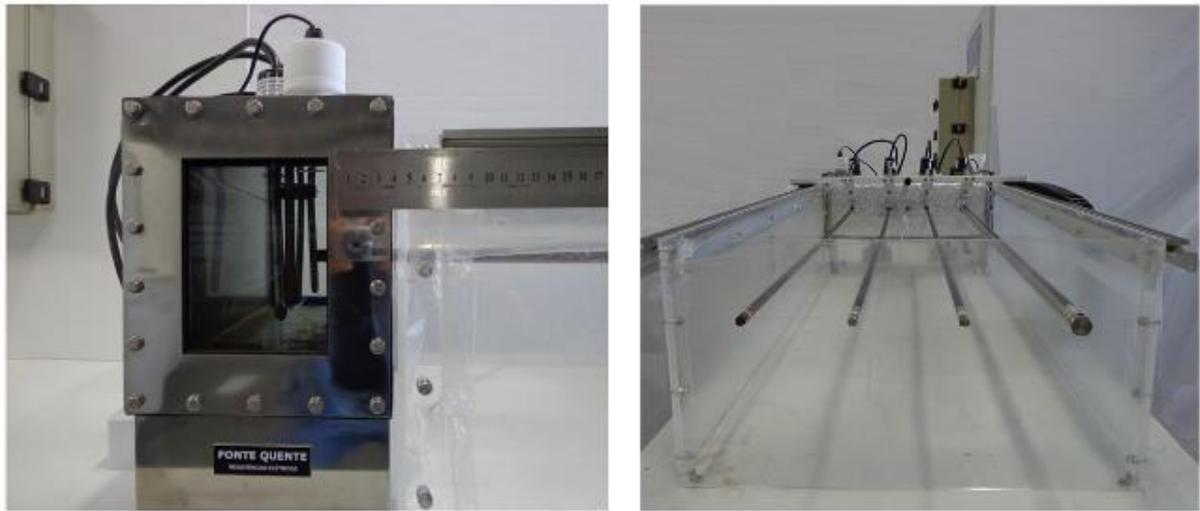
equipamentos didáticos. O custo deste equipamento é de R\$ 52.322,01 conforme orçamento apresentado pela empresa mediante solicitação do pesquisador, no ano de 2020.

Figura 8 - Imagem de uma bancada comercial usada para ensaios de registro de temperatura em barras cilíndricas (aletas).



Fonte: [www.ecoeducacional.com.br](http://www.ecoeducacional.com.br), 2020.

Figura 9 – Imagem ampliada do banho térmico (à esquerda) e vista lateral do equipamento junto à extremidade livre das aletas.



Fonte: [www.ecoeducacional.com.br](http://www.ecoeducacional.com.br), 2020.

Nas imagens apresentadas é possível constatar que este equipamento é dotado de uma caixa metálica, no interior da qual estão fixadas as aletas, contendo um banho térmico para controle de temperatura. A presença de uma estrutura móvel acima do conjunto de aletas realiza o registro e armazenamento dos dados de temperatura ao longo dessas aletas. Uma melhor compreensão do funcionamento deste equipamento pode ser obtida acessando o vídeo disponível no endereço eletrônico: <https://www.youtube.com/watch?v=DrdNTN0mz3k>.

Em resumo, os ensaios ali realizados destinam-se à obtenção do perfil experimental de temperatura em aletas, objetivo idêntico ao experimento didático elaborado durante o trabalho realizado nesta dissertação.

### 3.1.2 REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS

Efetuada a montagem inicial, com a inserção e fixação da haste metálica na caixa de isopor, seu interior foi preenchido com água e o controlador foi ajustado para fixar a temperatura do banho térmico. Ao atingir a temperatura ajustada, aguardou-se um tempo para a estabilização do perfil térmico ao longo da aleta e iniciou-se o registro das temperaturas, movimentando-se a câmera térmica sobre o trilho, ao longo de toda a extensão da aleta, sendo estabelecido uma série de 3 medições em cada ponto durante a realização de um ensaio.

Após a execução dos ajustes necessários, descritos na seção 3.1.1, e a montagem final do experimento, foram realizados ensaios nos quais a temperatura do banho térmico foi mantida na faixa de 55 a 85°C, e fixado um intervalo de 5°C entre eles, num total de sete ensaios. O intervalo de tempo de espera para iniciar o registro de temperaturas na aleta, após o banho térmico atingir a temperatura ajustada, foi de 30 minutos, sendo este valor determinado empiricamente, a partir de uma longa série de ensaios iniciais.

Os registros de temperatura foram efetuados em 31 pontos distintos ao longo da aleta; sendo estabelecido um espaçamento de 1 cm entre os pontos “1” e “13”; 2 cm, entre os pontos “13” e “22”; e, 3 cm, entre os pontos “22” e “31”. Os valores registrados foram anotados e posteriormente transferidos para a planilha *Excel*. Na Tabela 2 são apresentados os dados experimentais obtidos para o ensaio cuja temperatura do banho térmico foi fixado em 65°C.

Na sequência é apresentado um gráfico, ilustrado na **Figura 10**, no qual são comparados os dados experimentais obtidos com os valores de temperatura previstos nos dois modelos teóricos descritos na seção 2.3. Os valores dos resultados experimentais e correspondentes aos modelos “i” e “ii” da seção 2.3.3 estão indicados, respectivamente, nas curvas azul, laranja e cinza desta figura.

Tabela 2 – Dados experimentais para temperatura de banho 65 °C

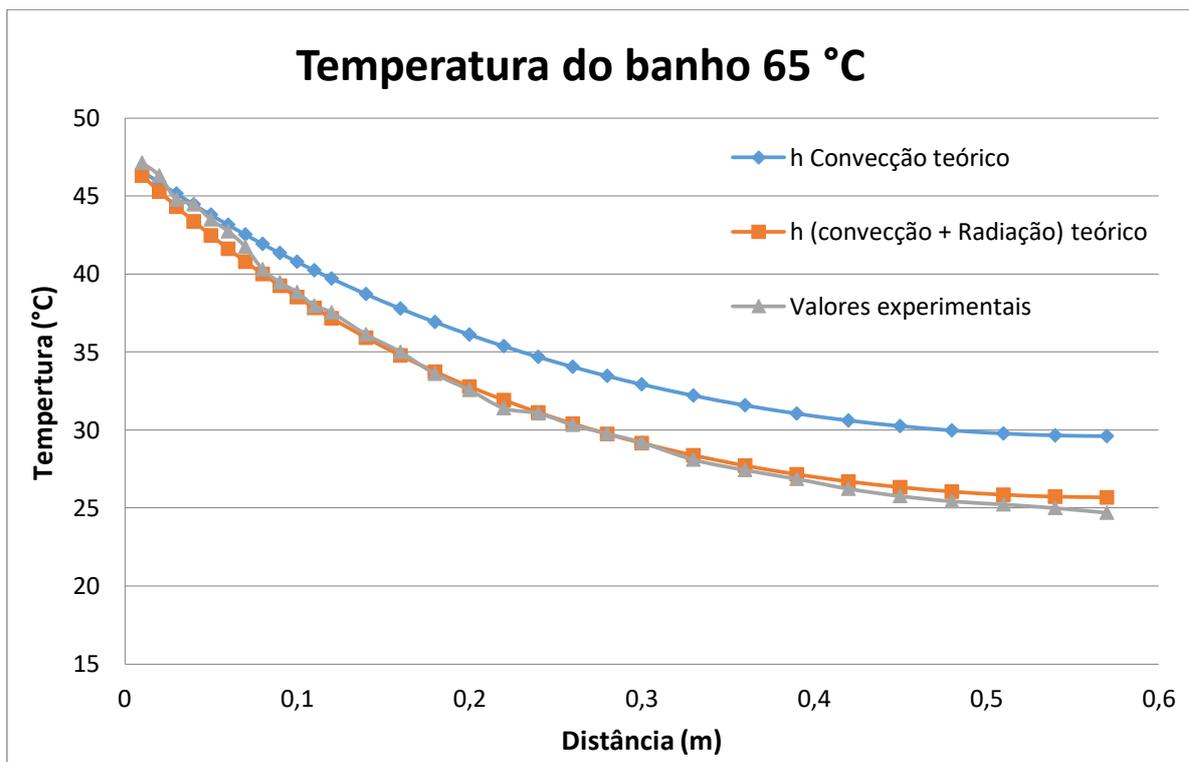
<b>Temperatura ambiente = 17,5 °C</b>					
		<b>Temperatura do Banho °C</b>			
<b>Ponto</b>	<b>Distância</b>	<b>65</b>			<b>média</b>
1	0	49,2	48,5	48,3	48,7
2	1	48,0	48,2	47,2	47,8
3	2	46,7	46,4	45,8	46,3
4	3	45,3	45,3	44,4	45,0
5	4	44,0	44,1	43,9	44,0
6	5	43,5	43,5	43,3	43,4
7	6	42,5	43,0	42,7	42,7
8	7	41,2	41,8	41,8	41,6
9	8	39,7	40,8	40,3	40,3
10	9	39,3	39,9	39,7	39,6
11	10	38,7	39,3	39,2	39,1
12	11	37,4	38,3	37,7	37,8
13	12	37,0	37,4	37,2	37,2
14	14	35,2	35,3	35,4	35,3
15	16	33,8	33,4	33,2	33,5
16	18	32,7	32,3	31,4	32,1
17	20	31,2	30,8	31,2	31,1
18	22	29,0	29,6	29,8	29,5

19	24	28,8	29,0	28,5	28,8
20	26	28,3	27,9	28,0	28,1
21	28	27,6	27,0	27,0	27,2
22	30	26,8	26,7	26,3	26,6
23	33	25,9	25,5	25,5	25,6
24	36	25,0	24,1	24,4	24,5
25	39	24,4	24,0	23,8	24,1
26	42	23,7	23,3	23,1	23,4
27	45	23,2	22,7	22,8	22,9
28	48	23,0	22,3	22,3	22,5
29	51	22,7	22,1	22,0	22,3
30	54	22,3	21,5	21,6	21,8
31	57	21,8	20,0	20,0	20,6

Fonte: Dados da Pesquisa, 2021.

Os dados experimentais indicados na **Tabela 2** e os gráficos apresentados na **Figura 10**, bem como os dados e gráficos obtidos nos demais ensaios realizados, são apresentados no **Apêndice 1**.

Figura 10 – Dados Experimentais x Valores Teóricos para 65 °C



Fonte: Dados da Pesquisa, 2021.

Os ajustes realizados durante a realização dos ensaios iniciais foram necessários para que os dados experimentais obtidos fossem condizentes com o modelo teórico, de modo a produzir um resultado quantitativo satisfatório. Esta condição foi postulada como fundamental para tornar o produto educacional mais atrativo e confiável ao aprendiz, na medida em que ele foi construído a partir de um experimento didático de caráter quantitativo, no qual se espera que os ensaios realizados possam reproduzir, com razoável precisão, os resultados teóricos previstos pelas equações e fórmulas matemáticas aplicáveis a tais ensaios.

O emprego de um equipamento de baixo custo foi postulado como condição fundamental para uma maior divulgação do trabalho e sua adoção como estratégia de ensino do tópico “estudo da transferência de calor em aletas” em muitas outras instituições de ensino; pois, caso o experimento didático exigisse a aquisição de um equipamento de custo elevado, de difícil aquisição, instalação ou manutenção, a adoção da estratégia de ensino proposta seria inviabilizada.

Antes de iniciar a descrição da metodologia utilizada na elaboração do produto educacional, cabe aqui destacar que a realização de aulas práticas, nas quais a participação e o engajamento dos alunos tende a ser maior, não se constitui uma garantia de um aprendizado mais eficiente do assunto tratado ou, até mesmo, de uma análise e interpretação adequada dos fenômenos observados durante a realização dos ensaios experimentais. A formulação de uma estratégia de ensino adequada ao assunto abordado é tão importante quanto à realização da atividade experimental em si.

### 3.2 ELABORAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

O embasamento teórico adotado como ponto de partida para a elaboração do produto educacional foi a Teoria da Aprendizagem Significativa, mais especificamente no que diz respeito à ativação de subsunçores; sendo o termo “subsunçor”, conforme a definição dada por Ausubel (1980), na citação de Moreira (2011): “Conhecimento específico, existente na estrutura de conhecimentos do indivíduo, que permite dar significado a um novo conhecimento.” A importância desse conhecimento prévio é relevante no aprendizado e, na visão de Ausubel (2000), “o fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já sabe”. Nesse contexto, foi planejada a elaboração de um questionário prévio, como atividade inicial da sequência didática a ser construída.

No que diz respeito ao enfoque centrado no experimento didático, esta escolha está embasada nas ideias de Vigotsky (1991), segundo as quais a construção do conhecimento ocorre através de relações entre seres humanos, com base num contexto social, histórico e cultural (Moreira, 2014). Assim, a realização de aulas experimentais propicia a essa inter-relação entre indivíduos; pois promove, além da interação aluno-professor, o diálogo e a discussão dos alunos entre si. Além disso, é no laboratório que se amplia a possibilidade do aprendiz relacionar seus conceitos prévios com os de cunho científico e próprios do ambiente escolar (Rosa, 2003).

Diante do exposto, a segunda atividade a ser inserida na sequência didática foi uma apresentação teórica, de curta duração, na forma de um vídeo explicativo da teoria concernente ao experimento didático. O formato adotado visou privilegiar um fácil acesso ao conhecimento; e, além disso, delimitar o conteúdo teórico a ser apresentado, evitando uma sobrecarga de informações, cuja principal consequência seria desestimular o aluno na absorção dos conhecimentos necessários à aprendizagem do assunto abordado.

A partir desse ponto, o aluno dispunha das informações necessárias à compreensão do fenômeno a ser observado nos ensaios, de modo que a próxima atividade consistiu na realização do experimento didático. Essa atividade, como todas as demais, foi realizada de forma remota, tendo em vista as restrições impostas pela pandemia COVID-19. As vantagens e desvantagens, reais e potenciais, que foram constatadas ao se confrontar uma aula experimental na modalidade presencial com a remota serão relatadas na seção 4 deste trabalho. Essa análise será extensiva à comparação da modalidade remota e presencial das demais atividades presentes na sequência didática formulada.

O caráter quantitativo e a (relativamente) longa rotina de cálculos necessária para obter os perfis teóricos de temperatura na aleta levou a elaboração de um vídeo específico, no qual essa rotina foi detalhada a partir de um exemplo numérico, inserido numa planilha *Excel*, disponibilizada aos alunos.

Um questionário final, visando avaliar o aprendizado, foi a penúltima atividade do produto educacional. Cabe aqui ressaltar que a inserção desta atividade tem como objetivo verificar, a partir do desempenho dos alunos, a eficácia da estratégia de ensino contida na sequência didática planejada. Segundo Hoffmann (2014), “Em um processo de aprendizagem toda resposta do aluno é ponto de partida para novas interrogações ou desafios do professor.” Obviamente que todo processo de avaliação incute algum desconforto nos alunos, pois seu desempenho será mensurado e, também, confrontado com o desempenho dos demais colegas.

Contudo, não há como evitar a necessidade de avaliação de conhecimentos, mesmo quando apenas se busca a melhora de todo o processo educativo, como foi feito em relação ao questionário final proposto nessa atividade.

A última atividade consistiu de uma pesquisa de opinião, abordando aspectos relativos ao grau de dificuldade, número de itens (ou questões), duração e pertinência das atividades propostas.

As limitações decorrentes da COVID-19 levou à integração de todas as atividades propostas em um **minicurso**, intitulado “Estudo experimental da transferência de calor em aletas com emprego de equipamento de baixo custo”, que foi disponibilizado aos alunos através do ambiente de aprendizagem virtual *Moodle*. As atividades que compõem o produto educacional proposto foram elaboradas de modo a viabilizar sua realização de forma remota. Na próxima seção são descritas algumas características e peculiaridades destas atividades.

Dentre os fatores determinantes na implantação de um minicurso, destaca-se a utilização, de forma institucional, do ambiente *Moodle* na UERGS e o fato do professor orientador estar ministrando, de forma remota, a disciplina de Transferência de Calor para alunos desta instituição. No intuito de ampliar o número de participantes, e assim obter uma avaliação mais ampla do produto educacional elaborado, o minicurso foi ofertado a todos os alunos que já tivessem concluído essa disciplina e aos alunos do PPGSTEM/Guaíba. Assim, foram inscritos um total de 27 participantes, sendo que 17 deles executaram todas as atividades propostas.

### 3.2.1 DETALHAMENTO DAS ATIVIDADES

O questionário prévio foi elaborado para avaliar o conhecimento do grupo como todo e, simultaneamente, ativar os conhecimentos prévios dos alunos (subsunçores, na terminologia da Aprendizagem Significativa), a partir da proposição de questões acerca de tópicos e conceitos fundamentais envolvendo a transferência de calor, seus mecanismos e, noções básicas relativas ao fluxo de calor e perfil de temperatura em uma aleta. O questionário, aplicado de forma *on line*, e cujo acesso foi inicialmente franqueado por um prazo de alguns dias (e, posteriormente ampliado em uma semana), abarcava os seguinte tópicos:

- Conceitos de transferência de calor;
- Mecanismos de transferência de calor;

- Princípios e fundamentos da transferência de calor, parâmetros físicos e equações;
- Transferência de calor em aletas.

Dentro da plataforma *Moodle* foi gerado um banco de questões para cada tópico e depois foram geradas questões distintas para cada aluno.

Este questionário foi aplicado ao grupo de alunos que participou do curso de extensão “Estudo experimental da transferência de calor em aletas com emprego de equipamento de baixo custo” que foi oferecido na modalidade EAD. Os dados obtidos foram analisados no item 4 desta análise. Já o questionário encontra-se no Apêndice 2.

A videoaula teórica com a finalidade de apresentar o assunto sobre transferência de calor em aletas aos alunos através de uma abordagem audiovisual, pois, como foi mencionado anteriormente, audição e visão são os sentidos que se mostram mais efetivos no aprendizado, com índices de 11 e 83%, respectivamente, segundo Freitas (2009).

O vídeo foi planejado para ter uma duração de aproximadamente 20 minutos, tendo em vista que a atenção e o interesse do telespectador diminuem consideravelmente com o passar do tempo. A ideia central dessa atividade é fixar conceitos e princípios teóricos, relativos à transferência de calor e sua aplicação em superfícies estendidas, a partir de fenômenos do cotidiano, relacionando equações e imagens de fenômenos do cotidiano. Essa parte inicial do vídeo é sucedida pela descrição do equipamento e do roteiro de execução dos ensaios.

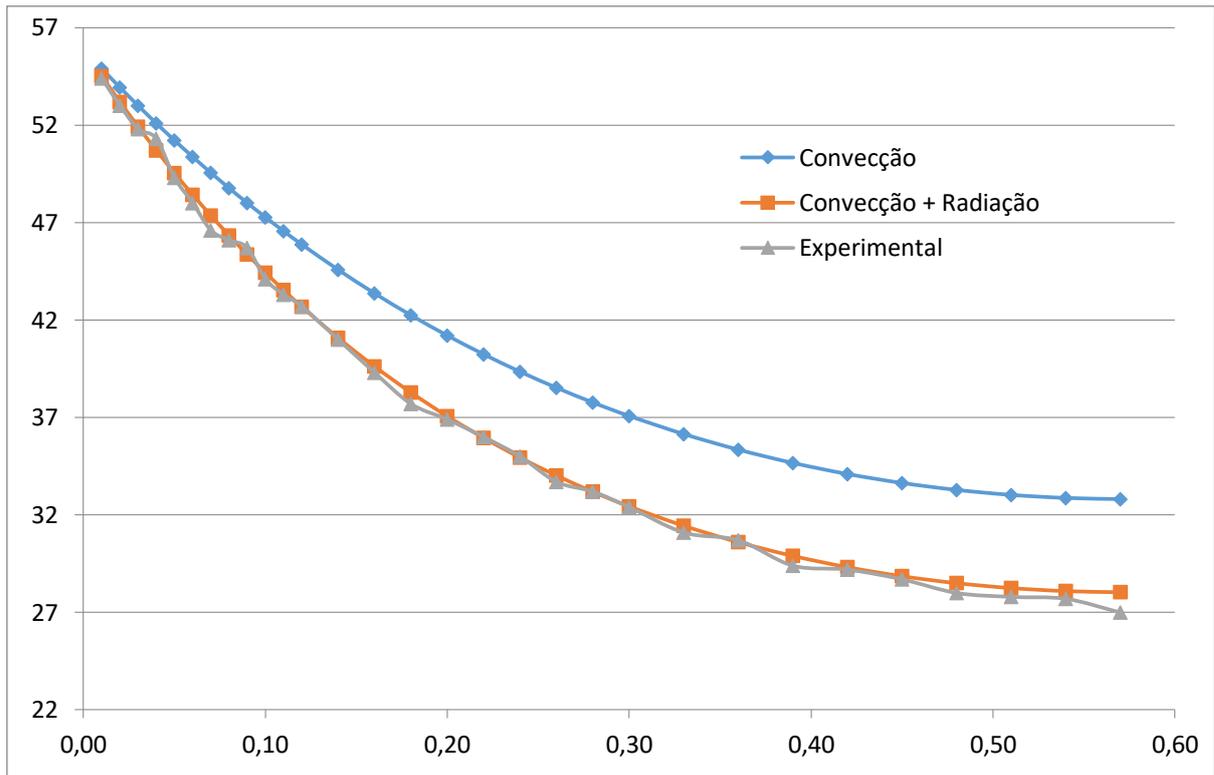
A inclusão de um vídeo, cujo acesso está disponível em <https://youtu.be/16VYbOPojSs>, e que permaneceu acessível aos alunos ao longo de praticamente todo o minicurso, foi pensada levando em conta que cada aluno aprende de uma maneira e ao seu tempo; e, assim, poderia acessar o conteúdo do vídeo sempre que julgasse conveniente. A apresentação audiovisual tem como objetivo auxiliar os alunos na reformulação de suas concepções teóricas acerca da transferência de calor. Cabe aqui ressaltar ainda que eventuais dúvidas surgidas durante a realização do questionário inicial, e que não fossem esclarecidas ao assistir a videoaula, seriam dirimidas com o professor, na aula experimental.

Considerando também o período atual de pandemia da COVID-19, onde aulas presenciais estavam impossibilitadas e os participantes já haviam se acostumado com o aprendizado remoto a partir de videoaulas assíncronas, a realização dessa atividade não causou estranheza ou desconforto aos participantes.

Uma aula experimental é planejada e executada para que o aluno possa realizar os ensaios previstos utilizando os equipamentos e instrumentos necessários, seguindo um roteiro previamente definido pelo professor. No entanto, considerando o período de pandemia, esta aula foi conduzida pelo pesquisador mediante uma sessão *online*, via plataforma *Google Meet*, realizada no dia 30 de setembro de 2021. Para a execução desta atividade, experimento didático foi montado e previamente testado.

A aula foi iniciada fazendo-se uma descrição do equipamento, detalhando as partes componentes do mesmo com auxílio de uma câmera, neste momento os alunos puderam questionar sobre o equipamento. Na sequência foi realizado o experimento prático. A câmera térmica foi posicionada no início da aleta e foram anotadas as temperaturas ao longo da aleta numa planilha *Excel* previamente formatada onde eram realizados os cálculos teóricos dos coeficientes de película a partir dos dados iniciais de temperatura ambiente e da temperatura na base da aleta. Os dados assim obtidos foram plotados num gráfico, que foi visualizado pelos alunos. Na medida em que os dados experimentais iam sendo gerados, estes eram inseridos na planilha e também plotados junto ao gráfico dos dados teóricos, para fins de comparação. Este gráfico gerado durante a aula experimental pode ser visualizado na **Figura 11**, onde no eixo das abscissas tem-se a distância do ponto de registro até a base da aleta (cm) e, na ordenada, a temperatura registrada ( $^{\circ}\text{C}$ ). Toda a aula experimental foi gravada, e a planilha de cálculo gerada com os dados obtidos na realização dos ensaios foi disponibilizada aos alunos.

Figura 11- Gráfico Gerado na Aula Experimental



Fonte: Dados da Pesquisa, 2021.

O questionário final foi criado para avaliar o conhecimento adquirido pelos alunos no que diz respeito ao assunto abordado no minicurso. A ideia era avaliar o grupo de alunos como um todo; e, dessa forma, a partir de uma comparação com o desempenho do grupo no questionário inicial, estimar a eficiência do produto educacional elaborado. Esta avaliação, assim como o questionário inicial, também foi criada dentro do ambiente *Moodle*, através de um banco de questões no qual havia várias versões de cada item do questionário final. Assim, cada acesso ao questionário gerava, de forma aleatória, um conjunto distinto de questões, de modo que todos os alunos responderam questionários diferentes.

Esta atividade era constituída de 27 questões, abordando os seguintes tópicos:

- Conceitos de calor e temperatura;
- Transferência de calor;
- Mecanismos de transferência de calor;
- Transferência de calor em aletas;
- Perfil de temperatura em aletas.

Para avaliar o produto educacional, foi elaborada uma pesquisa de opinião, na qual os participantes foram questionados sobre as atividades realizadas e convidados a redigir seus comentários, críticas ou sugestões. O questionário prévio foi avaliado quanto ao número de questões, conteúdo abordado e grau de dificuldade. Quanto à videoaula, buscou-se avaliar o tempo de duração, a linguagem utilizada e a qualidade geral da mesma. Procurou-se saber também se, na visão do aluno, a integração dessas atividades, e a sequência na qual foram ordenadas, facilitou ou dificultou o aprendizado. Este questionário era constituído por 12 questões, apresentadas no Apêndice 4.

#### 4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O trabalho aqui apresentado buscou elaborar um produto educacional voltado para o estudo da transferência de calor em superfícies estendidas (aletas), à luz da Teoria da Aprendizagem Significativa. A sequência didática das atividades que integram este produto educacional foi construída num enfoque experimental, a partir da realização de uma aula prática com emprego de equipamento didático de baixo custo.

O produto educacional desenvolvido neste trabalho foi elaborado visando sua aplicação na forma de um **minicurso**, intitulado “Estudo Experimental da Transferência de Calor em Aletas com emprego de Equipamento de Baixo Custo”, destinado ao ensino teórico e prático da transferência de calor em aletas. Este minicurso foi inserido na disciplina de Fenômenos de Transporte II – Transferência de Calor e Massa, ministrada em 2021/2 para alunos dos cursos de Engenharia de Energia e Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia da UERGS.

No minicurso proposto, o questionário inicial e a videoaula são as duas primeiras atividades da sequência didática formulada e, ao realizar tais atividades, o aprendiz revisa seu conhecimento prévio e ativa os subsunçores relativos ao tema “Transferência de Calor”. A reformulação de sua estrutura cognitiva sobre o assunto tende a ocorrer, simultaneamente, na videoaula teórica e na aula experimental, sendo que nesta última atividade a interação com os demais colegas e com o professor é estimulada. Os ensaios realizados na aula experimental servem para gerar estímulos cognitivos aos alunos, possibilitando a criação de uma atmosfera educacional propícia à extensão do saber, na perspectiva de Moreira (2011) e Abib e Araújo (2003).

A estratégia de ensino adotada foi de caráter experimental, com a realização de ensaios quantitativos em um equipamento de baixo custo, concebido e construído para viabilizar o experimento didático proposto. Assim, a confecção e ajustes no equipamento, bem como a otimização das condições operacionais dos ensaios, constituiu uma parcela significativa do trabalho. Conseqüentemente, neste capítulo serão avaliados os resultados quantitativos do Experimento Didático elaborado e, também, uma análise qualitativa e quantitativa do produto educacional a ele vinculado.

#### 4.1 EXPERIMENTO DIDÁTICO

Nesta seção serão avaliados os resultados quantitativos obtidos nos ensaios, sendo que análises de caráter didático ou pedagógico do experimento serão descritas na seção relativa ao produto educacional.

Inicialmente, cabe ressaltar que resultados experimentais condizentes com as previsões teóricas é um tópico relevante para a estratégia de ensino adotada. Além disso, o emprego de equipamento de baixo custo tende a facilitar a adoção do experimento proposto por um maior número de instituições de ensino. Isso pode ser observado quando o autor trabalhou a disciplina de sistemas microprocessados na Fundação Liberato, e nesta disciplina foram empregados equipamentos produzidos pelos próprios alunos, permitindo assim eles poderem desenvolver seus experimentos em suas próprias casas, não dependendo de equipamentos da escola ou de terceiros e, na visão do autor, isso “desmistifica” o ensino experimental. Isto ocorre na medida em que o aluno percebe que equações e fórmulas com algum grau de complexidade podem ser empregadas para simular o comportamento de um sistema físico real (simples) do seu cotidiano.

Na Tabela 3 são apresentadas as condições operacionais dos ensaios realizados e os valores calculados para os coeficientes de película teórico e aparente,  $h$  e  $h_{\text{aparente}}$ , respectivamente. Inicialmente, é calculada a temperatura média da aleta,  $T_{\text{média}}$ , cujo valor correspondente à média aritmética das temperaturas em suas extremidades,  $T_0$ , e  $T_L$ . Na sequência é calculada a temperatura de filme,  $T_{\text{filme}}$ , cujo valor é a média aritmética entre  $T_{\text{média}}$  e  $T_{\text{amb}}$ . O valor da temperatura do banho térmico,  $T_{\text{banho}}$ , é uma condição operacional importante, mas serve apenas como referência e não é utilizado nos cálculos. Finalmente, com o emprego do conjunto de equações (6) a (14), são calculados os valores de  $h$  e  $h_{\text{aparente}}$ , também foram inseridos nesta tabela.

Tabela 3 - Condições Operacionais e Valores Calculados para os coeficientes de Película.

Ensaio	$T_{\text{banho}}$ (°C)	$T_0$ (°C)	$T_L$ (°C)	$T_{\text{média}}$ (°C)	$T_{\text{filme}}$ (°C)	$T_{\text{amb.}}$ (°C)	$h$ (W/m <sup>2</sup> .K)	$h_{\text{aparente}}$ (W/m <sup>2</sup> .K)
I	55	44,3	24,1	34,20	27,55	20,9	7,05	12,90
II	60	47,4	24,7	36,05	28,48	20,9	7,22	13,13
III	65	50,4	22,5	36,45	27,48	16,5	7,61	13,41
IV	70	56,4	27,1	41,75	31,37	21,0	7,66	13,74
V	75	57,4	21,7	39,55	27,73	15,9	7,86	13,73
VI	80	61,0	22,6	41,80	28,60	15,4	8,02	13,94
VII	85	73,4	26,3	49,85	33,17	16,5	8,37	14,57

Fonte: Dados da Pesquisa, 2021.

Os valores de  $h$  e  $h_{\text{aparente}}$  resultantes foram inseridos nas equações (2) (3) e (7), de modo a obter o valor teórico da temperatura ao longo da aleta, nas hipóteses associadas aos modelos teóricos discutidos, isto é:

- i. calor transferido exclusivamente por **convecção** na superfície da aleta;
- ii. calor transferido simultaneamente por **convecção e radiação** na superfície da aleta.

Conforme já mencionado, os perfis de experimentais de temperatura (média aritmética dos três registros observados, para um mesmo ponto, em cada ensaio) e os perfis teóricos correspondentes aos modelos dos itens “i” e “ii” foram plotados em um gráfico; sendo que os sete gráficos assim obtidos, bem como as tabelas com as três medições experimentais e os perfis teóricos, são apresentados no Apêndice 1. Analisando esses gráficos, pode-se observar, de forma bastante clara, que os perfis teóricos de temperatura associados à formulação “ii”, nas condições operacionais indicadas na Tabela 3, apresentam menores desvios em relação aos resultados obtidos nos ensaios do que os perfis teóricos associados à formulação “i”.

Cabe destacar o fato que os valores de  $h_{\text{aparente}}$  são bem maiores que os correspondentes valores de  $h$ , conforme indicado nesta tabela, indicando que o coeficiente de película associado à contribuição radiativa é da mesma magnitude que o coeficiente de película teórico. Consequentemente, a contribuição radiativa é relevante e não pode ser desprezada na transferência de calor em aletas expostas ao ar ambiente, em regime permanente e sob convecção natural, na faixa de temperatura na qual os ensaios foram realizados.

Segundo Mueller e Abu-Mulaweh (2006), a contribuição radiativa é da ordem de 15 a 20% do total de calor transferido em uma aleta cilíndrica horizontal longa, exposta ao ar

ambiente. A contribuição radiativa pode ser ainda maior, se a emissividade da superfície exposta ao ar for elevada. Em trabalhos envolvendo a dissipação de calor em um objeto sólido aquecido e exposto ao ar ambiente, sob convecção natural, quando se despreza a contribuição radiativa na transferência do calor, o coeficiente convectivo de transferência de calor obtido experimentalmente pode ser significativamente maior que seu valor teórico, sendo tipicamente superior a 30% (MIRANDA; GONÇALVES, 2016). De outra forma, quando se incorpora a contribuição radiativa no cômputo do calor transferido na interface sólida, as diferenças são significativamente menores, sendo tipicamente inferiores a 20% (GARCIA *et al.*, 2017 b).

O autor ressalta que a ideia de incorporação da contribuição radiativa no cômputo do calor transferido na superfície da aleta, detalhada na seção 2.3.3, nos permite obter um modelo teórico que se distingue daquele tradicionalmente utilizado na análise perfil de temperatura e na determinação do coeficiente de película experimental associado à transferência de calor numa aleta. Os modelos teóricos mencionados, caracterizados conforme os itens “i” e “ii”, foram utilizados para avaliar o valor do coeficiente de película, com base no perfil experimental de temperatura obtido em aletas cilíndricas (GARCIA *et al.*, 2020). Os dados experimentais foram obtidos a partir de ensaios realizados com um equipamento similar, porém numa versão mais antiga daquele ilustrado nas **Figura 8** e **Figura 9**; ressaltando que o equipamento empregado para obtenção desses dados fazia o registro de temperatura em 10 pontos fixos ao longo das aletas, utilizando termopares inseridos em orifícios situados nesses pontos. Os resultados obtidos neste trabalho demonstram claramente que o cômputo da contribuição radiativa permite estimar um valor de  $h$  experimental muito mais próximo do teórico do que o valor estimado com base na hipótese de transferência de calor puramente convectiva na superfície exposta da aleta

Na Tabela 4, são apresentados os desvios entre os dados experimentais, correspondentes ao valor médio dos três registros efetuados em cada um dos pontos fixados ao longo da aleta, e as previsões baseadas nos dois modelos teóricos foram assim calculados:

- A. **média aritmética das diferenças** entre valor experimental e teórico nos 30 pontos de registro, em cada um dos ensaios realizados.
- B. **média aritmética do módulo das diferenças** entre valor experimental e teórico nos 30 pontos de registro, em cada um dos ensaios realizados.

Inicialmente, o fato de que o modelo associado ao item “ii” apresenta desvios significativamente menores que os do item “i” fica bastante evidente, conforme já ilustrado na

**Figura 11** e nos gráficos correspondentes aos demais ensaios (Apêndice 1). Um segundo aspecto diz respeito aos valores das diferenças médias normais e absolutas que, na condição “ii”, são significativamente distintos entre si, caracterizando a oscilação do perfil experimental sobre a curva correspondente ao perfil teórico de temperaturas, e indicando desvios de natureza aleatória. Estes desvios podem estar associados à precisão do instrumento de medição de temperatura utilizado, deslocamentos do ponto de registro da temperatura em relação à posição desejada, flutuações de temperatura ao longo da aletas, entre outros. Correntes de ar, próximas ao equipamento, podem modificar as condições de escoamento do ar aquecido junto à interface sólida; e, conseqüentemente, modificar o valor do coeficiente de película e da taxa de transferência convectiva de calor.

É importante ressaltar que as diferenças médias normais, indicadas na coluna A, na condição “ii” são, com exceção do último ensaio, inferiores a 0,4 graus Celsius; sendo tal valor significativamente baixo, tendo em vista a simplicidade do equipamento confeccionado e a precisão dos instrumentos de medição utilizados. As diferenças médias absolutas, nessa condição, são inferiores a um grau, evidenciando a viabilidade da metodologia proposta e do equipamento utilizado na realização de um estudo experimental da transferência de calor em aletas.

Tabela 4 - Média aritmética dos desvios registrados nos ensaios, conforme descrito nos itens “iii” e “iv”, em relação aos modelos teóricos referenciados em “i” e “ii”.

Ensaio	Convecção		Convecção + Radiação	
	A	B	A	B
<b>I</b>	2,59	2,49	-0,03	0,22
<b>II</b>	2,74	2,80	-0,07	0,46
<b>III</b>	3,03	3,04	-0,36	0,52
<b>IV</b>	3,69	3,72	0,04	0,80
<b>V</b>	4,20	4,29	0,12	0,75
<b>VI</b>	4,28	4,39	-0,15	0,46
<b>VII</b>	4,15	4,15	-1,36	1,36

Fonte: Dados da Pesquisa, 2021.

A obtenção de um resultado quantitativo satisfatório, com pouca discrepância entre perfis teóricos e experimentais de temperatura, só foi possível devido a uma série de procedimentos adotados na confecção do equipamento e na realização dos ensaios. A utilização de placas de acrílico, nas laterais da aleta, recortadas de modo a isolar o entorno da aleta de correntes de ar que pudessem afetar a convecção natural induzida pelo aquecimento de sua superfície, bem como a utilização de um trilho para posicionar a câmera termográfica,

foram implementações necessárias para a minimização dos erros experimentais. O emprego de uma aleta de cor preta e fosca, cuja emissividade é próxima de 1, permitiu reduzir a incerteza associada ao valor deste parâmetro; e, conseqüentemente, a incerteza no valor estimado da transferência radiativa de calor.

## 4.2 PRODUTO EDUCACIONAL

O produto educacional foi elaborado, no que diz respeito às estratégias e a teoria de ensino, com base na Teoria da Aprendizagem Significativa, e no intuito de viabilizar o ensino da transferência de calor em superfícies estendidas (aletas) num enfoque experimental, através da realização de ensaios em um sistema físico real e com emprego de equipamento didático de baixo custo. No tocante à Teoria da Aprendizagem Significativa, destacamos que Moreira (2011) considera que esta teoria classifica o efeito do conhecimento prévio sobre a estrutura cognitiva como o fator que mais influencia a aprendizagem dos alunos.

O produto educacional proposto foi aplicado na forma de um minicurso, conforme justificado e detalhado na seção 3.2. Os resultados observados ao longo deste minicurso, tanto na interação propiciada durante a aula experimental remota como nas respostas dos questionários e da pesquisa de opinião, são analisados pelo autor.

### 4.2.1 QUESTIONÁRIO PRÉVIO

O questionário prévio tem como objetivo avaliar o conhecimento do grupo como todo e, simultaneamente, ativar os conhecimentos prévios dos alunos (subsunçores, na terminologia da Aprendizagem Significativa), a partir da proposição de questões acerca de tópicos e conceitos fundamentais envolvendo a transferência de calor, seus mecanismos e, noções básicas relativas ao fluxo de calor e perfil de temperatura em uma aleta. O questionário, aplicado de forma *on line*, e cujo acesso foi inicialmente franqueado por um prazo de alguns dias (e, posteriormente ampliado em uma semana), abarcava os seguintes tópicos:

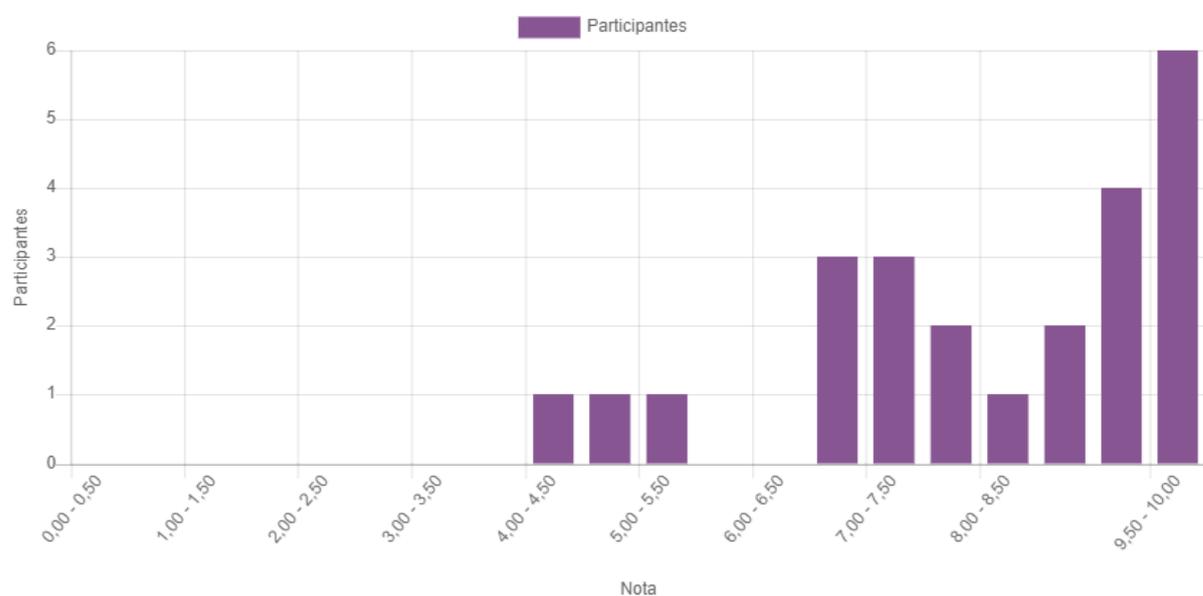
- Conceito de calor e temperatura;
- Transferência de calor: mecanismos, princípios e características;
- Leis, equações e parâmetros associados aos mecanismos de transferência de calor;
- Conceito de aleta, mecanismos de transferência de calor em uma aleta;

O questionário prévio era constituído de 16 questões, 13 das quais do tipo “falso ou verdadeiro” e 3 delas envolvendo a associação de nomenclatura, símbolos e equações. O uso da plataforma *Moodle* possibilitou a criação de um banco de dados, com várias sentenças para uma mesma questão. Assim, foram elaboradas um total de 72 itens, conforme pode ser visualizado no Apêndice 2, que foram selecionadas de forma aleatória, em conformidade com a configuração ajustada, no ambiente virtual, para este questionário.

Após a aplicação do questionário prévio, observou-se que 24 alunos participaram como respondentes. Verificou-se que 87,5% das notas foram superiores a 7,0; sendo que a nota média dos indivíduos que realizaram esta atividade foi 7,92. Um histograma dessas notas é apresentado na **Figura 12**.

Figura 12 - Resultados Questionário Prévio.

### Número de estudantes por intervalos de nota



Fonte: Dados da Pesquisa, 2021.

#### 4.2.2 VÍDEO TEÓRICO

A segunda atividade inserida na sequência didática foi uma apresentação teórica, de curta duração, na forma de um vídeo explicativo da teoria concernente ao experimento didático. O formato adotado visou privilegiar um fácil acesso ao conhecimento; e, além disso, delimitar o conteúdo teórico a ser apresentado, evitando uma sobrecarga de informações, cuja

principal consequência seria desestimular o aluno na absorção dos conhecimentos necessários à aprendizagem do assunto abordado.

A abordagem audiovisual visa facilitar o aprendizado dos conteúdos teóricos; pois, como foi mencionado anteriormente, audição e visão são os sentidos que se mostram mais efetivos no aprendizado, com índices de 11% e 83%, respectivamente, segundo Freitas (2009). A inclusão de um vídeo, cujo acesso foi disponibilizado por vários dias, foi pensada levando em conta que cada aluno aprende de uma maneira e ao seu tempo e, assim, poderia acessar o conteúdo do vídeo sempre que julgasse conveniente. A apresentação audiovisual tende a ser uma estratégia eficiente para auxiliar os alunos na reformulação de suas concepções teóricas acerca da transferência de calor. Cabe aqui ressaltar ainda que eventuais dúvidas surgidas durante a realização do questionário inicial, e que não fossem esclarecidas ao assistir a videoaula, seriam dirimidas com o professor, na aula experimental.

O vídeo foi planejado para ter uma duração de aproximadamente 20 minutos, tendo em vista que a atenção e o interesse do telespectador diminuem consideravelmente com o passar do tempo. A ideia central dessa atividade é revisar os conceitos e discorrer acerca de princípios teóricos concernentes ao tópico apresentado, exemplificando os conceitos e sua interpretação a partir de fenômenos do cotidiano. Dentre os conteúdos presentes neste vídeo destacamos uma série de fórmulas e equações, necessárias à obtenção do perfil de temperatura em uma aleta. Essa parte inicial do vídeo é sucedida pela descrição do equipamento e do roteiro de execução dos ensaios.

Nesta videoaula são apresentadas noções básicas sobre calor e temperatura, princípios e mecanismos de transferência de calor, equações que regem a transferência de calor, balanço térmico diferencial em aletas e determinação do perfil de temperatura numa aleta a partir da solução da equação diferencial o balanço térmico. Também foi apresentado o equipamento construído para a realização dos ensaios e um exemplo de cálculo do coeficiente de película.

O vídeo produzido tem uma duração de 22 minutos e sua edição envolve, inicialmente, um longo trabalho de elaboração dos *slides*, com a seleção e inserção de imagens e caixas de textos, bem como a formatação, arranjo e configuração desses elementos em cada um dos *slides*. Após essa etapa, é necessário a elaboração de um texto e a gravação de um áudio a partir da leitura deste texto. Esta gravação deve estar em consonância com a apresentação dos *slides*, e para isso são necessárias várias gravações e ajustes sucessivos, de modo a obter uma videoaula na qual áudio e imagem fiquem sincronizados adequadamente.

Considerando também o período atual de pandemia da COVID-19, onde aulas presenciais estavam impossibilitadas e os participantes já haviam se acostumado com o aprendizado remoto a partir de videoaulas assíncronas, a realização dessa atividade não causou estranheza ou desconforto aos participantes.

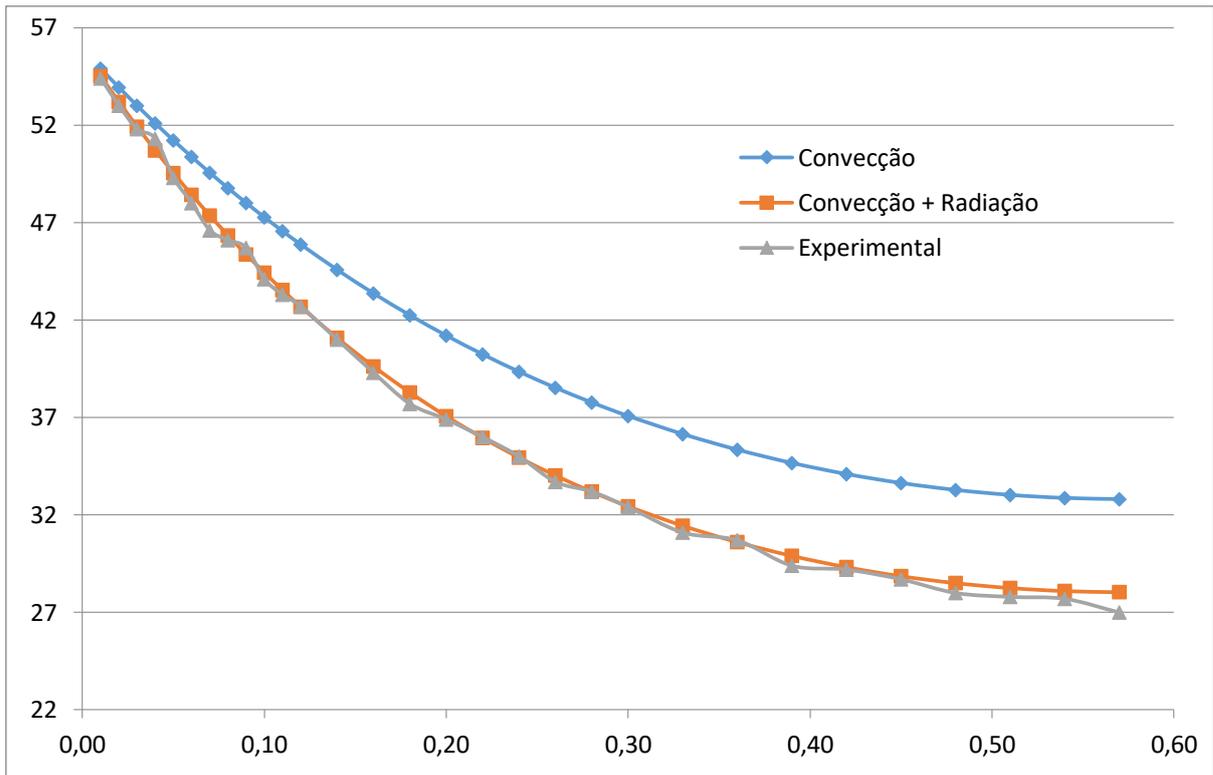
#### 4.2.3 AULA EXPERIMENTAL

Uma aula experimental é planejada e executada para que o aluno possa realizar os ensaios previstos utilizando os equipamentos e instrumentos necessários, seguindo um roteiro previamente definido pelo professor. No entanto, considerando o período de pandemia, esta aula foi conduzida pelo pesquisador mediante uma sessão *online*, via plataforma *Google Meet*, realizada no dia 30 de setembro de 2021, que pode ser acessada em <https://drive.google.com/file/d/15x4TgTNMXa61QcKxsDpg0Ifypt3-5AI9/view>. Para a execução desta atividade, o experimento didático foi montado e previamente testado.

A aula foi iniciada fazendo-se uma descrição do equipamento, detalhando as partes componentes do mesmo com auxílio de uma câmera, neste momento os alunos puderam questionar sobre o equipamento. Na sequência foi realizado o experimento prático. A câmera térmica foi posicionada no início da aleta e foram anotadas as temperaturas ao longo da aleta numa planilha *Excel* previamente formatada, onde estavam inseridas fórmulas que automatizavam os cálculos teóricos dos coeficientes de película a partir dos dados iniciais de temperatura ambiente e da temperatura na base e na extremidade da aleta.

Os dados assim obtidos foram plotados num gráfico, que foi visualizado pelos alunos. Na medida em que os dados experimentais iam sendo gerados, estes eram inseridos na planilha e também plotados no mesmo gráfico no qual haviam sido inseridos os dados teóricos, para fins de comparação. Este gráfico, gerado durante a aula experimental, pode ser visualizado na **Figura 13**, onde no eixo das abscissas tem-se a distância do ponto de registro até a base da aleta (cm) e, na ordenada, a temperatura registrada (°C). Toda a aula experimental foi gravada, e a planilha de cálculo gerada com os dados obtidos na realização dos ensaios foi disponibilizada aos alunos.

Figura 13- Gráfico Gerado na Aula Experimental.



Fonte: Dados da Pesquisa, 2021.

#### 4.2.4 VÍDEO EXPLICATIVO DA ROTINA DE CÁLCULOS

A elaboração de um vídeo explicativo da rotina de cálculos foi uma atividade que foi inserida após ter se iniciado o minicurso. Sua inserção foi constatada como necessária, na medida em que foi detectado que, durante a aula experimental, alguns alunos demonstraram dificuldades para acompanhar a rotina de cálculos e o emprego das equações no intuito de obter os perfis teóricos de temperatura.

O fato desta atividade ter sido elaborada posteriormente à pesquisa de opinião, impossibilitou sua avaliação pelos participantes do minicurso. De qualquer modo, esta atividade poderá ser avaliada em outras edições em que o minicurso for disponibilizado.

#### 4.2.5 QUESTIONÁRIO FINAL

O questionário final foi criado para avaliar o conhecimento adquirido pelos alunos no que diz respeito ao assunto abordado no minicurso. A ideia era avaliar o grupo de alunos como um todo; e, dessa forma, a partir de uma comparação com o desempenho do grupo no questionário inicial, estimar a eficiência do produto educacional elaborado. Esta avaliação, assim como o questionário inicial, também foi criada dentro do ambiente *Moodle*, através de um banco de questões no qual havia várias versões de cada item do questionário final. Assim, cada acesso ao questionário gerava, de forma aleatória, um conjunto distinto de questões, de modo que todos os alunos responderam questionários diferentes.

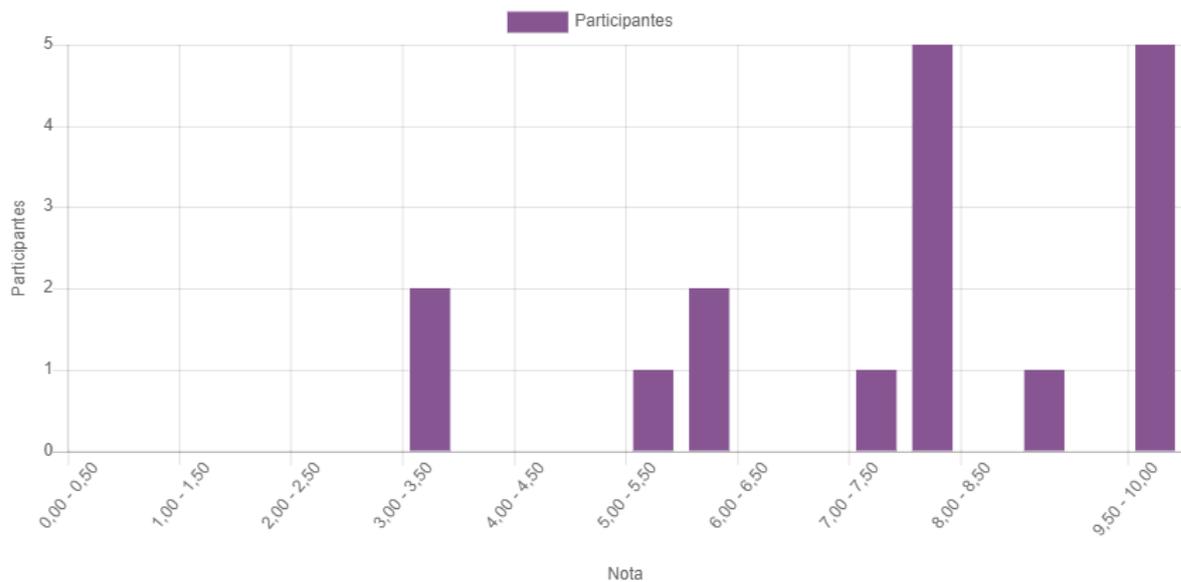
Esta atividade era constituída de 6 questões, tendo sido inserido um total de 27 itens no banco de questões para esta atividade, conforme apresentado no Apêndice 3. As questões integrantes do questionário final abordavam os seguintes tópicos:

- Conceitos de calor e temperatura;
- Transferência de calor;
- Mecanismos de transferência de calor;
- Transferência de calor em aletas;
- Perfil de temperatura em aletas.

Após a aplicação do questionário final, observou-se que 17 alunos participaram como respondentes. Verificou-se que 70,5% das notas foram superiores a 7,0; sendo que a nota média dos indivíduos que realizaram esta atividade foi **7,44**. Um histograma dessas notas é apresentado na **Figura 14**.

Figura 14 - Resultados Questionário Final

## Número de estudantes por intervalos de nota



Fonte: Dados da Pesquisa, 2021.

## 4.2.6 PESQUISA DE OPINIÃO

Na avaliação realizada pelos participantes, foram observados os resultados relativos questionário prévio no que diz respeito ao grau de dificuldade e à clareza das questões nele apresentadas. Na Tabela 5, é possível constatar que o grau de dificuldade foi majoritariamente avaliado como “**Regular**”, e o grau de clareza e adequação ao assunto caracterizados como “**Bom**” e “**Muito Bom**”.

Tabela 5 – Pesquisa de opinião (1) sobre o questionário prévio.

Grau de dificuldade das questões	Questionário Prévio					
	Sem opinião	Muito difícil	Difícil	Regular	Fácil	Muito fácil
	0,00%	0,00%	13,33%	66,67%	13,33%	6,67%
Clareza das questões e adequação ao assunto	Sem opinião	Muito ruim	Ruim	Regular	Bom	Muito bom
	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	46,67%	53,33%

Fonte: Dados da Pesquisa, 2021.

Uma terceira questão sobre esta atividade, na qual o participante poderia selecionar mais de uma alternativa com as quais concordava, destacaram-se três respostas, conforme discriminado na Tabela 6. O autor ressalta o fato de que os participantes, além de avaliarem a atividade como adequada, tanto no que diz respeito ao número como ao grau de dificuldade das questões, julgaram que os questionamentos apresentados e as dúvidas suscitadas durante a realização do questionário são um fator de estímulo ao aprendizado. Tal constatação indica que a perspectiva de uma aprendizagem significativa a partir da ativação de subsunçores atrelados a um conhecimento prévio foi percebida pelos participantes.

Tabela 6 – Pesquisa de opinião (2) sobre o questionário prévio.

<b>Questionário Prévio</b>	
O número de questões é adequado	86,67%
O grau de dificuldade das questões é adequado	66,67%
As dúvidas suscitadas e os questionamentos apresentados nesta atividade tendem a estimular o aprendizado	53,33%

Fonte: Dados da Pesquisa, 2021.

A videoaula, quanto ao seu tempo de duração, foi avaliada como adequada por 64,29% dos participantes. Apenas 7,14% julgaram essa atividade demasiadamente longa. Desta forma, é possível concluir que o tempo previsto para esta atividade foi satisfatório. O resultado das demais avaliações relativas a esta atividade é sintetizado na Tabela 7.

Tabela 7 – Pesquisa de opinião sobre a videoaula.

<b>Videoaula</b>	
As imagens e animações estão adequadas ao conteúdo abordado no vídeo	78,57%
As imagens e animações estão sincronizadas, facilitando a compreensão do conteúdo apresentado na videoaula	71,43%
Os conteúdos ministrados, a linguagem utilizada e as imagens apresentadas estão adequadas ao conteúdo do minicurso	100,00%
De modo geral, a videoaula facilita a aprendizagem e propicia ao aluno uma melhor compreensão dos ensaios realizados na aula experimental	57,14%
A inserção desta atividade é fundamental para facilitar o aprendizado do conteúdo abordado, pois possibilita uma visão inicial do assunto a partir de explicações detalhadas dos conceitos teóricos e exemplos numéricos das equações empregadas	57,14%

Fonte: Dados da Pesquisa, 2021.

O fato de que a totalidade dos participantes julgou que os conteúdos ministrados, a linguagem utilizada e as imagens apresentadas estão adequadas ao conteúdo do minicurso é muito relevante; pois, assim, o esforço despendido na elaboração desta atividade se fez proveitoso. Além disso, destaca-se o fato que foi constatado pela maioria dos participantes que esta atividade facilita a aprendizagem e fornece explicações detalhadas de conceitos teóricos e exemplos de aplicação das equações.

A aula experimental também foi uma atividade bem avaliada, conforme se observa na Tabela 8. Aqui ressalta-se o fato de que os participantes, quase em sua totalidade, apontam que a aula experimental possibilita uma melhor aprendizagem e que a visualização dos ensaios é útil e esclarecedora. Ao confrontar a avaliação deste item com o fato de que cerca de 30% apontam que a realização desta atividade de forma remota dificulta a aprendizagem, pode-se inferir que esta aula experimental foi bem conduzida e possibilitou uma boa interação professor-aluno, apesar de ter sido apresentada de forma remota. Um aspecto que também pode ter contribuído para que a forma remota de apresentação não fosse vista como um obstáculo à aprendizagem é o fato de terem já se acostumado a essa modalidade de ensino.

Tabela 8 - Avaliação da aula experimental.

<b>Aula Experimental</b>	
A aula experimental possibilita uma melhor aprendizagem do conteúdo ministrado, pois a visualização dos ensaios é útil e esclarecedora, possibilitando ao aluno dirimir dúvidas diretamente com o professor.	92,86%
A aula experimental foi útil e esclarecedora, e mostrou-se vinculada com as demais atividades do minicurso: questionários e videoaula.	42,86%
A aula experimental é melhor compreendida após realizar o questionário inicial e a videoaula, pois isto possibilita uma vinculação da teoria com a prática.	42,86%
A aula experimental é necessária e indispensável, pois permite interação com o professor e demais alunos, propiciando dirimir dúvidas e observar o comportamento térmico de uma aleta na prática.	50,00%
A aula experimental foi útil e esclarecedora, mas a realização na forma remota (não presencial) desta atividade dificulta a aprendizagem.	5%

Fonte: Dados da Pesquisa, 2021.

No que diz respeito ao questionário final, os resultados relativos ao grau de dificuldade e à clareza das questões nele apresentadas estão discriminados na Tabela 9. O grau de dificuldade das questões foi avaliado majoritariamente como “**Regular**”, e o grau de clareza e adequação ao assunto foram avaliados como “**Bom**” e “**Muito Bom**”.

Tabela 9 – Avaliação (1) questionário final.

Grau de dificuldade das questões	Questionário Final					
	Sem opinião	Muito difícil	Difícil	Regular	Fácil	Muito fácil
	7,14%	7,14%	14,29%	64,29%	7,14%	6,67%
	Sem opinião	Muito Ruim	Ruim	Regular	Bom	Muito bom
Clareza das questões e adequação ao assunto	6,67%	6,67%	0,00%	13,33%	53,33%	20,00%

Fonte: Dados da Pesquisa, 2021.

Na questão em que a avaliação do questionário final era feita a partir da possibilidade de seleção de múltiplos itens, destacaram-se três respostas, conforme destacado na Tabela 10. Os resultados apresentados nesta tabela indicam que os participantes julgaram o questionário adequado, tanto no que diz respeito ao número e grau de dificuldade das questões como por se constituir em uma forma de fixação do conhecimento pelo aluno; e, também, de servir como ferramenta de avaliação da eficiência do minicurso.

Tabela 10 – Avaliação (2) questionário final.

Questionário Final	
O número de questões é adequado	92,86%
O grau de dificuldade das questões é adequado	57,14%
A realização desta atividade é útil para fixar o conhecimento adquirido pelo aluno, bem como para avaliar a eficiência do minicurso	53,33%

Fonte: Dados da Pesquisa, 2021.

Na última questão desta atividade era solicitado aos participantes que emitissem suas opiniões, comentários e sugestões. Houve sugestões para diminuição do tempo da videoaula e também aumentar o número de tópicos do minicurso como pode ser observado nas citações abaixo:

*“As aulas poderiam ser divididas em mais tópicos, para terem uma duração de tempo menor. No contexto geral o minicurso foi muito bom.”*

*“A duração da vídeo aula para aproveitamento deste material em sala de aula poderia ser de 10min aprox. (dividir em 2 ou 3 partes)”*

O questionário final foi considerado confuso por um respondente:

*“Achei o questionário final confuso”*

De maneira geral, contudo, a avaliação foi positiva, e os respondentes citaram que foi agregado conhecimento, que puderam conectar a teoria e prática e que o do minicurso como um todo propiciou uma aprendizagem significativa do conteúdo apresentado. A seguir são apresentados alguns comentários dos participantes.

*“Curso muito bom, agregou bastante conhecimento.”*

*“Muito proveitoso”*

*“Achei um trabalho realmente muito bom, onde pude visualizar um pouco da teoria com a prática. Parabéns aos envolvidos.”*

*“Gostei bastante da organização em relação a realizar um questionário antes e depois da aula experimental e vídeo, quanto a aula experimental eu acredito que ser remoto realmente dificulta a aprendizagem e visualização, isto pois quaisquer manipulação de câmeras é difícil e não da a mesma imagem do que ver presencialmente, mas levando em consideração a situação de pandemia foi uma iniciativa muito bem vinda e válida. Quanto ao vídeo acredito que a linguagem e disposição de conteúdo são boas e talvez em questão de imagens ilustrativas que faltou um pouco, mas considerando que são experimentos para alunos de ensino superior acredito que está ao alcance do nível requerido sim.”*

*“Excelente aporte técnico e significativa aprendizagem.”*

*“Curso muito bom, agregou bastante conhecimento.”*

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A confecção de um equipamento de baixo custo, e os ajustes necessários para viabilizar o seu emprego como experimento didático, consistiu em uma longa etapa, que exigiu um longo tempo de esforço e dedicação do autor. Na perspectiva de Fiscarelli (2007) os materiais didáticos são capazes de deixar a aula mais estimulante, mais envolvente, aproximando o aluno do conhecimento. Cabe aqui destacar que experimentos didáticos quantitativos, como o proposto neste trabalho, buscam produzir resultados compatíveis com os valores previstos por modelos teóricos, a exemplos de diversos experimentos voltados para o ensino de física aplicada a partir de ensaios executados em um sistema físico real (Medida de momento de inércia de um disco; Lei de Hooke: uma comparação entre sistemas lineares; experimentos de equilíbrio: sistemas de forças e polias).

O modelo teórico a ser utilizado para simular o sistema físico analisado deve ser adequado para tal fim, o que nem sempre ocorre. No estudo da transferência de calor em aletas sob convecção natural, a contribuição radiativa na transferência de calor é muitas vezes desprezada, conforme já exposto na seção 4.1, sendo tal condição capaz de produzir resultados experimentais muito discrepantes dos valores previstos pelo modelo teórico. O conhecimento deste fato pelo autor e a necessidade de avaliar a adequabilidade do modelo adotada num ensaio envolvendo a análise do perfil de temperatura de uma aleta, resultou na elaboração do artigo intitulado “Uma proposta de ensino da transferência de calor em aletas em regime estacionário e convecção natural” vide (GARCIA *et al.*, 2020).

Todas as etapas que envolveram a elaboração deste trabalho trouxeram muito aprendizado ao autor. Pensar uma aula experimental, elaborar um experimento didático que possa ser facilmente reproduzido e com materiais de fácil aquisição e que possam gerar resultados quantitativos satisfatórios demandaram um período de tempo. Testes preliminares e muitos ajustes foram necessários. A elaboração do vídeo também foi uma tarefa que trouxe aprendizado ao autor. Selecionar o conteúdo, selecionar imagens, fazer a edição do vídeo, locução e sincronizar tudo para que ao final tudo isso pudesse ser utilizado como material de apoio ao minicurso.

Desenvolver este trabalho trouxe uma realização pessoal, o aprendizado adquirido neste estudo será aplicado diretamente nas aulas experimentais junto ao curso técnico de eletrônica no qual o autor atua como docente.

## 5.1 CONTRIBUIÇÕES ACADÊMICAS

A utilização de aulas experimentais como estratégia de ensino é uma alternativa muito valorizada pelos professores de Física, sendo vista também como uma forma de motivar os alunos a buscar o conhecimento (GASPAR, 2014). A realização de experimentos didáticos quantitativos, com emprego de equipamento de baixo custo, que forneçam resultados experimentais satisfatórios e consistentes com os modelos teóricos empregados, é uma ferramenta didática que pode se revelar muito útil nas disciplinas de física aplicada em cursos de graduação.

A utilidade desta ferramenta, e sua aplicação de forma eficaz, está vinculada à estratégia de ensino adotada pelo docente ao ministrar o conteúdo concernente à atividade experimental. Ainda que a elaboração de um experimento didático de baixo custo, que forneça resultados quantitativos satisfatórios, venha a ser um trabalho longo e exaustivo, é necessário que este esforço possibilite uma aprendizagem significativa do assunto abordado; de modo que o docente possa extrair, ao máximo, o potencial pedagógico da atividade experimental em si.

Elaborar uma metodologia de ensino adequada à realização de uma atividade experimental, na qual são realizados ensaios cuja análise dos resultados envolve uma extensa rotina de cálculos e o emprego de muitas equações, não é uma tarefa fácil de ser executada. Dentro desse contexto, um conhecimento teórico a respeito das teorias de ensino-aprendizagem se faz necessário. A seleção de tópicos relativos a estas teorias e sua aplicação no trabalho apresentado, visando traçar uma diretriz na elaboração de um produto educacional consistente com a proposta de um experimento didático quantitativo e de baixo custo, levou o autor a obter um conhecimento mais aprofundado da área de metodologias de ensino. Nesse conhecimento, o autor destaca a Teoria da Aprendizagem Significativa e as formulações teóricas desenvolvidas por Ausubel e Vigotsky.

Dentro da ótica exposta no parágrafo anterior, é possível mencionar que as análises e as discussões relativas aos resultados apresentados nesta dissertação, tanto no que diz respeito à construção de equipamento de baixo custo e seu emprego numa aula experimental, como na elaboração de um produto educacional a ela vinculada, servem para alargar o conhecimento científico no que tange ao ensino de física aplicada com foco na realização de um experimento didático. O autor conclui ainda que, de modo geral, a metodologia de ensino proposta se mostrou eficiente, sendo tal afirmação fundamentada na consistência dos

resultados quantitativos dos ensaios experimentais e, também, nos resultados obtidos na aplicação do minicurso e na avaliação realizada (na pesquisa de opinião) pelos participantes deste minicurso. Aqui o autor destaca que, embora o minicurso envolva um tópico específico da disciplina de Transferência de Calor, a metodologia proposta pode ser aplicada, sem a necessidade de muitas adaptações, a outros tópicos de física aplicada, em disciplinas de cursos de graduação. A aplicação desta metodologia no ensino técnico e, também, em cursos de pós-graduação é uma possibilidade real que amplia a abrangência e a relevância do tipo de produto educacional proposto neste trabalho.

Outro aspecto importante do trabalho é o emprego de equipamento de baixo custo. Inicialmente, cabe ressaltar o fato que equipamento de baixo custo não significa necessariamente baixa qualidade da atividade experimental (BORGES, 2002). Neste sentido, também é importante frisar que ensaios realizados com equipamentos de baixo custo não produzem, necessariamente, resultados quantitativos inferiores ou com maiores desvios do que aqueles realizados com equipamentos mais caros e sofisticados. Contudo, conforme já destacado neste trabalho, para que esse tipo de experimento didático possa produzir o resultado quantitativo pretendido, é exigido muito esforço e dedicação do docente que se propõe a conceber e elaborar um experimento desta natureza.

Diante do exposto no parágrafo anterior, uma contribuição acadêmica mais efetiva somente será alcançada quando este experimento didático for implementado, sem maiores esforços, por outros docentes da disciplina e em outras instituições de ensino, além da turma de alunos na qual o experimento foi originalmente aplicado. Para isso, o planejamento e a elaboração de um produto educacional que contenha uma metodologia de ensino adequada e integrada ao experimento é condição necessária, mas não suficiente para essa implementação. É importante ainda uma divulgação do trabalho de pesquisa desenvolvido na concepção do experimento didático; sendo que tal divulgação deve ser, na medida do possível, clara e objetiva, de modo a despertar o interesse de outros docentes na utilização do experimento proposto como estratégia de ensino.

Assim, o trabalho aqui desenvolvido apresenta uma contribuição relevante no sentido de apresentar um experimento didático e uma metodologia de ensino de um tópico de física aplicada. Contudo, para que tal apresentação possa ser difundida no meio acadêmico e, dentro do possível, implementada e reproduzida em outras turmas de alunos da disciplina de Transferência de Calor, a divulgação científica do trabalho é fundamental. Neste sentido, a publicação de um artigo científico, no qual são pormenorizados aspectos construtivos do

equipamento e do roteiro operacional para a execução dos ensaios, bem como da rotina de cálculos necessários para obtenção e análise dos resultados quantitativos, irá facilitar a compreensão do conteúdo teórico e prático abarcado pelo experimento didático proposto. Além disso, a elaboração de um vídeo de curta duração e de fácil acesso na *Internet*, no qual seja utilizada uma linguagem acessível e de fácil compreensão, bem como imagens e animações ilustrativas do conteúdo teórico abordado neste tópico, tenderá a despertar o interesse daqueles que acessarem este vídeo. Assim, admitindo que muitos docentes que ministram a disciplina de Transferência de Calor poderão se mostrar interessados, deve ser referenciado, neste vídeo, um artigo concernente ao assunto abordado, cuja elaboração será realizada em momento oportuno.

## 5.2 LIMITAÇÕES E FUTURAS PESQUISAS

Inicialmente, o autor aponta o fato de que a pesquisa possui limitações geradas pela pandemia do COVID-19, pois não foi possível realizar as atividades que integram a sequência didática formulada para o minicurso de forma presencial; lançando-se mão de recursos audiovisuais e da realização de atividades experimentais de forma remota.

Nesse contexto, talvez o maior prejuízo decorrente desta situação se verifica na Aula Experimental, atividade que requer uma maior proximidade do aluno com o equipamento, e na qual seria possível ao aluno manusear os instrumentos (câmera termográfica) e explorar, de forma autônoma, o equipamento confeccionado. Além disso, é claro, a maior proximidade física entre alunos e professor propicia a realização de conversas em pequenos grupos e uma aprendizagem num ambiente mais informal e descontraído do que aquele que foi realizado através de uma atividade remota.

De outra forma, o fato de que a videoaula, a aula experimental e o vídeo explicativo são assistidos de forma remota, há a possibilidade de vários acessos a estes vídeos, de modo que o aluno poderá esclarecer dúvidas, visualizar algum detalhe ou obter alguma informação adicional toda vez que assisti-los. Conforme já detalhado, a elaboração de um produto educacional na forma de um minicurso, suportado na plataforma *Moodle*, nos quais todas as atividades são apresentadas de forma conjunta, facilita um acesso repetido a tais vídeos. Assim, a disponibilidade de visualização destes vídeos, no local, horário e tantas vezes quantas o participante do minicurso julgar necessário, é uma “vantagem” (se é que se pode assim dizer) associada à modalidade remota de ensino que foi adotada em decorrência das

limitações impostas pela pandemia. Em vista do exposto, o autor conclui que, em havendo a possibilidade de realização de uma aula experimental na modalidade presencial, deve-se também pensar, adicionalmente, na gravação - e disponibilização aos alunos - de um vídeo de uma aula experimental.

A restrição das atividades presenciais, imposta pela pandemia do COVID-19, levou o autor a aplicar os questionários na modalidade remota. A ideia de abranger o maior número possível de participantes, buscando incluir, além dos alunos referenciados no primeiro parágrafo da seção 4, estudantes de graduação e engenheiros recentemente graduados, levou o autor a facilitar o acesso a essa atividade. Assim, o acesso aos questionários ficou disponível, na plataforma *Moodle*, por um período de três dias; e, visando evitar eventuais fraudes ou troca de informações a respeito das questões a serem respondidas, foi elaborado um banco de questões. Os questionários aplicados foram configurados de modo a selecionar, para cada item, uma questão aleatória de um grupo de questões previamente elaboradas. Este é outro aspecto vantajoso da modalidade remota, que facilita o acesso à atividade, propiciando que o participante a execute no momento que julgar mais conveniente. Essa flexibilidade propiciada pelo ambiente virtual de aprendizagem, associada com a geração de questionários randômicos e distintos para cada participante, bem como a redução da carga de trabalho do docente – na impressão, aplicação e correção dos questionários – são fatores que indicam que o formato adotado na aplicação dos questionários deve ser mantido em outras edições futuras deste minicurso.

Neste ponto, o autor aponta que o trabalho foi desenvolvido na forma de um minicurso a ser integrado na disciplina de Transferência de Calor e Massa, nos cursos de Engenharia de Energia e Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos da UERGS, na unidade de Porto Alegre. Este minicurso pode ser disponibilizado para esta mesma disciplina em outras unidades da UERGS. Pode-se ainda realizar atividades de extensão, com a aplicação deste minicurso para turmas de alunos de cursos de graduação em engenharia, em outras instituições de ensino superior.

No que diz respeito ao produto educacional formulado, a última atividade apresentada aos participantes foi uma pesquisa de opinião. As impressões ali colhidas, a partir das respostas dos participantes, devem ser objeto de uma análise criteriosa, pois elas apontam eventuais falhas e acertos a serem observados. Assim, tal análise possibilitará executar ajustes e modificações que resultem numa melhoria do produto educacional ofertado e na sua maior eficiência. Tal melhoria envolve, também, um aperfeiçoamento dos questionários e da

pesquisa de opinião. Diante disso, o autor ressalta que o produto educacional proposto deve ser caracterizado como uma ferramenta de ensino dinâmica, na medida em que se constata a possibilidade e a necessidade de modificações recorrentes, seja para adaptá-la a uma situação particular ou para promover sua melhoria contínua.

## BIBLIOGRAFIA

ABRANTES, Antonio Carlos Souza de, e Nara AZEVEDO. “O Instituto Brasileiro de Educação, Ciência e Cultura e a institucionalização da ciência no Brasil, 1946-1966.” *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas*. V. 5, n 2, maio-agosto 2010: 469-492.

ADIB, Maria Lúcia Vital dos Santos, e Mauro Sérgio Teixeira de Araújo. *Atividades experimentais no ensino de física in Revista Brasileira de Ensino de Física*. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol 25, n 2, junho 2003.

BILITSKY, A. “The effect of Geometry on Heat Transfer by Free Convection from a Fin Array.” MS Thesis Department of Mechanical Engineering, Ben Gurion University of the Negev, Beer Sheva, Israel, 1986.

BORGES, Antônio Tarciso. “Novos rumos para o laboratório escolar de ciências.” *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 2002: V.19 n.3.

BRUNER, Jerome. *O processo da educação*. Lisboa: Edições 70, 2011.

ÇENGEL, Yunus A., e Afshin J.Ghajar. *Transferência de Calor e Massa: Uma abordagem prática*. Porto Alegre: Mc-Graw Hil, 2012.

FILHO, Jose de Pinho Alves. “Atividades experimentais: do método à prática construtivista.” *Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação da Universidade Federal de Santa Catarina*. Florianópolis, RS, 2000.

FISCARELLI, Rosilene Batista de Oliveira. *Material didático e a prática docente*. Vol. 2. Araraquara: Revista Ibero-Americana de estudos em educação. V.2 n.1, 2007.

FREIRE, P. *Educação como prática da liberdade*. 23. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1993.

FREIRE, Paulo. *Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa*. São Paulo: Paz e Terra, 1998.

FREITAS, Olga. *Equipamentos e materiais didáticos*. Brasília: Universidade de Brasília, 2009.

GARCIA, Renato Letizia, J. Zabadal, L.A. Amaral, J.A.D.G Neto, e A. Schmitz. “Transferência de calor e massa: Fusão de uma placa de gelo.” *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 39, nº3, e3502 (2017a) 39, n. 3 (2017): 3502.

GARCIA, Renato Letizia, Marco Antonio Moreira Oliveira, Moisés Nivaldo Cordeiro, e Diane Serpa. “Estudo experimental da secagem de alimentos: balanço térmico em um mini-secador de baixo custo.” *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* 38, n. 1 (2021): 405-421.

GARCIA, Renato Letizia, R. A. Amaral, J Zabadal, C. C. Pibernat, F. Juchem, e A. Schmitz. “Resfriamento de um cilindro de aço: estudo experimental da convecção e radiação do calor.” *Revista Brasileira de Ensino de Física* 39, n. 4 (2017b): 4501.

GARCIA, Renato Letizial, e et al. “Tanque hidráulico vertical para cálculo de perda de carga em tubulações.” *Revista Eletrônica Científica da UERGS* 2 (2016): 54-62.

GIORDAN, Marcelo. “O papel da experimentação no ensino de ciências.” *Revista Química Nova na Escola*, v. 10, n. 10, 1999: 43-49.

HOFFMANN, Jussara Maria Lerch. *Avaliação Mediadora: uma prática em construção da pré-escola à universidade*. Porto Alegre: Mediação, 2014.

INCROPERA, Frank P. *Fundamentos da transferência de calor e de massa*. Rio de Janeiro: LTC, 1992.

JÚNIOR, Edson Jansen Miranda, e Rubens Soeiro Pedrosa de GONÇALVES. “Determinação Experimental Do Coeficiente De Transferência De Calor Por Convecção.” *Revista Ifes Ciência* 2, n. 1 (2016): 53 -71.

MOREIRA, Marco Antonio. *Aprendizagem Significativa: a teoria e textos complementares*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011.

PIAGET, Jean. *Estudos Sociológicos*. Rio de Janeiro: Editora Forense, 1973.

PIZZI, Jislaine. “A prática investigativa como instrumento metodológico.” *Os desafios da escola pública paranaense*, 2013.

ROSA, Cleci Werner da. “Concepções teórico-metodológicas no laboratório didático de física na Universidade de Passo Fundo.” *Revista ensaio*, 2003: 94-108.

STARNER, K. E., e H. N. MCMANUS JR. “An experimental investigation of free convection heat transfer from rectangular fin array.” *STARNER, K. E.; MCMANUS JR, H. N. An experimental investigation of free conv*International Journal of Heat and Mass Transfer, 1963: 273.

VYGOTSKI, L. S. "A formação social da mente." São Paulo: Livraria Martins Fontes Editora Ltda, 1991.

<https://grupopaleontos.wixsite.com/paleontos/single-post/2016/11/11/15-animais-pr%C3%A9-hist%C3%B3ricos-que-mudaram-de-visual> acesso em 30/04/21.

Ementa da disciplina de transferência de calor e massa da UNESP

<http://www.dem.feis.unesp.br/intranet/programa6.pdf> acesso em 30/04/20121

## APÊNDICES

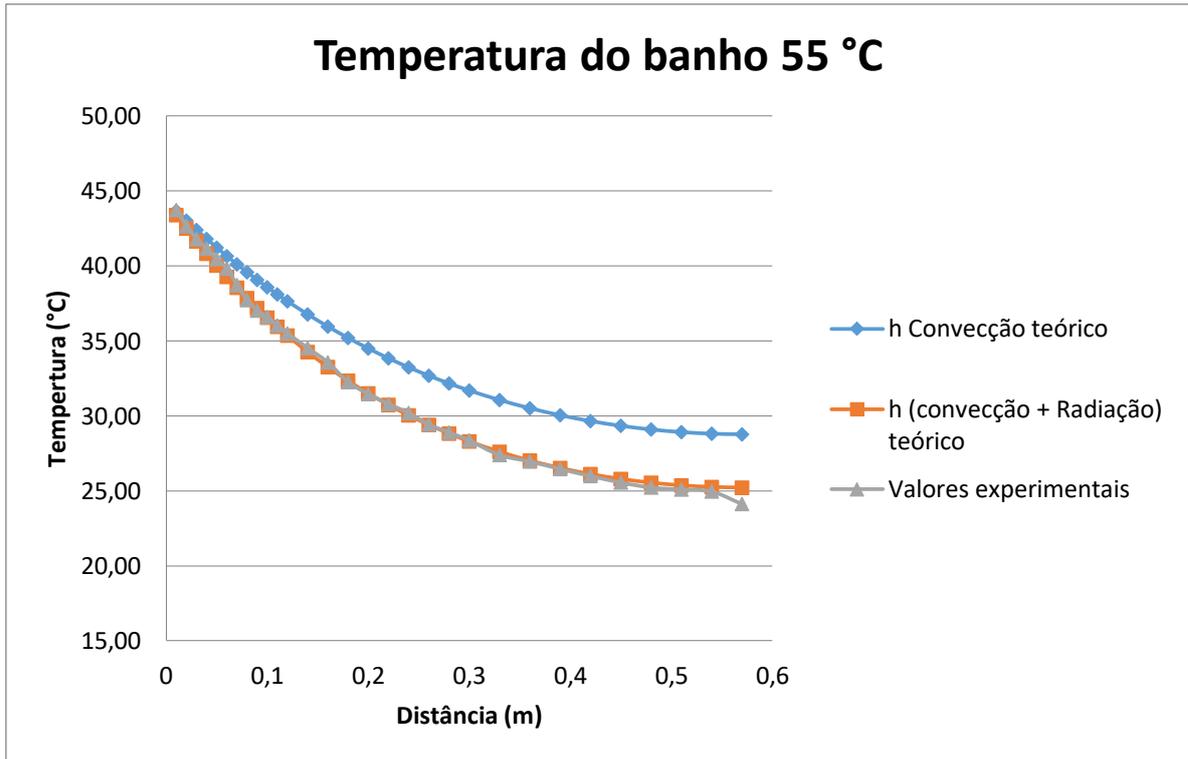
### Apêndice 1 – Dados Experimentais

Tabela 11 – Dados experimentais para temperatura de banho 55 °C

Temperatura ambiente = 20,9 °C				
Distância	Temperatura do Banho °C			média
	55	55	55	
0	44,2	44,5	44,3	44,3
1	43,9	43,7	43,6	43,7
2	43,0	42,6	42,4	42,7
3	42,0	41,8	41,6	41,8
4	41,4	41,2	40,9	41,2
5	40,7	40,5	40,2	40,5
6	39,6	39,9	40,0	39,8
7	38,6	38,8	38,8	38,7
8	37,7	37,6	37,9	37,7
9	37,3	36,8	37,0	37,0
10	36,7	36,5	36,6	36,6
11	36,2	35,9	36,0	36,0
12	35,7	35,4	35,4	35,5
14	34,5	34,6	34,5	34,5
16	33,7	33,7	33,3	33,6
18	32,6	32,1	32,1	32,3
20	31,2	31,7	31,5	31,5
22	30,9	30,8	30,7	30,8
24	30,4	30,0	30,2	30,2
26	29,5	29,5	29,3	29,4
28	29,1	28,8	28,8	28,9
30	28,6	28,3	28,2	28,4
33	27,7	27,2	27,3	27,4
36	27,2	26,9	26,8	27,0
39	26,6	26,5	26,3	26,5
42	26,2	25,9	25,9	26,0
45	25,6	25,5	25,6	25,6
48	25,3	25,3	25,1	25,2
51	25,1	25,1	25,1	25,1
54	25,1	24,8	25,0	25,0
57	24,2	23,8	24,4	24,1

Fonte: Dados da Pesquisa, 2021.

Figura 15 – Dados experimentais x valores teóricos para 55 °C



Fonte: Dados da Pesquisa, 2021.

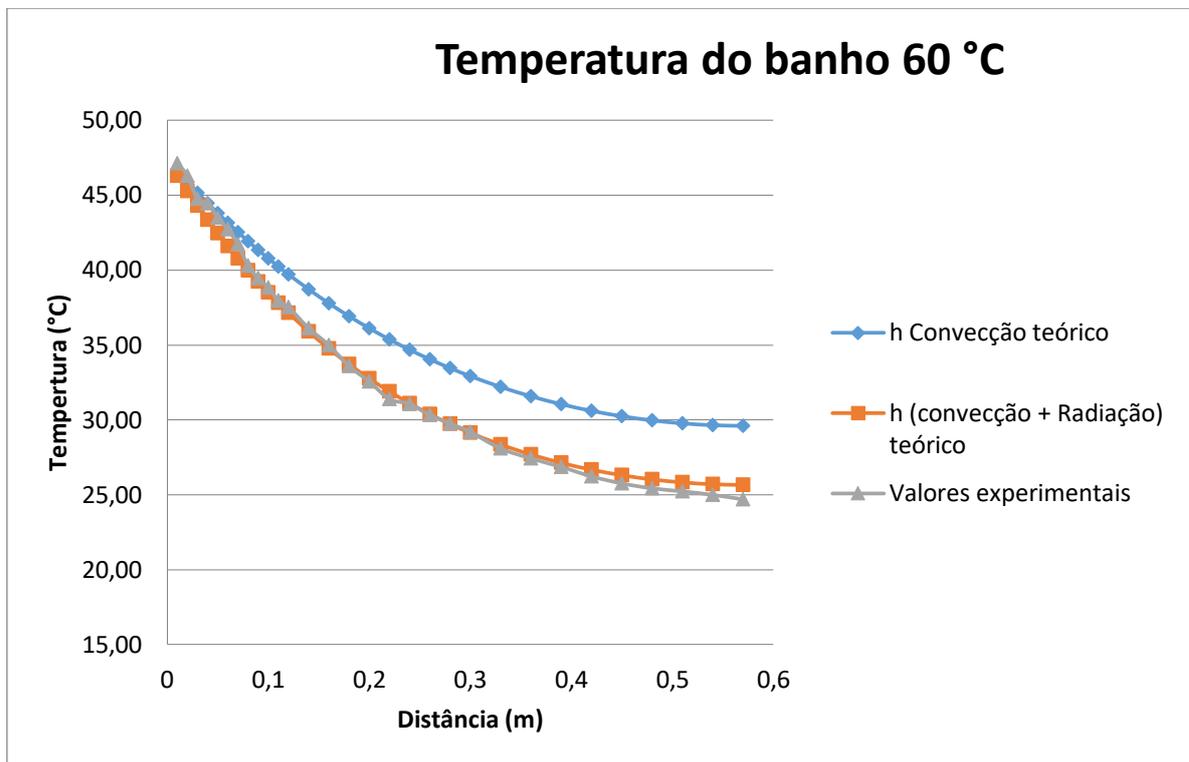
Tabela 12 – Dados experimentais para temperatura de banho 60 °C

Temperatura ambiente =20,9 °C				
Distância	Temperatura do Banho °C			média
	60	60	60	
0	47,4	47,4	47,3	47,4
1	47,1	47,1	47,2	47,1
2	46,2	46,2	46,5	46,3
3	44,7	44,1	45,5	44,8
4	44,3	44,0	45,1	44,5
5	43,0	43,5	44,0	43,5
6	42,4	42,5	43,3	42,7
7	41,2	41,4	42,6	41,7
8	39,9	40,0	41,0	40,3
9	39,0	39,1	40,3	39,5
10	38,7	38,7	39,1	38,8
11	37,7	38,1	38,1	38,0
12	37,5	37,5	37,6	37,5
14	35,8	36,1	36,5	36,1
16	34,9	34,9	35,2	35,0

18	33,5	33,7	33,6	33,6
20	32,3	32,4	33,0	32,6
22	31,6	31,4	31,2	31,4
24	31,0	31,1	31,1	31,1
26	30,3	30,3	30,4	30,3
28	29,6	29,7	30,0	29,8
30	29,0	29,1	29,5	29,2
33	28,0	28,3	28,0	28,1
36	27,3	27,4	27,6	27,4
39	26,8	26,7	27,1	26,9
42	26,3	26,3	26,1	26,2
45	25,7	25,9	25,7	25,8
48	25,3	25,5	25,5	25,4
51	25,1	25,2	25,4	25,2
54	24,9	25,1	25,0	25,0
57	24,7	24,9	24,5	24,7

Fonte: Dados da Pesquisa, 2021.

Figura 16 – Dados experimentais x valores teóricos para 60 °C



Fonte: Dados da Pesquisa, 2021.

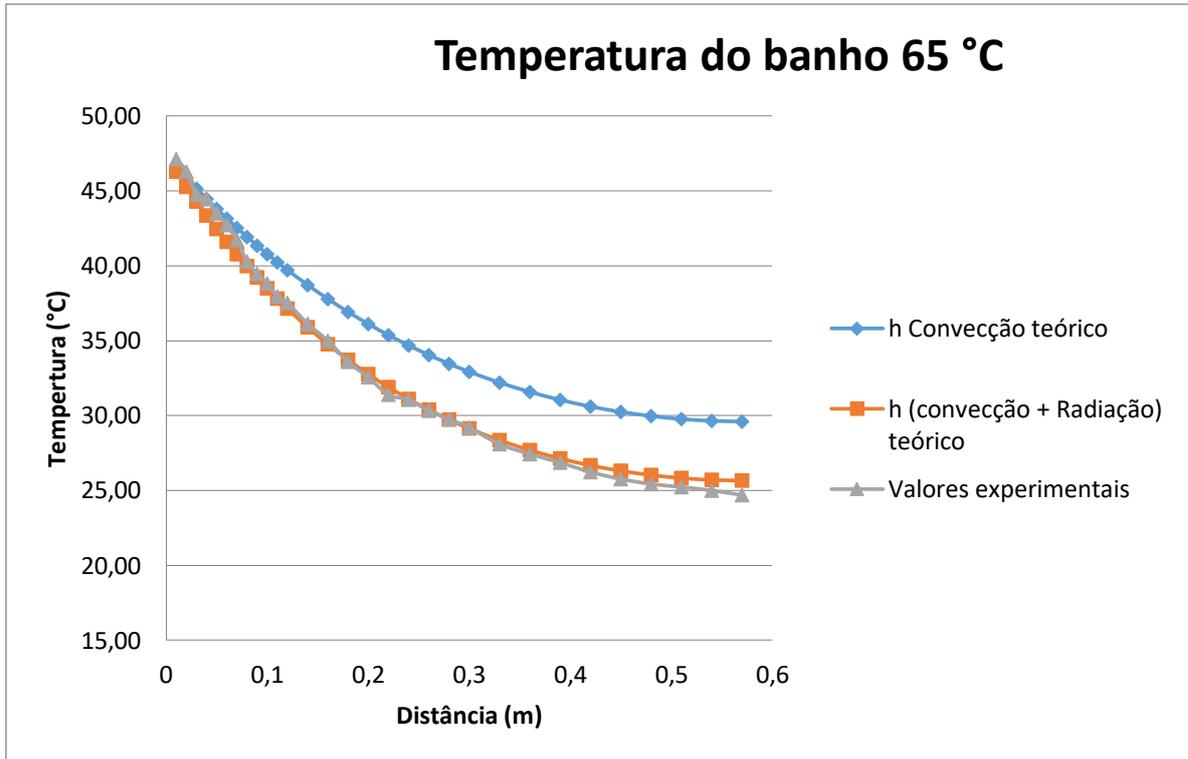
Tabela 13 – Dados experimentais para temperatura de banho 65 °C

Temperatura ambiente = 17,5 °C				
Distância	Temperatura do Banho °C			média
	65	65	65	
0	49,2	48,5	48,3	48,7
1	48,0	48,2	47,2	47,8
2	46,7	46,4	45,8	46,3
3	45,3	45,3	44,4	45,0
4	44,0	44,1	43,9	44,0
5	43,5	43,5	43,3	43,4
6	42,5	43,0	42,7	42,7
7	41,2	41,8	41,8	41,6
8	39,7	40,8	40,3	40,3
9	39,3	39,9	39,7	39,6
10	38,7	39,3	39,2	39,1
11	37,4	38,3	37,7	37,8
12	37,0	37,4	37,2	37,2
14	35,2	35,3	35,4	35,3

16	33,8	33,4	33,2	33,5
18	32,7	32,3	31,4	32,1
20	31,2	30,8	31,2	31,1
22	29,0	29,6	29,8	29,5
24	28,8	29,0	28,5	28,8
26	28,3	27,9	28,0	28,1
28	27,6	27,0	27,0	27,2
30	26,8	26,7	26,3	26,6
33	25,9	25,5	25,5	25,6
36	25,0	24,1	24,4	24,5
39	24,4	24,0	23,8	24,1
42	23,7	23,3	23,1	23,4
45	23,2	22,7	22,8	22,9
48	23,0	22,3	22,3	22,5
51	22,7	22,1	22,0	22,3
54	22,3	21,5	21,6	21,8
57	21,8	20,0	20,0	20,6

Fonte: Dados da Pesquisa, 2021.

Figura 17 – Dados experimentais x valores teóricos para 65 °C



Fonte: Dados da Pesquisa, 2021.

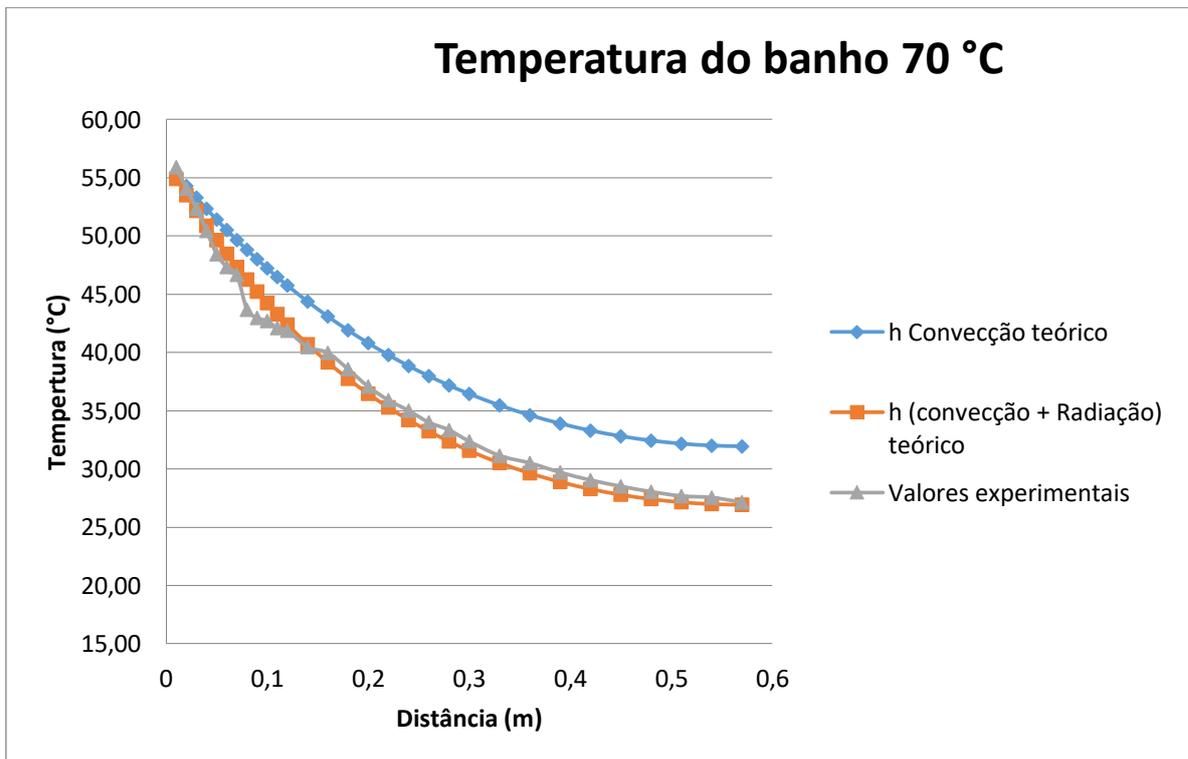
Tabela 14 – Dados experimentais para temperatura de banho 70 °C

Temperatura ambiente =21 °C				
Distância	Temperatura do Banho °C			média
	70	70	70	
0	56,6	56,5	56,0	56,4
1	56,2	55,7	55,8	55,9
2	54,7	54,2	53,3	54,1
3	52,5	52,3	52,2	52,3
4	50,9	50,7	49,7	50,4
5	48,3	48,7	48,3	48,4
6	47,6	47,3	47,1	47,3
7	46,7	47,0	46,3	46,7
8	44,8	43,3	42,9	43,7
9	43,7	42,7	42,5	43,0
10	43,2	42,5	42,4	42,7
11	42,2	42,2	41,9	42,1
12	42,0	41,9	41,7	41,9
14	40,7	40,4	40,3	40,5

16	39,8	40,2	39,9	40,0
18	38,7	38,5	38,5	38,6
20	36,9	37,0	37,3	37,1
22	36,0	35,9	35,8	35,9
24	34,9	34,9	35,2	35,0
26	33,6	34,3	34,1	34,0
28	33,4	33,2	33,4	33,3
30	32,5	32,4	32,2	32,4
33	31,1	31,2	31,1	31,1
36	30,7	30,7	30,1	30,5
39	29,7	29,7	29,7	29,7
42	29,2	29,2	28,7	29,0
45	28,7	28,4	28,4	28,5
48	28,1	28,1	27,9	28,0
51	27,8	27,5	27,7	27,7
54	27,7	27,5	27,4	27,5
57	26,9	27,3	27,2	27,1

Fonte: Dados da Pesquisa, 2021.

Figura 18 – Dados experimentais x valores teóricos para 70 °C



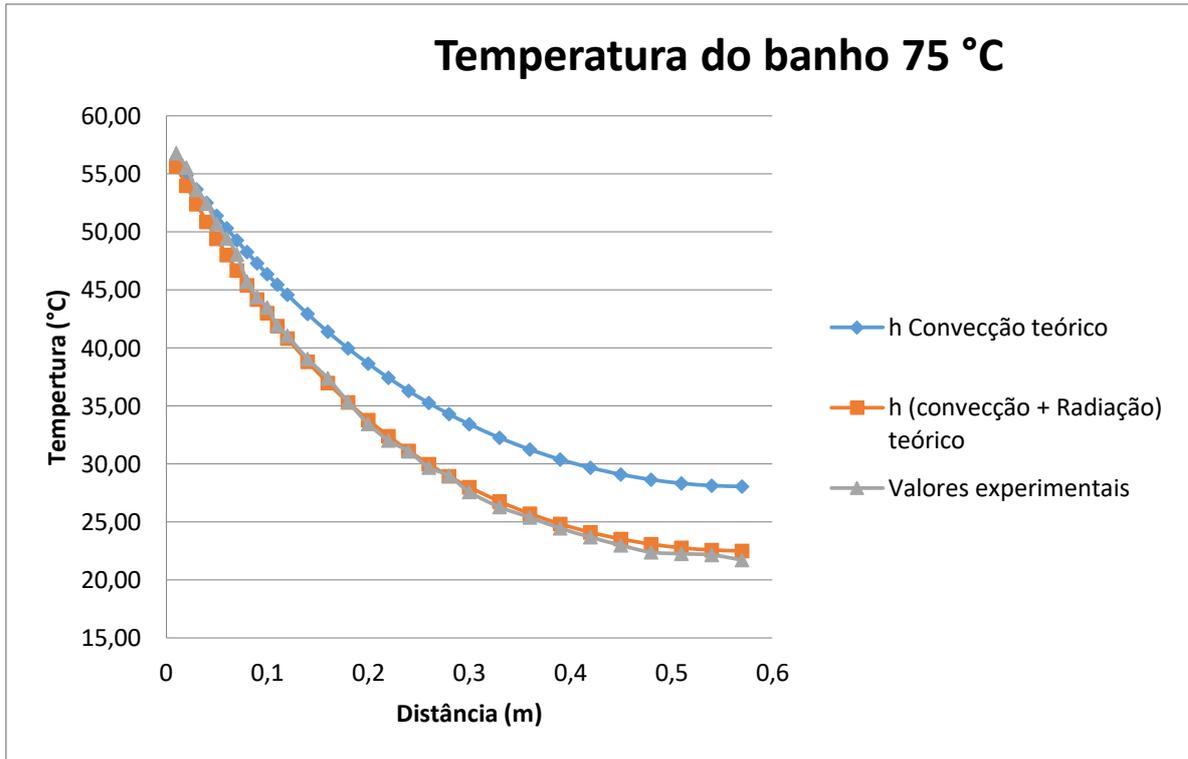
Fonte: Dados da Pesquisa, 2021.

Tabela 15 – Dados experimentais para temperatura de banho 75 °C

<b>Temperatura ambiente = 15,9 °C</b>				
<b>Distância</b>	<b>Temperatura do Banho °C</b>			<b>média</b>
	<b>75</b>	<b>75</b>	<b>75</b>	
0	57,2	57,0	58,0	57,4
1	56,8	56,8	56,8	56,8
2	55,5	55,5	55,7	55,6
3	53,4	53,6	53,9	53,6
4	52,5	52,4	52,5	52,5
5	50,3	50,6	51,2	50,7
6	49,0	49,8	49,6	49,5
7	47,7	48,3	48,2	48,1
8	44,5	46,5	46,2	45,7
9	44,2	44,7	44,3	44,4
10	43,0	43,8	43,7	43,5
11	41,5	42,2	42,1	41,9
12	40,6	41,5	41,1	41,1
14	38,7	39,4	39,1	39,1
16	37,2	37,7	37,3	37,4
18	35,3	35,5	35,3	35,4
20	33,6	33,3	33,5	33,5
22	31,9	32,2	32,0	32,0
24	31,0	31,1	31,2	31,1
26	29,5	29,9	29,7	29,7
28	29,2	29,1	28,7	29,0
30	27,6	27,7	27,5	27,6
33	26,2	26,3	26,4	26,3
36	25,1	25,4	25,7	25,4
39	24,5	24,7	24,2	24,5
42	23,7	23,7	23,7	23,7
45	23,0	22,8	23,2	23,0
48	22,4	22,4	22,4	22,4
51	22,2	22,3	22,3	22,3
54	22,1	22,2	22,2	22,2
57	21,7	21,8	21,7	21,7

Fonte: Dados da Pesquisa, 2021.

Figura 19 – Dados experimentais x valores teóricos para 75 °C



Fonte: Dados da Pesquisa, 2021.

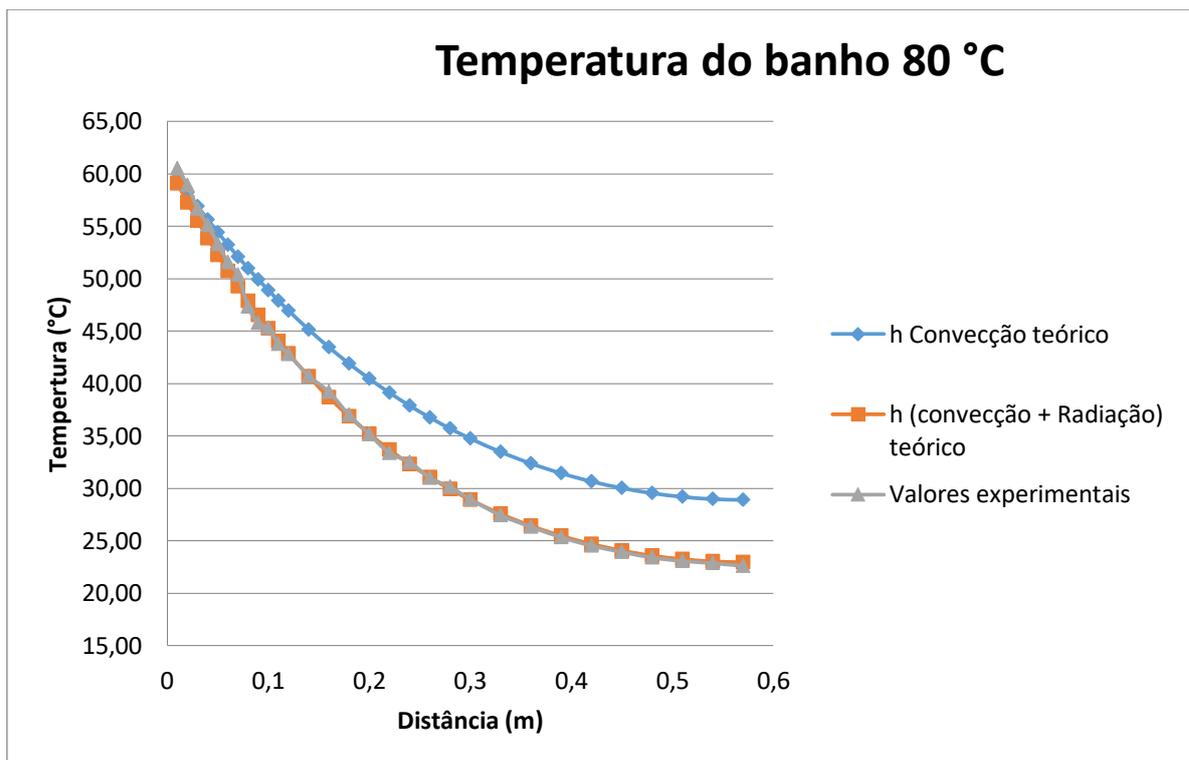
Tabela 16 – Dados experimentais para temperatura de banho 80 °C

Temperatura ambiente = 15,4 °C				
	Temperatura do Banho °C			
Distância	80	80	80	média
0	61,0	61,2	60,8	61,0
1	60,0	60,9	60,7	60,5
2	58,5	59,2	59,1	58,9
3	56,3	57,0	56,8	56,7
4	55,0	55,5	54,9	55,1
5	53,4	53,5	53,1	53,3
6	51,4	51,9	51,5	51,6
7	50,5	50,5	50,2	50,4
8	47,7	47,7	46,7	47,4
9	45,4	46,1	45,9	45,8
10	45,1	45,4	45,5	45,3
11	43,7	43,8	43,9	43,8
12	43,1	42,7	42,7	42,8
14	40,7	40,7	40,9	40,8
16	39,2	39,3	39,2	39,2

18	37,0	37,1	37,0	37,0
20	35,2	35,3	35,1	35,2
22	33,5	33,2	33,5	33,4
24	32,4	32,5	32,7	32,5
26	31,0	31,1	31,0	31,0
28	30,1	30,2	30,2	30,2
30	29,1	29,1	28,8	29,0
33	27,6	27,4	27,4	27,5
36	26,0	26,6	26,5	26,4
39	25,5	25,1	25,5	25,4
42	24,7	24,5	24,5	24,6
45	24,0	24,0	23,9	24,0
48	23,5	23,5	23,3	23,4
51	23,2	23,1	23,0	23,1
54	23,1	22,8	22,8	22,9
57	22,5	22,7	22,7	22,6

Fonte: Dados da Pesquisa, 2021.

Figura 20 – Dados experimentais x valores teóricos para 80 °C



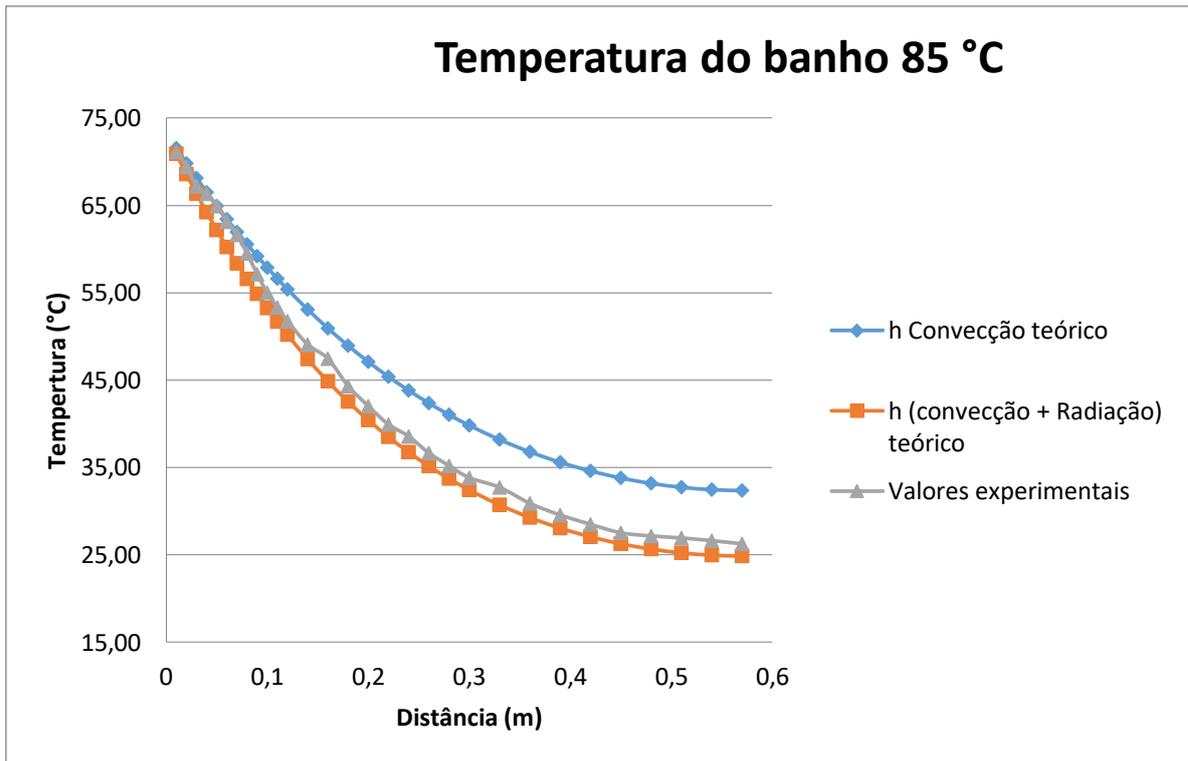
Fonte: Dados da Pesquisa, 2021.

Tabela 17 – Dados experimentais para temperatura de banho 85 °C

<b>Temperatura ambiente = 16,5 °C</b>				
	<b>Temperatura do Banho °C</b>			
<b>Distância</b>	<b>85</b>	<b>85</b>	<b>85</b>	<b>média</b>
0	74,3	73,0	72,8	73,4
1	74,0	69,8	69,6	71,1
2	71,2	69,0	68,1	69,4
3	68,0	67,1	66,5	67,2
4	67,7	66,5	64,8	66,3
5	66,6	64,7	63,5	64,9
6	64,8	63,2	61,4	63,1
7	63,0	61,9	60,0	61,6
8	61,0	59,7	57,8	59,5
9	59,3	56,8	55,3	57,1
10	56,9	54,6	53,5	55,0
11	54,7	53,2	52,1	53,3
12	52,7	51,8	50,8	51,8
14	49,7	49,4	48,1	49,1
16	48,0	47,9	46,5	47,5
18	45,0	44,2	43,8	44,3
20	42,0	42,8	41,3	42,0
22	39,5	40,8	39,5	39,9
24	38,4	39,4	37,9	38,6
26	36,4	37,5	36,1	36,7
28	35,2	35,7	34,7	35,2
30	33,6	34,4	33,5	33,8
33	32,0	33,5	32,7	32,7
36	30,3	31,8	30,6	30,9
39	28,9	30,2	29,6	29,6
42	27,4	29,3	28,8	28,5
45	27,1	28,3	27,2	27,5
48	26,6	27,7	27,2	27,2
51	26,5	27,3	27,0	26,9
54	26,1	27,1	26,7	26,6
57	25,8	26,8	26,2	26,3

Fonte: Dados da Pesquisa, 2021.

Figura 21 – Dados experimentais x valores teóricos para 85 °C



Fonte: Dados da Pesquisa, 2021.

## Apêndice 2 - Questionário prévio.

Aqui é apresentado o questionário prévio utilizado no minicurso.

Analise as sentenças e assinale a alternativa correta:

A taxa de transferência convectiva de calor não se altera ao longo da extensão da aleta, pois foi considerada a temperatura média da aleta no cálculo do coeficiente de película

Na metodologia proposta foi utilizado um valor de  $h$  constante para toda a aleta, mas a variação da temperatura da superfície, ao longo da extensão da aleta,  $T_s$ . indica que o valor desta taxa diminui da base em direção à extremidade livre da aleta

Na superfície aquecida de uma aleta exposta ao ar ambiente, a transferência de calor ocorre por convecção e radiação. A parcela de contribuição radiativa aumenta se houver movimentação forçada de ar.

Na superfície aquecida de uma aleta exposta ao ar ambiente, a parcela de radiativa de transferência de calor é inversamente proporcional à área desta superfície.

### **Mecanismos transferência calor A**

Assinale a alternativa correta:

Radiação, condução e convecção são os três mecanismos de transferência de calor, sendo que a radiação é o único mecanismo responsável pela propagação de calor na ausência de um meio material.

Radiação, convecção e reflexão são os três mecanismos de transferência de calor. A radiação de calor só ocorre na ausência de um meio material.

Convecção, radiação e condução são os três mecanismos de transferência de calor. A radiação do calor é proporcional à quinta potência da temperatura absoluta do corpo.

Condução, radiação e reflexão são os três mecanismos de transferência de calor. A radiação do calor pode ocorrer no vácuo e é proporcional à quarta potência da temperatura relativa de um corpo.

### **Mecanismos transferência calor A1**

Assinale a alternativa correta:

A condução é o mecanismo típico dos sólidos, e está associada à transferência de energia vibracional entre suas partículas. A condução é o mecanismo típico dos fluidos, sendo associada à movimentação de porções do fluido.

A condução, também denominada difusão, está associada à movimentação das partículas em um retículo sólido cristalino. A convecção, por sua vez, está associada à vibração das partículas de um fluido.

A convecção e a condução são proporcionais, respectivamente, ao gradiente de temperatura no interior de um objeto sólido e à diferença de temperatura na superfície de contato entre um sólido e um fluido.

Convecção e condução são mecanismos típicos de transferência de calor em sólidos e fluidos, respectivamente. A condução envolve a movimentação de porções de fluido junto a uma superfície sólida.

### **Mecanismos transferência calor B1**

Assinale a alternativa correta:

A convecção ou difusão do calor é um mecanismo de transferência de calor associado à energia vibracional das partículas. A condução de calor envolve a movimentação de porções de fluido.

A condução, também denominada difusão, está associada à movimentação das partículas em um retículo sólido cristalino. A convecção, por sua vez, está associada à vibração das partículas de um fluido.

A convecção e a condução são proporcionais, respectivamente, ao gradiente de temperatura no interior de um objeto sólido e à diferença de temperatura na superfície de contato entre um sólido e um fluido.

A condução e a convecção são os mecanismos típicos de transferência de calor nos sólidos e nos fluidos, respectivamente. A convecção está associada a movimentação de porções de fluido, e a condução à transferência de energia vibracional das partículas.

### **Mecanismos transferência calor C1**

Assinale a alternativa correta:

A condução ou difusão do calor é um mecanismo de transferência de calor associado à energia vibracional das partículas. A convecção de calor envolve a movimentação de porções de fluido.

A convecção, também denominada difusão, está associada à movimentação das partículas em um retículo sólido cristalino. A convecção, por sua vez, está associada à vibração das partículas de um fluido.

A convecção e a condução são proporcionais, respectivamente, ao gradiente de temperatura no interior de um objeto sólido e à diferença de temperatura na superfície de contato entre um sólido e um fluido.

A condução e a convecção são os mecanismos típicos de transferência de calor nos fluidos e nos sólidos, respectivamente. A condução está associada a movimentação de porções de fluido, e a convecção à transferência de energia vibracional das partículas.

### **Transferência de calor aletas 1**

Assinale a alternativa correta:

O calor é transferido da superfície aquecida de uma aleta para o ar ambiente por convecção e radiação. Numa condição de regime permanente e convecção natural, a contribuição da transferência radiativa tende a ser relevante e não pode ser desprezada.

Na superfície de uma aleta aquecida o calor transferido por radiação para o ar ambiente pode ser desprezado numa condição de convecção natural, pois o valor de  $h$  é muito alto nesta condição e diminui quando há movimentação forçada de ar.

Na superfície aquecida de uma aleta exposta ao ar ambiente, a transferência de calor ocorre por convecção e radiação. A parcela de contribuição radiativa aumenta se houver movimentação forçada de ar.

Na superfície aquecida de uma aleta exposta ao ar ambiente, a parcela de radiativa de transferência de calor é inversamente proporcional à área desta superfície.

Banco de questões aletas

- A1. Calor é uma forma de energia, que pode ser expressa em °C ou calorias
- A2. Calor é uma forma de energia, que pode ser expressa em Joules ou calorias.
- A3. Calor é uma forma de energia, que pode ser expressa em watts ou calorias.
- A4. Calor é uma forma diferenciada de energia que não pode ser expressa em Joules, mas apenas em calorias.
- 
- B1. Calor é energia em trânsito, que se transfere entre dois corpos quando há diferença de temperatura entre eles.
- B2. Calor e temperatura são grandezas físicas de mesma dimensão, pois só há transferência de calor entre dois corpos quando há diferença de temperatura entre eles.
- B3. Calor e temperatura não são grandezas físicas de mesma dimensão, mas só há transferência de calor entre dois corpos quando há diferença de temperatura entre eles.
- B4. Calor e temperatura são grandezas físicas de mesma dimensão, e ambos podem ser expressos em °C ou calorias.
- 
- C1. A temperatura de um corpo está associada à energia cinética e vibracional de suas moléculas.
- C2. A temperatura de um corpo é uma grandeza física que pode ser expressa em °C ou calorias.
- C3. A temperatura de um corpo está associada ao grau de agitação de suas moléculas.
- C4. A temperatura de um corpo é uma grandeza física que pode ser expressa em °C e em Kelvin.
- 
- D1. Ao aquecermos um corpo ocorre a diminuição do grau de agitação de suas moléculas.
- D2. Ao resfriarmos um corpo ocorre o aumento do grau de agitação de suas moléculas.
- D3. Ao aquecermos um corpo ocorre o aumento do grau de agitação de suas moléculas.
- D4. Ao resfriarmos um corpo ocorre a diminuição do grau de agitação de suas moléculas.
- 
- E1. Radiação, convecção e condução são mecanismos de transferência de calor
- E2. Radiação, reflexão e condução são os três mecanismos de transferência de calor
- E3. Radiação, reflexão e convecção são os três mecanismos de transferência de calor

- F1. A convecção do calor é um mecanismo associado à movimentação de uma corrente de fluido.
- F2. A convecção do calor é um mecanismo associado à vibração das partículas de um objeto sólido.
- F3. A condução do calor é um mecanismo associado à movimentação de uma corrente de fluido.
- F4. A condução do calor é um mecanismo associado à vibração das partículas de um objeto sólido.
- 
- G1. A transferência de calor por radiação somente ocorre no vácuo.
- G2. A transferência de calor por radiação pode ocorrer no vácuo.
- G3. Na ausência de um meio material, isto é, no vácuo, o calor é transferido por radiação.
- G4. Na ausência de um meio material, isto é, no vácuo, não ocorre transferência de calor.
- G5. A radiação é o único mecanismo responsável pela transferência de calor no vácuo.
- 
- H1. A taxa de transferência de calor entre dois corpos, por convecção, é diretamente proporcional à temperatura do objeto aquecido.
- H2. A taxa de transferência de calor entre dois corpos, por convecção, é diretamente proporcional à diferença de temperatura entre eles.
- H3. A taxa de transferência de calor por convecção, na superfície externa de um objeto sólido em contato com um fluido, é diretamente proporcional à área desta superfície.
- H4. A taxa de transferência de calor por convecção, na superfície externa de um objeto sólido em contato com um fluido, é inversamente proporcional à área desta superfície.
- 
- I1. Um objeto sólido aquecido irá resfriar mais rapidamente quando for promovida a movimentação do ar no seu entorno.
- I2. Um objeto sólido aquecido irá resfriar mais lentamente quando for promovida a movimentação do ar no seu entorno.
- I3. A taxa de transferência de calor por convecção entre um sólido aquecido e o ar ambiente aumenta com o aumento da velocidade do ar junto à superfície sólida.
- I4. A taxa de transferência de calor por convecção entre um sólido aquecido e o ar ambiente diminui com o aumento da velocidade do ar junto à superfície sólida.
- 
- J1. Aletas são dispositivos utilizados para aumentar a taxa de transferência de calor entre um objeto sólido e o fluido presente no seu entorno.
- J2. Aletas são dispositivos utilizados para diminuir a taxa de transferência de calor entre um objeto sólido e o fluido presente no seu entorno.

J3. Aletas são dispositivos utilizados para aumentar a quantidade de calor transferida por unidade de tempo entre um objeto sólido e o fluido presente no seu entorno.

J4. Aletas são dispositivos utilizados para diminuir a quantidade de calor transferida por unidade de tempo entre um objeto sólido e o fluido presente no seu entorno.

K1. A inserção de aletas em um objeto sólido aumenta a área de troca térmica e, conseqüentemente, aumenta a taxa de transferência de calor entre o sólido e o ar ambiente.

K2. A inserção de aletas em um objeto sólido aumenta o coeficiente convectivo de transferência de calor e, conseqüentemente, aumenta a taxa de transferência de calor entre o sólido e o ar ambiente.

K3. A inserção de aletas em um objeto sólido aumenta a área de troca térmica e, conseqüentemente, diminui a taxa de transferência de calor entre o sólido e o ar ambiente.

K4. A inserção de aletas em um objeto sólido diminui o coeficiente convectivo de transferência de calor e, conseqüentemente, aumenta a taxa de transferência de calor entre o sólido e o ar ambiente.

K5. A inserção de aletas em um objeto sólido tem como objetivo aumentar a área de troca térmica entre este objeto e o fluido em seu entorno.

L1. Na superfície exposta de uma aleta ao ar ambiente, a transferência de calor ocorre apenas pelo mecanismo de convecção.

L2. Na superfície exposta de uma aleta ao ar ambiente, a transferência de calor ocorre apenas pelos mecanismos de convecção e condução.

L3. Na superfície exposta de uma aleta aquecida, o calor é transferido para o ar ambiente pelos mecanismos de convecção e radiação.

L4. Na superfície exposta de uma aleta aquecida, o calor é transferido para o ar ambiente apenas pelo mecanismo de condução.

L5. Na interior de uma aleta aquecida, o calor é transferido por condução.

### Apêndice 3 - Questionário final, banco de questões.

#### Calor e Temperatura conceitos A

Assinale a alternativa correta:

Calor é uma forma de energia, e a quantidade de calor contida em um corpo pode ser expressa em Joules ou calorias. A temperatura é uma forma de avaliar o calor contido em um corpo.

A temperatura é uma medida do grau de agitação das moléculas de um corpo. O calor é energia em trânsito, que se transfere de um corpo para outro quando há diferença de temperatura entre eles.

Calor é uma forma de energia cinética, proporcional à temperatura de um corpo. A temperatura é uma medida da velocidade média das moléculas de um corpo.

A temperatura de um corpo é proporcional ao quadrado da velocidade média das partículas de um corpo. O calor contido em um corpo é proporcional à velocidade média de suas moléculas.

#### Calor e Temperatura conceitos B

Assinale a alternativa correta:

Calor é uma forma de energia, que se transfere quando há diferença de temperatura entre dois corpos. A temperatura é uma medida do grau de agitação das partículas de um corpo.

Calor, ou energia térmica, é a quantidade de energia que se acumula em um corpo, sendo diretamente proporcional à massa e à temperatura do corpo.

Calor é uma forma de energia cinética, proporcional à temperatura de um corpo. A temperatura é uma medida da velocidade média das moléculas de um corpo.

O calor de um corpo é proporcional à temperatura absoluta de um corpo. A temperatura é inversamente proporcional ao quadrado da velocidade média das partículas de um corpo.

#### Calor e Temperatura conceitos C

Assinale a alternativa correta:

Calor é uma forma de energia, e a quantidade de calor armazenada em um corpo pode ser expressa em watts ou calorias. A temperatura de um corpo é proporcional à velocidade média de suas moléculas.

Calor e temperatura são grandezas físicas de natureza distinta, sendo proporcionais ao grau de agitação das moléculas de um corpo.

Calor é uma forma de energia, que se transfere entre dois corpos quando há diferença de temperatura entre eles. A temperatura é uma medida do grau de agitação das moléculas de um corpo.

Calor é uma forma de energia cinética, proporcional à velocidade média das partículas de um objeto. A temperatura de um objeto está relacionada à quantidade de calor nele contida.

**Calor e Temperatura unidades A**

Assinale a alternativa correta:

Calor e temperatura são grandezas físicas de natureza distinta. O calor pode ser expresso em calorias ou Joules, e a temperatura pode ser expressa em graus °C ou K.

Calor e temperatura são grandezas físicas de natureza distinta, mas ambas podem ser expressas em °C ou calorias

Calor e temperatura são grandezas físicas de mesma natureza, e ambas podem ser expressas em °C ou calorias.

Calor e temperatura são grandezas físicas de mesma natureza e podem ser expressas com as mesmas unidades, pois o calor aumenta com o aumento da temperatura.

**Calor e Temperatura unidades B**

Assinale a alternativa correta:

Calor e temperatura são grandezas físicas de natureza distinta, sendo que o calor transferido entre dois corpos é expresso em unidades de energia.

Calor e temperatura são grandezas físicas de natureza distinta, mas ambas podem ser expressas em °C ou calorias

Calor e temperatura são grandezas físicas de mesma natureza e podem ser expressas com as mesmas unidades, pois o calor aumenta com o aumento da temperatura.

Calor e temperatura são grandezas físicas de natureza distinta, mas podem ser expressas com as mesmas unidades, pois tanto calor como a temperatura podem ser expressos em calorias.

**Calor e Temperatura unidades C**

Assinale a alternativa correta:

Temperatura e calor são grandezas físicas de natureza distinta. O calor pode ser expresso em calorias ou Joules, e a temperatura pode ser expressa em K ou °F.

Calor e temperatura são grandezas físicas de natureza distinta, mas ambas podem ser expressas em °F ou calorias.

Calor e temperatura são grandezas físicas de mesma natureza; e, conseqüentemente, podem ser expressas nas mesmas unidades.

Calor e temperatura são grandezas físicas de natureza distinta, mas que podem ser expressas com as mesmas unidades, pois o calor aumenta com o aumento da temperatura.

### Parâmetros em transferência de calor a

Identifique os parâmetros e demais termos associados à transferência de calor.

$h$

$k$

$\varepsilon$

$\sigma$

constante de Stefan-Boltzmann  
 coeficiente convectivo de transferência de calor  
 coeficiente de emissividade  
 condutividade térmica do sólido

### Parâmetros em transferência de calor b

Identifique os parâmetros e demais termos associados à transferência de calor.

$h$

$k$

$\varepsilon$

$\sigma$

constante de Stefan-Boltzmann  
 coeficiente convectivo de transferência de calor  
 coeficiente de emissividade  
 condutividade térmica do sólido

### Mecanismos transferência de calor A

A equação [[1]] descreve o mecanismo de [[2]], sendo tal equação originalmente proposta por [[3]] ao estudar o resfriamento de um objeto exposto ao ar ambiente. Esse mecanismo é tipicamente associado [[4]]. Nesta equação



A equação [[9]] , originalmente proposta por [[10]] ao estudar o resfriamento de um objeto exposto ao ar ambiente, descreve o mecanismo de [[11]] , o qual está associado [[12]]. Nesta equação a taxa de transferência de calor é proporcional à diferença de temperatura entre o objeto e o fluido com o qual ele está em contato.

$$q = -k. A. \frac{dT}{dx}$$

( I )

$$q = \epsilon. \sigma. A. (T_s^4 - T_{amb}^4)$$

( II )

$$q = h. A. (T_s - T_{amb.})$$

( III )

### Mecanismos transferência de calor D

A equação [[1]] descreve o mecanismo de [[2]] , no qual o calor é transferido de uma partícula para outra, no interior de um [[3]] , sem que ocorra a movimentação destas partículas. Esta equação é conhecida como [[4]] .

A equação [[5]] descreve o mecanismo de [[6]] , sendo tal equação proposta por [[7]] . O calor transferido por esse mecanismo ocorre também no vácuo e é proporcional à [[8]] da temperatura absoluta do corpo.

A partir dos estudos de [[9]] sobre o resfriamento de um objeto exposto ao ar ambiente foi proposta a equação [[10]] , que descreve o mecanismo de [[11]] , o qual está associado [[12]] . Nessa equação, a taxa de transferência de calor é diretamente proporcional à diferença entre a temperatura do objeto e do ar circundante.

$$q = h. A. (T_s - T_{amb.})$$

( I )

$$q = -k. A. \frac{dT}{dx}$$

( II )

$$q = \epsilon. \sigma. A. (T_s^4 - T_{amb}^4)$$

( III )

### Transferência de calor aletas I \_ A

Analise as sentenças abaixo e assinale a alternativa correta:

- I. O calor é transferido da superfície aquecida de uma aleta para o ar por convecção e radiação.
- II. Aletas são utilizadas para aumentar a superfície de troca térmica entre um objeto sólido e o ar; e, conseqüentemente, para diminuir a taxa de transferência de calor nesta superfície.

Apenas a afirmativa I está correta.

Apenas a afirmativa II está correta.

Todas as afirmativas estão corretas.

Nenhuma alternativa está correta.

**Transferência de calor aletas I \_ B**

Analise as sentenças abaixo e assinale a alternativa correta:

- I. O calor é transferido da superfície aquecida de uma aleta para o ar por convecção e radiação.
- II. Aletas são utilizadas para aumentar a superfície de troca térmica entre um objeto sólido e o ar; e, consequentemente, para aumentar a taxa de transferência de calor nesta superfície.

Apenas a afirmativa I está correta.

Apenas a afirmativa II está correta.

Todas as afirmativas estão corretas.

Nenhuma alternativa está correta.

**Transferência de calor aletas I \_ C**

Analise as sentenças abaixo e assinale a alternativa correta:

- I. O calor é transferido da superfície aquecida de uma aleta para o ar apenas por convecção.
- II. Aletas são utilizadas para aumentar a superfície de troca térmica entre um objeto sólido e o ar; e, consequentemente, para diminuir a taxa de transferência de calor nesta superfície.

Apenas a afirmativa I está correta.

Apenas a afirmativa II está correta.

Todas as afirmativas estão corretas.

Nenhuma alternativa está correta.

**Transferência de calor aletas I \_ D**

Analise as sentenças abaixo e assinale a alternativa correta:

- I. O calor é transferido da superfície aquecida de uma aleta para o ar apenas por convecção.
- II. Aletas são utilizadas para aumentar a superfície de troca térmica entre um objeto sólido e o ar; e, consequentemente, para aumentar a taxa de transferência de calor nesta superfície.

Apenas a afirmativa I está correta.

Apenas a afirmativa II está correta.

Todas as afirmativas estão corretas.

Nenhuma alternativa está correta.

**Transferência de calor aletas I \_ E**

Analise as sentenças abaixo e assinale a alternativa correta:

I. Aletas são utilizadas para aumentar a superfície de troca térmica entre um objeto sólido e o ar; e, conseqüentemente, para aumentar a taxa de transferência de calor nesta superfície.

II. O calor é transferido da superfície aquecida de uma aleta para o ar apenas por condução e radiação.

Apenas a afirmativa I está correta.

Apenas a afirmativa II está correta.

Todas as afirmativas estão corretas.

Nenhuma alternativa está correta.

**Transferência de calor aletas II \_ A**

Analise as sentenças abaixo e assinale a alternativa correta:

I. A movimentação forçada do ar na superfície de uma aleta tende a aumentar o valor do coeficiente de película e, conseqüentemente, também irá aumentar o calor transferido por radiação nesta superfície.

II. Quanto maior for o coeficiente de emissividade da superfície da aleta, maior será o calor transferido por convecção nesta superfície.

III. No experimento realizado foi utilizado uma barra metálica pintada de preto, o que tornou a taxa de transferência de calor por radiação na superfície da aleta maior que o valor dessa taxa para uma barra metálica polida.

Apenas a afirmativa I está correta.

Apenas as afirmativas II e III estão corretas.

Apenas a afirmativa III está correta.

Apenas as afirmativas I e II estão corretas

**Transferência de calor aletas II \_ B**

Analise as sentenças abaixo e assinale a alternativa correta:

I. A movimentação forçada do ar na superfície de uma aleta tende a aumentar o valor do coeficiente de película e, conseqüentemente, também irá aumentar o calor transferido por convecção nesta superfície.

II. Quanto maior for o coeficiente de emissividade da superfície da aleta, maior será o calor transferido por radiação nesta superfície.

III. No experimento realizado foi utilizado uma barra metálica pintada de preto, o que tornou a taxa de

transferência de calor por radiação na superfície da aleta menor que o valor dessa taxa para uma barra metálica polida.

Apenas a afirmativa I está correta.

Apenas as afirmativas II e III estão corretas.

Apenas a afirmativa III está correta.

Apenas as afirmativas I e II estão corretas

### **Transferência de calor aletas II \_ C**

Analise as sentenças abaixo e assinale a alternativa correta:

I. No experimento realizado foi utilizado uma barra metálica pintada de preto, o que tornou a taxa de transferência de calor por radiação na superfície da aleta maior que o valor dessa taxa para uma barra metálica polida.

II. A movimentação forçada do ar na superfície de uma aleta tende a diminuir o valor do coeficiente de película e, conseqüentemente, também irá diminuir o calor transferido por convecção nesta superfície.

III. Quanto menor for o coeficiente de emissividade da superfície da aleta, menor será o calor transferido por radiação nesta superfície.

Apenas a afirmativa I está correta.

Apenas as afirmativas II e III estão corretas.

Apenas a afirmativa III está correta.

Apenas as afirmativas I e II estão corretas

### **Transferência de calor aletas II \_ D**

Analise as sentenças abaixo e assinale a alternativa correta:

I. No experimento realizado foi utilizado uma barra metálica pintada de preto, o que tornou a taxa de transferência de calor por radiação na superfície da aleta menor que o valor dessa taxa para uma barra metálica polida.

II. A movimentação forçada do ar na superfície de uma aleta tende a aumentar o valor do coeficiente de película e, conseqüentemente, também irá aumentar o calor transferido por convecção nesta superfície.

III. Quanto maior for o coeficiente de emissividade da superfície da aleta, maior será o calor transferido por radiação nesta superfície.

Apenas a afirmativa I está correta.

Apenas as afirmativas II e III estão corretas.

Apenas a afirmativa III está correta.

Apenas as afirmativas I e II estão corretas

### **Transferência de calor aletas II \_ E**

Analise as sentenças abaixo e assinale a alternativa correta:

I. No experimento realizado foi utilizado uma barra metálica pintada de preto, o que tornou a taxa de transferência de calor por radiação na superfície da aleta menor que o valor dessa taxa para uma barra metálica polida.

II. Quanto maior for o coeficiente de emissividade da superfície da aleta, maior será o calor transferido por radiação nesta superfície.

III. A movimentação forçada do ar na superfície de uma aleta tende a diminuir o valor do coeficiente de película e, conseqüentemente, também irá diminuir o calor transferido por convecção nesta superfície.

Apenas a afirmativa I está correta.

Apenas as afirmativas II e III estão corretas.

Apenas a afirmativa III está correta.

Apenas as afirmativas I e II estão corretas

### **Perfil temperatura aletas A**

No experimento proposto, os ensaios realizados possibilitam obter o perfil de temperatura ao longo de uma aleta (perfil experimental). O perfil experimental é comparado com dois perfis teóricos de temperatura. Analise as sentenças abaixo

I. Os desvios entre o perfil experimental e o perfil teórico que considera a transferência de calor por radiação e convecção são menores que os desvios entre o perfil experimental e o perfil teórico que considera apenas a transferência de calor por convecção na superfície da aleta

II. O perfil teórico que considera apenas a convecção na superfície da aleta apresenta valores de temperatura menores que os valores correspondentes ao perfil teórico que considera a convecção e a radiação nesta superfície.

Apenas a afirmativa I está correta.

Todas as afirmativas estão corretas.

Apenas a afirmativa II está correta.

Nenhuma afirmativa está correta.

### **Perfil temperatura aletas B**

No experimento proposto, os ensaios realizados possibilitam obter o perfil de temperatura ao longo de uma aleta (perfil experimental). O perfil experimental é comparado com dois perfis teóricos de temperatura. Analise as sentenças abaixo

I. Um dos perfis teóricos está associado a um modelo que considera a transferência de calor apenas por radiação na superfície da aleta; e, o outro, a um modelo que considera a transferência de calor por convecção e radiação nesta superfície.

II. O perfil teórico que considera apenas a radiação na superfície da aleta apresenta valores de temperatura menores que os valores correspondentes ao perfil teórico que considera a convecção e a radiação nesta superfície.

Apenas a afirmativa I está correta.

Todas as afirmativas estão corretas.

Apenas a afirmativa II está correta.

Nenhuma afirmativa está correta

### **Perfil temperatura aletas C**

No experimento proposto, os ensaios realizados possibilitam obter o perfil de temperatura ao longo de uma aleta (perfil experimental). O perfil experimental é comparado com dois perfis teóricos de temperatura. Analise as sentenças abaixo

I. Um dos perfis teóricos está associado a um modelo que considera a transferência de calor apenas por convecção na superfície da aleta; e, o outro, a um modelo que considera a transferência de calor por convecção e radiação nesta superfície.

II. O perfil teórico que considera apenas a convecção na superfície da aleta apresenta valores de temperatura maiores que os valores correspondentes ao perfil teórico que considera a convecção e a radiação nesta superfície.

Apenas a afirmativa I está correta.

Todas as afirmativas estão corretas.

Apenas a afirmativa II está correta.

Nenhuma afirmativa está correta

### **Perfil temperatura aletas D**

No experimento proposto, os ensaios realizados possibilitam obter o perfil de temperatura ao longo de uma aleta (perfil experimental). O perfil experimental é comparado com dois perfis teóricos de temperatura. Analise as sentenças abaixo

I. Os desvios entre o perfil experimental e o perfil teórico que considera a transferência de calor por radiação e convecção são maiores que os desvios entre o perfil experimental e o perfil teórico que considera apenas a transferência de calor por convecção na superfície da aleta

II. O perfil teórico que considera apenas a convecção na superfície da aleta apresenta valores de temperatura maiores que os valores correspondentes ao perfil teórico que considera a convecção e a radiação nesta superfície.

Apenas a afirmativa I está correta.

Todas as afirmativas estão corretas.

Apenas a afirmativa II está correta.

Nenhuma afirmativa está correta

### **Perfil temperatura aletas E**

No experimento proposto, os ensaios realizados possibilitam obter o perfil de temperatura ao longo de uma aleta (perfil experimental). O perfil experimental é comparado com dois perfis teóricos de temperatura. Analise as sentenças abaixo

I. Um dos perfis teóricos está associado a um modelo que considera a transferência de calor apenas por convecção na superfície da aleta; e, o outro, a um modelo que considera a transferência de calor apenas por radiação nesta superfície.

II. Os desvios entre o perfil experimental e o perfil teórico são menores quando se considera a transferência de calor por convecção e radiação na superfície da aleta.

Apenas a afirmativa I está correta.

Todas as afirmativas estão corretas.

Apenas a afirmativa II está correta.

Nenhuma afirmativa está correta

### **Perfil temperatura aletas F**

No experimento proposto, os ensaios realizados possibilitam obter o perfil de temperatura ao longo de uma aleta (perfil experimental). O perfil experimental é comparado com dois perfis teóricos de temperatura. Analise as sentenças abaixo

I. Um dos perfis teóricos está associado a um modelo que considera a transferência de calor apenas por convecção na superfície da aleta; e, o outro, a um modelo que considera a transferência de calor por convecção e radiação nesta superfície.

II. Os desvios entre o perfil experimental e o perfil teórico são menores quando se considera a transferência de calor apenas por convecção na superfície da aleta.

Apenas a afirmativa I está correta.

Todas as afirmativas estão corretas.

Apenas a afirmativa II está correta.

Nenhuma afirmativa está correta.

Apêndice 4 - Questionário de avaliação final.

1. O que você achou do Questionário Prévio, no que diz respeito à clareza das questões formuladas e sua adequação ao assunto abordado no minicurso?

- (0) Sem opinião
- (1) Muito ruim
- (2) Ruim
- (3) Regular
- (4) Bom
- (5) Muito bom

2. Como você avalia o grau de dificuldade do Questionário Prévio?

- (0) Sem opinião
- (1) Muito difícil
- (2) Difícil
- (3) Regular
- (4) Fácil
- (5) Muito fácil

3. Em relação ao Questionário Prévio, assinale TODAS as alternativas com as quais você concorda

- O número de questões é adequado
- O número de questões é excessivo, tornando cansativa esta tarefa
- O número de questões é insuficiente para avaliar o conhecimento do aluno
- As questões são muito fáceis, o que não permite avaliar o conhecimento prévio do aluno
- As questões são muito difíceis, o que não possibilita uma avaliação adequada do conhecimento prévio do aluno
- O grau de dificuldade das questões apresentadas é adequado
- As dúvidas suscitadas e os questionamentos apresentados nesta atividade tendem a estimular o aprendizado do aluno nas demais atividades do minicurso
- As dúvidas suscitadas nesta atividade tendem a confundir o aluno, dificultando sua aprendizagem nas demais atividades do minicurso
- Esta atividade não influencia no aprendizado do aluno nas demais atividades do minicurso, mas deve ser mantida pois possibilita avaliar o grau de aprendizagem no minicurso
- Esta atividade não influencia no aprendizado do aluno nas demais atividades do minicurso, e deve ser excluída

4. O que você achou da videoaula, no que diz respeito ao tempo de duração:

- (0) Sem opinião
- (1) Muito curto
- (2) Curto
- (3) Adequado
- (4) Longo
- (5) Muito longo

5. O que você achou da vídeo aula, no que diz respeito às imagens e animações apresentadas:

- (0) Sem opinião
- (1) As imagens e animações estão adequadas ao conteúdo abordado no vídeo
- (2) As imagens e animações poderiam ser melhor selecionadas para se adequar ao conteúdo abordado no vídeo
- (3) As imagens e animações selecionadas estão fora do contexto do conteúdo abordado no vídeo
- (4) As imagens e animações selecionadas estão totalmente fora de contexto e são inadequadas ao conteúdo abordado no vídeo

6. O que você achou da videoaula no que diz respeito à sincronização do áudio com a sincronização das imagens e animações?

- (0) Sem opinião
- (1) Áudio e imagens estão sincronizados, facilitando a compreensão do conteúdo apresentado na videoaula
- (2) Há pequenas falhas na sincronização entre áudio e imagens, mas tais falhas não prejudicam o entendimento do conteúdo ministrado
- (3) Áudio e imagens estão fora de sincronia, dificultando a compreensão do conteúdo apresentado na videoaula
- (4) Áudio e imagens estão totalmente fora de sincronia, dificultando em demasia a compreensão do conteúdo apresentado na videoaula

7. Em relação à Videoaula, assinale TODAS as alternativas com as quais você concorda

- Os conteúdos ministrados, a linguagem utilizada e as imagens apresentadas estão adequados aos objetivos do minicurso
- A linguagem utilizada, o roteiro, a estrutura narrativa e a produção estão organizados de forma a facilitar a aprendizagem do assunto abordado
- O roteiro, a estrutura narrativa e a produção estão organizados de forma inadequada, pois a Videoaula é muito longa e apresenta um conteúdo muito extenso, dificultando a aprendizagem do assunto abordado
- A Videoaula tem um tempo de duração longo e o conteúdo abordado é extenso, mas o acesso assíncrono possibilita ao aluno visualizações sucessivas dos trechos que se mostraram mais difíceis de serem compreendidos
- De modo geral, a Videoaula facilita a aprendizagem e propicia ao aluno uma melhor compreensão dos ensaios realizados na aula experimental
- De modo geral, a Videoaula é dispensável, pois as informações ali contidas podem ser facilmente acessadas

em um livro didático que trata do assunto

- Os conceitos abordados são muito difíceis e o conteúdo é demasiadamente complexo em relação aos objetivos da Aula Experimental, de modo que a Videoaula não auxilia na compreensão dos ensaios realizados na Aula Experimental
- A inserção desta atividade é fundamental para facilitar o aprendizado do conteúdo abordado, pois possibilita uma visão inicial do assunto a partir de explicações detalhadas dos conceitos teóricos e exemplos numéricos das equações empregadas

8. O que você achou do Questionário Final, no que diz respeito à clareza das questões formuladas e sua adequação ao assunto abordado no minicurso?

- (0) Sem opinião
- (1) Muito Ruim
- (2) Ruim
- (3) Regular
- (4) Bom
- (5) Muito bom

9. Como você avalia o grau de dificuldade do Questionário Final?

- (0) Sem opinião
- (1) Muito difícil
- (2) Difícil
- (3) Regular
- (4) Fácil
- (5) Muito fácil

10. Em relação ao Questionário Final, assinale TODAS as alternativas com as quais você concorda.

- O número de questões é adequado
- O número de questões é excessivo, tornando cansativa esta tarefa
- O número de questões é insuficiente para avaliar o conhecimento adquirido pelo aluno durante o minicurso
- As questões são muito fáceis, o que não permite avaliar o conhecimento adquirido pelo aluno durante o minicurso
- As questões são muito difíceis, o que não possibilita uma avaliação adequada do conhecimento adquirido durante o minicurso
- O grau de dificuldade das questões apresentadas é adequado
- As dúvidas suscitadas nesta atividade tendem a confundir o aluno e prejudicar sua aprendizagem
- A realização desta atividade é útil para fixar o conhecimento adquirido pelo aluno, bem como para avaliar a eficiência do minicurso
- A realização desta atividade possibilita fixar o conhecimento adquirido pelo aluno e demonstrar a ele a validade da metodologia empregada no minicurso

A realização desta atividade não é útil para o aluno, mas deve ser mantida para avaliar o grau de aprendizagem no minicurso

A realização desta atividade não é útil para o aluno, e deve ser excluída

11. Em relação à Aula Experimental, assinale TODAS as alternativas com as quais você concorda.

A aula experimental possibilita uma melhor aprendizagem do conteúdo ministrado, pois a visualização dos ensaios é útil e esclarecedora, possibilitando ao aluno dirimir dúvidas diretamente com o professor.

A aula experimental é necessária e indispensável, pois permite interação com o professor e demais alunos, propiciando dirimir dúvidas e observar o comportamento térmico de uma aleta na prática.

A aula experimental foi longa e cansativa, e a visualização na forma remota (não presencial) desta atividade é uma modalidade inadequada e ineficiente do ponto de vista da aprendizagem.

A aula experimental foi útil e esclarecedora, mas a realização na forma remota (não-presencial) desta atividade dificulta a aprendizagem.

A aula experimental foi regular, pois a realização na forma remota não possibilita uma aprendizagem adequada.

A aula experimental foi útil e esclarecedora, e mostrou-se vinculada com as demais atividades do minicurso: questionários e videoaula.

A aula experimental foi útil e esclarecedora, mas não havia relação entre as atividades práticas e o conteúdo abordado nas atividades iniciais do minicurso.

A aula experimental é melhor compreendida após realizar o questionário inicial e a videoaula, pois isto possibilita uma vinculação da teoria com a prática.

A videoaula e o questionário inicial são dispensáveis, pois a aula experimental é útil e esclarecedora e o conteúdo teórico pode ser acessado em livros didáticos.

12. Escreva aqui suas críticas, comentários e sugestões a respeito das atividades que integram este minicurso

## **ANEXOS**

**Anexo 1** – Ementa da disciplina de transferência de calor da UNESP.

## PROGRAMA DE ENSINO

UNIDADE UNIVERSITÁRIA: UNESP – CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA
CURSO: ENGENHARIA MECÂNICA (Resolução UNESP nº 74/2004 - Currículo: 4)
HABILITAÇÃO:
OPÇÃO:
DEPARTAMENTO RESPONSÁVEL: Engenharia Mecânica

CÓDIGO	DISCIPLINA OU ESTÁGIO	SERAÇÃO IDEAL/PERÍODO
MEC0944	Transferência de Calor e Massa I	3º/6º

OBRIGATORIA/ OPTATIVA/ ESTAGIO	PRÉ-REQUISITO	CO-REQUISITO	ANUAL	SEMESTRAL
Obrigatória	021-Matemática Aplicada à Engenharia Mecânica		( )	1º SEM. { X } 2º SEM. { X }

CRÉDITOS	CARGA HORÁRIA TOTAL	DISTRIBUIÇÃO DA CARGA HORÁRIA			
		TEÓRICA	PRÁTICA	TEÓRICO-PRÁTICA	OUTRAS
04	60	42	18		

NÚMERO MÁXIMO DE ALUNOS POR TURMA			
AULAS TEÓRICAS	AULAS PRÁTICAS	AULAS TEÓRICO-PRÁTICAS	OUTRAS
60	15		

<b>OBJETIVOS:</b> (ao término da disciplina o aluno deverá ser capaz de) <ul style="list-style-type: none"> <li>-Entender a transferência de calor e massa como uma ciência de base, indispensável à prática da Engenharia Mecânica.</li> <li>-Diferenciar os modos básicos de transferência de calor por condução, convecção e radiação.</li> <li>-Aplicar os conceitos de transferência de calor e massa na modelagem de problemas.</li> <li>-Aplicar métodos analíticos e numéricos à solução de problemas de transferência de calor por condução e radiação.</li> <li>-Trabalhar com equipamentos e instrumentos de medição associados aos fenômenos de transferência de calor e massa.</li> <li>-Elaborar relatórios técnicos.</li> </ul>
--

**CÓDIGO E DISCIPLINA:** MEC0944 – Transferência de Calor e Massa I  
**CURSO:** Engenharia Mecânica (Resolução UNESP nº 74/2004 - Currículo: 4)

**CONTEÚDO PROGRAMÁTICO: (Título e discriminação das Unidades)**

- 1. Introdução**
  - 1.1 - Modos de transferência de calor
  - 1.2 - Leis básicas de transferência de calor
  - 1.3 - Relação com a termodinâmica
  - 1.4 - A exigência da conservação de energia
  - 1.5 - Unidades e dimensões
- 2. Introdução à Condução de Calor**
  - 2.1 - Equação da taxa de condução
  - 2.2 - Propriedades térmicas da matéria
  - 2.3 - Equação da difusão de calor
  - 2.4 - Condições inicial e de contorno
  - 2.5 - Medições de temperatura usando termopares: confecção, aferição e fixação de termopares, milivoltímetros digitais e registradores potenciométricos (1ª prática).
- 3. Condução de calor unidimensional em regime permanente**
  - 3.1 - Paredes de configuração geométrica simples
  - 3.2 - Analogia entre difusão de calor e de carga elétrica
  - 3.3 - Estruturas compostas
  - 3.4 - Condução com geração de energia térmica
  - 3.5 - Transferência de calor em superfícies estendidas
  - 3.6 - Determinação experimental do perfil de temperaturas em aletas cilíndricas e cônicas (2ª prática).
- 4. Condução de calor bidimensional em regime permanente**
  - 4.1 - Alternativas de procedimento
  - 4.2 - O método da separação de variáveis
  - 4.3 - O método de diferenças finitas
  - 4.4 - Resolução das equações geradas pelo método de diferenças finitas
  - 4.5 - Determinação da condutividade térmica de sólidos (3ª prática).
- 5. Condução de calor em regime transiente**
  - 5.1 - Método da capacitância global
  - 5.2 - Parede plana com convecção
  - 5.3 - Sistemas radiais com convecção
  - 5.4 - O sólido semi-infinito
  - 5.5 - Efeitos multidimensionais
  - 5.6 - Método de diferenças finitas para regime transiente
- 6. Transferência de calor por radiação**
  - 6.1 - Introdução e conceitos fundamentais
  - 6.2 - Intensidade da radiação
  - 6.3 - Radiação de corpo negro
  - 6.4 - Absorção, reflexão e transferência superficiais
  - 6.5 - Lei de Kirchhoff
  - 6.6 - Superfície cinza

**CÓDIGO E DISCIPLINA:** MEC0944 – Transferência de Calor e Massa I

**CURSO:** Engenharia Mecânica (Resolução UNESP nº 74/2004 - Currículo: 4)

**METODOLOGIA DE ENSINO:**

A metodologia do curso consiste de aulas expositivas, demonstrativas e na proposição de experimentos, a serem realizados no Laboratório de Transferência de Calor e Massa. Os procedimentos experimentais serão discutidos, a execução de experimentos será acompanhada e os resultados obtidos deverão constar em relatórios técnicos elaborados pelos alunos, seguindo normas pré-estabelecidas, a serem apresentados na semana posterior à execução dos experimentos.

**PODERÁ SER INCLUÍDO ESTÁGIO DE DOCÊNCIA.**

**BIBLIOGRAFIA BÁSICA E COMPLEMENTAR:** (de tal forma que as primeiras sejam concisas e dêem conta do conteúdo programático das disciplinas)

**BÁSICA:**

INCROPERA, F.P., Fundamentos de Transferência de Calor e Massa, Editora: LTC, ISBN 8521613784, 5ª edição, 698 p., 2003.

BEJAN, A., Transferência de Calor, Edgard Blücher, ISBN 8521200269, 1ª edição, 540 p., 1996.

**COMPLEMENTAR:**

ÖZISIK, M.N., Transferência de Calor: Um Texto Básico, Editora LTC, ISBN 852770160X, 1ª edição, 662 p., 1990.

KREITH, F., BOHN, M. S., Princípios de Transferência de Calor, Editora Thomson Pioneira, ISBN 8522102848, 1ª edição, 623 p., 2003.

HOLMAN, J.P., Heat Transfer, McGraw-Hill Science, ISBN: 0072406550, 9ª edição, 688 p., 2001.

ARPACI, V.S., Conduction Heat Transfer, Pearson Custom Pub., ISBN: 0536580162, 490 p., 1991.

SIEGEL, R., HOWELL, J.R., Thermal Radiation Heat Transfer, McGraw-Hill, ISBN: 0891162712, 1096 p., 1992.1972.

KAVIANY, M., Principles of Heat Transfer, Wiley-Interscience, ISBN 0471434639, 1000 p., 2001.

ISMAIL, K.A.R., Fenômenos de Transferência - Experiências de Laboratório, Ed. Campos, 1982.

BENEDICT, R.P., Fundamentals of Temperature, Pressure and Flow Measurements, John Wiley & Sons, 1977.

DOEBLIN, E.O., Measurement Systems, Applications and Design, Tokio, McGraw-Hill, 1975.

OBERT, E.F., GYOROG, A.D., Laboratório de Engenharia Mecânica - Projetos e Equipamentos, UFSC, Departamento de Engenharia Mecânica, 1978.

**CÓDIGO E DISCIPLINA:** MEC0944 – Transferência de Calor e Massa I

**CURSO:** Engenharia Mecânica (Resolução UNESP nº 74/2004 - Currículo: 4)

**CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM:**

A avaliação do rendimento escolar será feita por meio de duas notas de aproveitamento nas seguintes modalidades: provas e/ou trabalhos e/ou relatórios técnicos.

$$MF = 0,8MP + 0,2 MT$$

na qual: MP = Média das notas das provas (no mínimo duas)

MT = Média das notas dos relatórios técnicos e/ou trabalhos.

Não haverá período de recuperação.

**EMENTA:** (Tópicos que caracterizam as unidades do programa de ensino)

Introdução, conceituação do transporte de energia, quantidade de movimento e massa. Difusão versus radiação. Transferência de massa por difusão. Condução de calor: Formulação diferencial e concentrada. Apresentação das Leis gerais e subsidiárias. Equação da condução e os tipos de condições de contorno e inicial. Solução analítica de problemas bidimensionais não estacionários. Formulação discreta e solução pelo método das diferenças finitas. Radiação: Modelo quântico versus ondulatório. Radiação do corpo negro. Radiação do corpo cinza. Propriedades radiativas de superfícies cinzas. Troca radiante entre superfícies negras e em cavidade compostas de superfícies cinza-difusas. Experimentos em laboratório de transferência de calor e massa.

NESTA DISCIPLINA PODERÁ HAVER ESTÁGIO DOCÊNCIA.

**APROVAÇÃO:**

CONSELHO DE DEPARTAMENTO	CONSELHO DE CURSO	CONGREGAÇÃO

**Anexo 2 - Orçamento de uma bancada para estudos de transferência de calor em aletas  
(Os dados da empresa foram excluídos pelo pesquisador).**

**Consulta de Preços de Equipamentos Didáticos**

**"Soluções Práticas para o Ensino e Pesquisa"**

Consulta 786\_28092020ed

Solicitante: Marco Cesar Sauer e Prof Renato Garcia

UERGS- Campos Guaiiba

Telefone:(51)998325464

E-mail: sauer@iberato.com.br ; marco-sauer@uergs.edu.br; renato\_garcia@uergs.edu.br

<b>COD.</b>	<b>Equipamento</b>	<b>Qt.</b>	<b>Unitário</b>	<b>Total</b>
MD010	Bancada de Transferência de Calor: Condução e Convecção em Aletas Cilíndricas	1	R\$ 52,322.01	R\$ 52,322.01
	<b>TOTAL</b>			<b>R\$ 52,322.01</b>

- 1) Prazo de entrega: 90 dias
- 2) Frete e treinamento incluídos no custo desta proposta.
- 3) Forma de pagamento: Conforme edital
- 4) O valor fornecido para o item serve unicamente como consulta, podendo sofrer alterações sem aviso prévio.

São José, 28 setembro de 2020.

Sócio Administrador  
Diretor Comercial