



Universidade Federal de Pernambuco – UFPE
Centro Acadêmico do Agreste – CAA
Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF
Polo 46

JOSÉ CÍCERO DIAS DA SILVA

Aprendizagem motivada através de aulas experimentais: uma proposta ao ensino de física utilizando a propagação do calor por condução em um fio de cobre linear

Caruaru
2018

JOSÉ CÍCERO DIAS DA SILVA

Aprendizagem motivada através de aulas experimentais: uma proposta ao ensino de física utilizando a propagação do calor por condução em um fio de cobre linear

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF, polo Caruaru, no Centro Acadêmico do Agreste – CAA, como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Ensino de Física.

Área de concentração: Ensino de Física

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Camelo Neto

Caruaru

2018

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Paula Silva - CRB/4 - 1223

S586a Silva, José Cícero Dias da.
Aprendizagem motivada através de aulas experimentais: uma proposta ao ensino de física utilizando a propagação do calor por condução em um fio de cobre linear. / José Cícero Dias da Silva. – 2018.
95f. ; il. : 30 cm.

Orientador: Gustavo Camelo Neto.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, 2018.
Inclui Referências.

1. Termodinâmica. 2. Calor - Condução. 3. Física (Ensino médio). 4. Aprendizagem experimental. 5. Física - Experiências. I. Camelo Neto, Gustavo (Orientador). II. Título.

CDD 371.12 (23. ed.) UFPE (CAA 2018-292)

JOSÉ CÍCERO DIAS DA SILVA

Aprendizagem motivada através de aulas experimentais: uma proposta ao ensino de física utilizando a propagação do calor por condução em um fio de cobre linear

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF, polo Caruaru, no Centro Acadêmico do Agreste – CAA, como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada em: 20/09/2018

BANCA EXAMINADORA

Prof^o. Dr. Gustavo Camelo Neto (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^o. Dr. Pedro Henrique Avelino de Andrade (Examinador Externo)
Instituto Federal de Pernambuco

Prof^o. Dr. Augusto César Lima Moreira (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico este trabalho a minha mãe protetora, Nossa Senhora Aparecida, rainha dos Céus e da Terra, a quem recorri nos momentos difíceis pedindo a sua proteção. A minha maravilhosa família, esposa e companheira Hirley Portugal Zumba Dias, meus queridos filhos, Einstein Priestley Portugal Dias, Endrews José Portugal Dias e Aurea Lorena Portugal Dias que sempre me deram credibilidade e confiança na minha trajetória profissional.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus Pai Eterno todo Poderoso por ter me dado essa oportunidade na minha vida de cursar esse Mestrado em Ensino de Física numa instituição onde a qualidade profissional existe.

Particularmente agradeço a *CAPES* pelo o apoio financeiro que me concedeu, pois seria impossível investir nas pesquisas necessárias para o investimento na parte experimental e montagem do produto educacional para aplicação em sala de aula.

Agradeço ao meu Orientador Professor Dr. Gustavo Camelo Neto, o qual admiro pela sua brilhante competência e paciência, sendo primordial as suas orientações e presença em cada experimento realizado, observando a evolução do trabalho. Também agradeço sua contribuição financeira na compra de todos os termômetros utilizados neste trabalho.

Ao Físico MSc, Allan Johnes Ferreira de Almeida funcionário do laboratório do CAA por contribuir de forma significativa na parte experimental e na montagem do produto educacional.

À toda minha família, aos meus pais, em especial a minha Mãe Marina Antônia da Conceição Dias que sempre acreditou em mim, ao meu Pai José Cezario Dias (In memoriam) um homem que através de muito esforço educou e incentivou os seus 8 filhos a estudarem e buscarem cada um seu objetivo.

À todos colegas professore(a)s, aluno(a)s e ex-aluno(a)s que de forma direta ou indireta acreditam em min e pela oportunidade que tive de aprender com todos vocês.

A toda equipe da secretaria de Pós-graduação da Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste que coordena o curso do Mestrado, em especial ao Rodrigo Alves de Melo por nos dar atenção nas horas devidas.

Aos professores doutores, João Francisco Liberato de Freitas e Augusto César Lima Moreira, Coordenador e Vice-coordenador do Curso de Pós-Graduação em Física da UFPE-CAA os quais contribuíram de forma significativa e profissional para o meu aprendizado nesse curso.

Ao professor Dr. Paulo Henrique Ribeiro Peixoto pela oportunidade e credibilidade que me concedeu.

Agradeço também à professora doutora Thatyara Freire de Souza, por terem sido relevantes suas aulas de física experimental, contribuindo na parte experimental do meu trabalho.

Ao professor Paulo Eudes Leonel da Silva, Coordenador Geral de Educação Integral e Profissional – CGIP e toda sua equipe técnica por contribuir na distribuição da minha carga horária na escola de referência em ensino médio, facilitando a minha presença nas aulas do Mestrado na Universidade Federal de Pernambuco – UFPE Centro Acadêmico do Agreste – CAA

. À professora Adelma Elias da Silva, Gerente Regional de Educação do Agreste Meridional GRE – AM, por compreender a minha necessidade de progredir no meio acadêmico e com objetivo de contribuir para o ensino-aprendizagem na Educação Básica.

À minha grande amiga e colega do Mestrado, Anita da Conceição Duarte Xavier, por compartilhar conversas valiosas nesse curso que jamais esquecerei.

Agradeço também, a todos os companheiros da minha turma 2016.1, Eduardo Botelho, Rodolfo Luna, Rubens Antônio, Daeme Telles e o Sérgio Torres que com muita perseverança seguimos juntos nessa trajetória árdua, cada um em busca do seu objetivo.

RESUMO

Este trabalho trata dos conceitos fundamentais sobre a propagação do calor em uma dimensão de forma experimental em corpos sólidos. Visando o ensino de física para estudantes do ensino médio, foram realizadas considerações importantes sobre a propagação do calor por condução, enfatizando o comportamento da temperatura ao longo do tempo. A parte experimental foi realizada diversas vezes no laboratório de Física da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE Centro Acadêmico do Agreste – CAA para ajustes e posteriormente ser aplicado em sala de aula. O experimento foi aplicado em duas escolas distintas, localizadas em Garanhuns – PE, Escola de Referência Virgem do Socorro e a Escola de Aplicação da Universidade de Pernambuco, Professora Ivonita Alves Guerra. Explorando os dados e analisando o comportamento gráfico, procura-se mostrar aos educandos o estado final do sistema quando a temperatura atinge o equilíbrio térmico, ou seja, quando o fluxo de calor propagado ao longo do fio torna-se constante. Para realização desse experimento foram escolhidos seis estudantes em cada uma das três turmas para participarem da aula experimental e discussão do assunto abordado. Verifica-se que as aulas experimentais têm um papel importante antes da apresentação da teoria, ambas formando um conjunto adequado para dar significado ao aprendizado no estudo de certo fenômeno. De maneira geral, esse trabalho também pode ser aplicado para estudantes de graduação em física com o intuito de explorar conceitos matemático mais avançados em relação ao ensino médio, como as equações diferenciais e séries de Fourier. Testes preliminares foram realizados com estudantes do curso de Física-Licenciatura do Centro Acadêmico do Agreste da UFPE matriculados na disciplina Fundamentos de Física III, onde os conceitos de termodinâmica são introduzidos pela primeira vez. A montagem experimental do produto educacional é detalhada no anexo PRODUTO EDUCACIONAL de modo que qualquer profissional da educação, mesmo de outras áreas pode utilizar.

Palavras - chave: Termodinâmica. Condução térmica. Lei de Fourier. Ensino de física.

ABSTRACT

This dissertation concerns the fundamental concepts related to the propagation of heat in one dimensional solid bodies from an experimental point of view. Aiming at teaching physics to high school students, important considerations were made about the propagation of heat by conduction emphasizing the behavior of temperature over time. The experimental part was performed several times in the Physics Laboratory of the Federal University of Pernambuco - UFPE Agreste Academic Center - CAA for adjustments to be applied later in the classroom. The experiment was applied in two distinct schools, located in Garanhuns - PE, Virgem do Socorro Reference School and the University of Pernambuco School of Application, Professor Ivonita Alves Guerra. Exploring the data and analyzing the graphical behavior, it is shown to the students the final state of the system when the temperature reaches the steady state, that is to say, when the heat flow propagating along the wire becomes constant. For the accomplishment of this experiment six students were chosen from three groups to participate in the experimental classes and discussions on the subject addressed. It is verified that the experimental classes have an important role before presenting the theory, both forming an adequate set to give meaning to the learning in the study of certain phenomenon. In general, this work can also be applied to undergraduate students in physics with the purpose of exploring advanced mathematical concepts in relation to high school, such as the Fourier series and differential equations, since the fundamental basis of the problem is the diffusion equation of heat. Taking this fact into consideration, several preliminary tests were performed with undergraduate Physics Education students from the CAA – UFPE before the actual application into the high schools. These students were enrolled in the basic course of physics where thermodynamics concepts are absorbed by the first time. The detailed experimental setup of an educational product, where any professional of education even from other areas can use is presented at EDUCATIONAL PRODUCT attachment.

Keywords: Thermodynamics. Thermal conduction. Fourier's law. Physics teaching.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 –	Gráfico de setores	34
Gráfico 2 –	Gráfico de setores	35
Gráfico 3 –	Histograma e curva gaussiana	38
Gráfico 4 –	Histograma e curva gaussiana	39
Gráfico 5 –	Histograma e curva gaussiana	41
Gráfico 6 –	Histograma e curva gaussiana	42
Gráfico 7 –	Gráfico de setores	46
Gráfico 8 –	Gráfico de setores	47
Gráfico 9 –	Histograma e curva gaussiana	49
Gráfico 10 –	Histograma e curva gaussiana	51
Gráfico 11 –	Comportamento da temperatura nos cinco pontos localizados no fio e na fonte fria e quente ao longo do tempo	60
Gráfico 12 –	Temperatura ao longo do fio, desde a fonte fria ($x = 0$) até a fonte quente ($x = 50\text{cm}$)	61
Gráfico 13 –	Comportamento da temperatura nos cinco pontos localizados no fio e na fonte fria e quente ao longo do tempo	64
Gráfico 14 –	Temperatura ao longo do fio, desde a fonte fria ($x = 0$) até a fonte quente ($x = 50\text{cm}$)	65
Gráfico 15 –	Comportamento da temperatura nos cinco pontos localizados no fio e na fonte fria e quente ao longo do tempo	67
Gráfico 16 –	Temperatura ao longo do fio, desde a fonte fria ($x = 0$) até a fonte quente ($x = 50\text{cm}$)	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Modelo triádico de Gowin	16
Figura 2 – Um corpo aquecido após queda livre	19
Figura 3 – Aparato com o fio perfurado em 5 pontos	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Valores de algumas condutividades térmicas (k)	26
Tabela 2 –	Resultado do questionário para os alunos do segundo ano que não realizaram o experimento	33
Tabela 3 –	Resultado do questionário para os alunos do segundo ano que participaram do experimento	34
Tabela 4 –	Resultado do questionário para os alunos do terceiro ano que não realizaram o experimento	35
Tabela 5 –	Resultado do questionário para os alunos do terceiro ano que participaram do experimento	35
Tabela 6 –	Resultado do questionário para os alunos do segundo ano que não realizaram o experimento	37
Tabela 7 –	Resultado do questionário para os alunos do segundo ano que participaram do experimento	39
Tabela 8 –	Resultado do questionário para os alunos do terceiro ano que não realizaram o experimento	40
Tabela 9 –	Resultado do questionário para os alunos do terceiro ano que participaram do experimento	42
Tabela 10 –	Resultado do questionário para os alunos do segundo ano que participaram do experimento	46
Tabela 11 –	Resultado do questionário para os alunos do segundo ano que não realizaram o experimento	47
Tabela 12 –	Resultado do questionário para os alunos do segundo ano que não realizaram o experimento	48
Tabela 13 –	Resultado do questionário para os alunos do segundo ano que participaram do experimento	50
Tabela 14 –	Resumo dos dados estatísticos	52
Tabela 15 –	Dados extraídos pelos alunos do 2 ^o ano da escola de Referência Virgem do Socorro	58
Tabela 16 –	Dados extraídos pelos alunos do 3 ^o ano da escola de Referência Virgem do Socorro	62
Tabela 17 –	Dados extraídos pelos alunos do 2 ^o ano da escola de Aplicação da Universidade de Pernambuco - UPE Professora Ivonita Alves Guerra	66

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	CONDUÇÃO DE CALOR EM SÓLIDOS	19
3	METODOLOGIA	28
4	RESULTADOS	33
4.1	Escola de Referência Virgem do Socorro	33
4.2	Escola de Aplicação da UPE Professora Ivonita Alves Guerra	44
5	CONCLUSÕES	53
6	PERSPECTIVAS	54
	REFERÊNCIAS	55
	APÊNDICE A – Tabelas e gráficos dos dados extraídos pelos os estudantes	57
	APÊNDICE B – Questionários	70
	APÊNDICE C – Produto Educacional	77

1 INTRODUÇÃO

Após uma década dedicado ao ensino de física e matemática para os jovens do ensino médio em algumas escolas do agreste meridional de Pernambuco, percebi que, para que haja um aprendizado verdadeiramente significativo é importante um enlaçamento entre aulas teóricas e experimentais.

A primeira observação feita ao longo dos 5 anos iniciais da carreira como professor do quadro efetivo do ensino médio, foi a falta de conhecimentos prévios por parte dos educandos, dificultando o aprendizado em novos conceitos. Pois, além da falta de conhecimentos prévios, a maioria dos estudantes não apresentam motivação nas aulas expositivas, que de maneira geral, estão baseadas apenas na apresentação bruta das teorias e modelos matemáticos sem uma discursão aprofundada e significativa dos conceitos físicos e filosóficos envolvidos. Essa técnica de ensino está tão enraizada culturalmente que o contato com aula experimental, provoca reações adversas nos estudantes de forma natural motivando-os e despertando suas ideias de forma geral. A coordenação que mostra uma preocupação com o aprendizado do estudante e com índice de aprovação, terá uma melhora no desempenho dos estudantes tornando-os mais críticos e contribuindo para um bom resultado nas avaliações externas. Para que pudéssemos despertar e motivar os estudantes, passamos a utilizar aulas experimentais com equipamentos de baixo custo e artesanais, tendo em vista a falta de laboratórios adequados, mesmo nas escolas de referência em ensino do estado.

Este trabalho surgiu a partir da dificuldade mostrada por alguns estudantes do ensino médio em compreender dois conceitos distintos e próximos: *Calor* e *Temperatura*. Em busca de melhorar esse entendimento recorreremos às aulas experimentais utilizando um fio de cobre conectados em duas fontes: uma fria e a outra quente, explorando conceitos na forma construtivista em que diz respeito à propagação do calor por condução. Utilizamos uma metodologia de discussão em grupo e proporcionando a oportunidade para que os estudantes explicassem suas ideias baseadas no experimento realizado por equipe e tornando uma compreensão nos conceitos dos fenômenos físicos e matemático envolvidos mais eficaz.

Ao implantar aulas experimentais e logo após a aula teórica, os alunos mostraram-se mais interessados aos conceitos vivenciados em aulas expositivas, porque novas ideias e interpretações surgem durante o experimento. Ao despertar a atenção dos educandos com o experimento percebemos uma melhora considerável no aprendizado, agora mais significativo, contribuindo para um resultado nas avaliações mais satisfatório de forma geral.

Com o objetivo de facilitar o ensino-aprendizagem para o estudo da propagação do calor em sólidos numa dimensão e analisar o comportamento da temperatura com a evolução temporal, desenvolvemos um produto educacional para ser aplicado para estudantes do ensino médio e superior. Com esse experimento podemos explorar desde conceitos básicos sobre o tema, até conceitos mais complexos, abordados em nível superior quando se estuda a solução da equação do calor. Sabemos que o professor, na busca de desenvolver habilidades em seus educandos, deve estabelecer métodos diversificados de avaliações, para que se tenha sucesso em seu trabalho, incluindo habilidades referentes a aulas experimentais. Obviamente, deve existir o interesse do educando e os conceitos prévios trazidos por eles, tecnicamente referidos como *subsunçores** [9], servindo de ideia âncora para que o professor tenha a certeza do aprendizado dos seus alunos, como se espera os pensadores da educação.

O aprendizado só acontece quando há uma interação entre conceitos novos e conceitos prévios, dando significado a um novo aprendizado, assim:

É preciso entender que a aprendizagem é significativa quando novos conhecimentos (conceitos, ideias, proposições, modelos, fórmulas) passam a significar algo para o aprendiz, quando ele é capaz de explicar situações com suas próprias palavras, quando é capaz de resolver problemas novos, enfim, quando compreende. Essa aprendizagem se caracteriza pela interação entre os novos conhecimentos e aqueles especificamente relevantes já existentes na estrutura cognitiva do sujeito que aprende, os quais constituem, segundo Ausubel e Novak, 1980. [9]

Para que ocorra um aprendizado relevante pelos educandos, deverá existir um conjunto de conhecimentos prévios para servir de subsunçores ou idéias-âncoras para o novo saber. Contudo na realidade esses subsunçores, na maioria das vezes, estão “abaixo” do desejado no ambiente escolar das escolas públicas. Para que o

aprendizado tenha maior eficácia, as escolas deveriam implantar uma equipe de professores qualificados e bem remunerados na sua área de formação, laboratórios de ensino bem equipados onde seriam vivenciadas as aulas práticas com os estudantes, implicando no desenvolvimento do processo escolar. Não existe um modelo definitivo para avaliar os estudantes no ensino da física, ou em outra disciplina, de modo que as avaliações podem e devem ser diversificadas.

Em linguagem coloquial poderíamos dizer que “nossa cabeça” está “cheia” de subsunçores, uns já bem firmes outros ainda frágeis, mas em ênfase de crescimento, uns muitos usados outros raramente, uns com muitas “ramificações” e outros “encolhendo”. Naturalmente, esses conhecimentos interagem entre si e podem organizar-se e reorganizar-se, ou seja, “nossa cabeça” contém um conjunto dinâmico de subsunçores. [9]

Em um mundo globalizado, onde a informação está facilmente acessível, as possibilidades de contextualização das ciências de um modo geral são enormes. Segundo Vygotsky [11] o cérebro não é um sistema fixo e acabado mas sim um sistema aberto de grande plasticidade, onde ocorre a evolução do aprendizado ao longo da vida inteira. Através de observações externas e convívio social, estamos sujeitos à evolução de pensamentos, tornando-nos pessoas individualmente críticas no saber.

Sabemos que a Física e a Matemática, assim como outros ramos do saber, possuem uma grande importância fundamental na educação básica, talvez a espinha dorsal do conhecimento antes de progredir em determinados cursos. Nas últimas décadas vem sendo incorporado recursos para implantação em sala de aulas como: filmes, simulações através de aplicativos nos computadores e celulares que a física e a própria ciência torna-se um campo complexo e em evolução onde deveria ter um grande incentivo nas escolas de modo geral. Muitos profissionais dessa área se esforçam ao máximo para proporcionar uma excelente educação, uma evolução tecnológica e uma pesquisa científica consistente em nosso país, contribuindo de forma qualitativa e quantitativa para evolução do saber.

As propostas apresentadas pelo os Parâmetros Curriculares Nacionais, sugerem um conjunto de temas de grande importância no ensino médio na área da Física como: *mecânica*, *gravitação*, *termodinâmica* e o *eletromagnetismo* que são itens abordados pelos parâmetros curriculares. Porém, não apenas esses temas são

úteis na vida do aluno, precisa-se abordar temas de *física geral* aplicada ao meio ambiente, nanotecnologia, entre outras, promovendo uma competência geral e dando-lhe uma visão ampla em termos de conhecimento científico.

Em termos de equilíbrio relacional entre estudantes e conteúdo a ser vivenciado, o modelo de D. B. Gowin (1981) [11] tem grande importância no ambiente escolar. Este modelo é formado por três tópicos que são: os *estudantes*, o *professor* e os *materiais educativos*, que colocados nos vértices de um triângulo equilátero, mostra uma relação importante em sala de aula (figura 01). Quando o professor se aproxima do estudante, há uma relação de amizade e o nível de exigência do conteúdo trabalhado, poderá ser flexibilizado. No entanto, se o professor tem uma grande aproximação dos materiais educativos, o nível de exigência nos conteúdos podem se tornar bastante complexo para os estudantes, gerando resultado nas avaliações não desejado. Porém, o ideal que se mantenha um equilíbrio relacional, entre esses tópicos indicados mostrado na figura abaixo. Compreendemos que professor e estudante apresentam responsabilidades basicamente distintas.

Figura 1 – Modelo triádico de Gowin



Fonte: Moreira, 2011

De acordo com Richard P. Feynman [6] a maneira de contribuir significativamente para o aprendizado é o professor se dedicar com maior afinco a um conjunto de problemas, que ao serem discutidos e resolvidos leva o estudante a ter uma intimidade direta com diversas situações. Feynman diz que o princípio da ciência é o teste de todo conhecimento, e o experimento é o único juiz da *verdade* científica.

Não há outra solução para a educação do que entender que a melhor aprendizagem ocorre quando há uma relação direta e individual entre estudante e um bom professor, uma situação em que o estudante discute as ideias, pensa sobre as coisas. É impossível aprender bem, simplesmente sentado em uma aula, ou até mesmo fazendo os problemas que foram sugeridos. (Feynman Lectures on Physics, vol 1 prefacio, 1963, tradução livre dos autores)

Quando inserimos um determinado assunto relacionado a um certo fenômeno físico de forma tradicional, ou seja, utilizando aula expositiva apenas dialogadas, na maioria das vezes, torna-se confusa a compreensão por parte dos educandos. No entanto, a introdução de práticas experimentais na sala pode melhorar a compreensão, acrescentando significado ao aprendizado. Mesmo utilizando materiais de baixo custo, os estudantes se mostram mais entusiasmados e apresentam maior interesse pelo assunto abordado. Ao estudar termodinâmica, por exemplo, considerado um assunto difícil e bastante complexo, que constitui uma parte indispensável nos segmentos da Física, Biologia, Química e Engenharia, as aulas experimentais despertam curiosidade fazendo com que surjam perguntas adequadas ao assunto antes de formular os modelos matemáticos envolvidos.

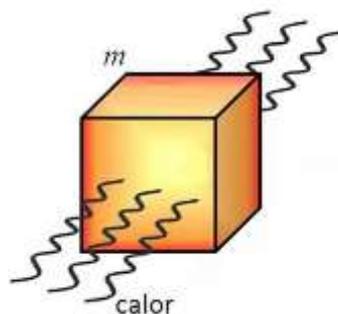
A termodinâmica é de grande importância no estudo das ciências, embora seja uma área de origens práticas, conectadas com os avanços da primeira revolução industrial, e de enorme potencial de contextualização, evidenciada em fenômenos cotidianos, sua modelagem matemática pode se tornar complexa e abstrata. Ao representar o comportamento de um gás ideal, por exemplo, apresentamos relações, que denominamos equações de estado. Em princípio motivamos que essas equações de estado são oriundas de profundos esforços experimentais, realizados por cientistas renomados, como Boyle, Gay-Lussac, Avogadro, Clapeyron, entre outros. Porém, por se tratar de um gás ideal, ele não deveria existir no mundo real, portanto, as observações experimentais deveriam estar incorretas. Argumentamos, no entanto, que gases reais rarefeitos se comportam como gases ideais, mas para explicar o motivo precisamos recorrer à abstração de que o gás ideal é composto por pontos matemáticos, que não interagem, passam uns sobre os outros, sem sofrerem colisões, mas mesmo assim ocupam lugar no espaço e exercem pressão sobre as paredes do recipiente onde estão contidos. Desde o experimento mais simples ao mais sofisticado a Termodinâmica tem seu papel primordial em quase todo universo científico.

No próximo capítulo falaremos sobre os conceitos de temperatura e calor que são dois conceitos próximos, porém distintos, temas que, alguns estudantes mostram dificuldades em distingui-los. Também abordaremos os conceitos de escalas termométricas, primeira lei da termodinâmica e condutividade dos materiais, justificando a rapidez do fluxo de calor.

2 CONDUÇÃO DE CALOR EM SÓLIDOS

Segundo H. Moisés Nussenzveig [10], o *calor* era visto como uma substância fluida invisível e indestrutível. Remontando no século XVIII, esse fluido ocuparia todos os poros de um corpo e escoaria do corpo mais quente para o mais frio. Posteriormente Lavoisier chamou esse fluido de *calórico*. Atualmente compreendemos que calor é uma forma de energia transferida de um corpo para outro, provocada por uma diferença de temperatura e que, uma vez transferida, faz aumentar a energia interna do corpo mais frio. A transferência de calor de um corpo à outro ou de um sistema à outro, pode ser muito bem definida por três processos diferentes de propagação: *condução*, *convecção* e *radiação*, sempre ocorrendo espontaneamente do corpo de maior temperatura para o corpo de menor temperatura. Em escala microscópica [13], verificamos que o calor está associado a alguns modos de energia cinética e energia potencial distribuídas em uma infinidade de graus de liberdade. Assim, por exemplo, quando um corpo cai sob ação da gravidade a energia potencial gravitacional é convertida em energia cinética de translação, aumentando a velocidade do corpo enquanto ele cai. Contudo, ao atingir o solo, a colisão distribui parte da energia cinética inicialmente concentrada em um único grau de liberdade em uma infinidade de átomos que compõem o material do solo, além das moléculas de ar na vizinhança do ponto de colisão. Esses átomos e moléculas passam a vibrar em diferentes direções. Sendo que essas vibrações por estarem distribuídas em uma infinidade, de graus de liberdade nos fornece a sensação térmica, que chamamos de calor.

Figura 2 – Um corpo aquecido após queda livre



Fonte: Sampaio; Calçada, 2005

O conceito de temperatura, por sua vez, está qualitativamente fundamentada nas sensações de *quente* e *frio* que é percebido através do nosso tato. A temperatura mede o grau de agitação molecular, seja em um ponto ou em uma determinada região. O calor é uma energia térmica transitória, sempre fluindo entre pontos distintos, provocada por uma diferença de temperatura entre esses pontos, ocorrendo espontaneamente do ponto de maior para de menor temperatura. O termômetro é um instrumento que é utilizado para medição da *temperatura* de determinado corpo numa determinada escala. Ou seja, é uma medida escalar.

Quando um sistema é formado por vários corpos, há uma troca de energia entre esses corpos devido à interação mútua entre eles. A transferência de calor, pode em princípio alterar a temperatura dos corpos fazendo o mais quente esfriar e o mais frio esquentar. Quando isso acontece, em determinado momento, quando as temperaturas se tornam iguais, é atingido o equilíbrio térmico, cessando o fluxo líquido de calor. A existência de estados de equilíbrio é um dos postulados fundamentais da termodinâmica [3].

O fluxo de calor ocorre espontaneamente. Ao tocar em um metal à temperatura ambiente, aparentemente o metal está muito frio, mas isso ocorre pelo fato da temperatura da nossa mão estar superior a do metal ocorrendo uma transferência de calor da nossa mão para o metal. Isso está de acordo com a propagação do calor que flui espontaneamente, da região mais quente para a mais fria buscando o equilíbrio térmico. O equilíbrio térmico fica mais bem caracterizado quando utilizamos o conceito de transitividade, entre três corpos A, B e C com temperaturas T_A , T_B e T_C , respectivamente. Suponhamos que esses corpos sejam inseridos em um recipiente termicamente isolado do meio externo por paredes adiabáticas* e no interior desse recipiente conseguimos separar termicamente os corpos A e B do corpo C, assim haverá uma troca de energia entre o corpo A e o corpo B ficando com temperaturas $T_A = T_B$. Posteriormente, se fizermos um contato térmico do corpo A com o corpo C, cujas temperatura foram $T_A = T_C$ e, em seguida, o corpo B com o corpo C temos $T_B = T_C$, que finalmente teremos $T_A = T_B = T_C$. Isso nos mostra que houve um equilíbrio térmico do corpo C com os demais A e B, fundamentando a lei zero da Termodinâmica, onde observamos que a transitividade é necessária para a definição de temperatura. Ao abordar o equilíbrio térmico, a nossa intenção foi mostrar aos

* Isolamento térmico perfeito em que a parte interna de um recipiente fechado não é afetado pela parte externa.

estudantes para que eles compreendam que: quando colocamos diversos corpos com temperatura distintas em contato, com a evolução temporal, esses corpos tendem a ficarem com a mesma temperatura que está de acordo com o princípio da transitividade entre três corpos.

Quando utilizamos um termômetro para medir a temperatura de um determinado corpo, esse termômetro mede sua própria temperatura, mas ao entrar em contato com um corpo e atingindo o equilíbrio térmico, mostra que os corpos possuem a mesma temperatura. Em nosso país é de grande uso a escala Celsius tendo como referências o ponto de fusão do gelo 0°C e o ponto de ebulição da água à pressão normal de $1,0\text{ atm } 100^{\circ}\text{C}$. Na maioria dos países de língua inglesa usa-se a escala Fahrenheit que é outra escala muito bem representada e dividida em 180 partes iguais entre o ponto de gelo 32°F e o ponto de vapor 212°F , porém para o Sistema Internacional de unidades utiliza-se a escala Kelvin que foi criada por William Thomson, Físico irlandês (1824-1907) que ficou conhecido como Lord Kelvin. A escala Kelvin, também conhecida como escala absoluta, somente admite valores positivos. Ela possui a mesma graduação da escala Celsius. E em termos práticos a escala Kelvin possui como valor de referência o ponto triplo da água pura, cuja temperatura é definida como $273,16\text{K}$. Em termos fundamentais o 0K está associado ao estado fundamental da matéria, ou seja, o estado de menor energia. Na escala Kelvin o ponto de gelo é $273,15\text{K}$ e o ponto de vapor $373,15\text{K}$ (Kelvins). Para efeito algébrico é de simples manuseio a conversão entre valores nas referidas escalas. Todas essas escalas são lineares, assim, a conversão de uma escala em outra, é feita através de uma regra de três simples, envolvendo segmentos proporcionais de uma escala para outra. No caso da conversão da escala Celsius para Kelvin, como ambas possuem a mesma graduação, basta deslocar a origem, de maneira que $T_k = T_c + 273,15$. Vemos que o estado fundamental, ou zero absoluto da escala Kelvin, corresponde em Celsius à $T_c = -273,15^{\circ}\text{C}$, uma temperatura extremamente baixa e inatingível por processos puramente termodinâmicos. Nessas temperaturas ultrabaixas os efeitos da mecânica quântica se tornam evidentes, de modo que o estado fundamental não implica no repouso absoluto das entidades microscópicas, mas sim “movimento” no menor estado de energia. Por exemplo, se tomarmos um átomo de hidrogênio, o elétron estaria circulando o núcleo no seu orbital de menor energia, num raio médio de cerca de 10^{-10} m (1 angstrom).

A troca de calor entre corpos é de grande importância no estudo da termodinâmica, essa troca de calor depende de fatores, como condutividade (k) e capacidade térmicas (C) de cada corpo. A capacidade térmica é uma razão entre a quantidade de calor Q , recebida ou cedida pelo o corpo e pela variação de temperatura ΔT ocasionada, ou seja,

$$C = \frac{Q}{\Delta T} \quad (1)$$

medidas em J/K, para variações muito pequenas de temperatura. Embora calor seja uma forma de energia, e portanto sua unidade no SI é o joule, é comum encontrarmos valores de capacidades térmicas expressas em cal/ $^{\circ}$ C. A condutividade térmica (k) é uma propriedade característica de cada corpo em facilitar ou dificultar a rapidez do fluxo de energia ao longo do material.

A unidade caloria foi definida historicamente de modo que 1cal fosse a quantidade de calor necessária para aquecer 1g de água pura de 14,5 para 15,5 $^{\circ}$ C. No sistema inglês é comum o uso do BTU (British Thermal Unit), de modo que 1BTU seja a quantidade de calor necessária para elevar a temperatura de 1lb de água de 638 para 648 $^{\circ}$ F [8]. Em muitas situações é mais conveniente definir o calor específico, ou seja, a razão entre capacidade térmica e a massa da substância $c = C/m$. Dessa forma, a quantidade de calor Q absorvida ou cedida por um corpo de massa m e calor específico c quando ele sofre uma mudança de temperatura ΔT é $Q = mc\Delta T$ para pequenas variações de temperaturas. Na composição de vários corpos, com massas $m_1, m_2, m_3, \dots, m_n$ e com calores específicos $c_1, c_2, c_3, \dots, c_n$ respectivamente, sua capacidade térmica pode ser interpretada de maneira que $C = m_1c_1 + m_2c_2 + m_3c_3 + \dots + m_nc_n$. Em situação distintas entendemos que os corpos trocam energia apenas entre si, desde que não exista troca de calor com o meio externo e que a capacidade térmica do recipiente seja desprezível. No entanto, quando a diferença de temperatura for grande, temos que $c = c(T)$ portanto

$$\Delta Q = m \int_{t_i}^{t_f} c(T) dT \quad (2)$$

Para um sistema muito grande onde podemos aumentar a massa e tornar a diferença de temperatura pequena, haverá uma troca de calor sem que sua temperatura se altere de forma significativa, esse sistema que permite transferência de calor nessas condições chama-se reservatório térmico que termos práticos teremos os oceanos, a atmosfera ou qualquer recipiente de tamanho adequado contendo certo fluido em equilíbrio térmico [10].

Quando corpo que recebe calor (Q) sua energia interna (U) aumenta. Parte dessa energia pode ser utilizada para realização de trabalho (W) que está de acordo com a primeira lei da termodinâmica em que

$$\Delta u = Q - W \quad (3)$$

Podendo essa variação de energia ser nula, positiva ou negativa dependendo do processo realizado. Na termodinâmica sabemos que a variação de energia interna em um processo qualquer depende *apenas* dos estados inicial e final, o calor trocado e o trabalho realizado, quantidades inteiramente ligadas à primeira lei da termodinâmica. Em alguns processos observam-se as variáveis de estado como pressão, volume e temperatura em que se tratando, por exemplo, de um gás confinado em um cilindro, algumas transformações são consideravelmente importantes. Quando a temperatura permanece constante ao longo do processo, dizemos que a transformação é isotérmica. Porém, quando a pressão fica constante, dizemos que ocorre uma transformação isobárica. E quando o volume é mantido constante, teremos um processo isovolumétrico ou isocórico. Já na transformação adiabática não há troca de calor com o meio externo, em que a primeira lei da termodinâmica mostra que $\Delta u = -W$, tanto para a expansão quanto para a compressão. Podemos observar curvas para todas essas transformações em um diagrama pressão versus volume inclusive processos cíclicos definindo curvas fechadas, podendo ocorrer no sentido horário ou anti-horário, convertendo calor em trabalho ou trabalho em calor. Esses processos cíclicos definem o comportamento das máquinas térmicas, cujo estudo conduz à segunda lei da Termodinâmica. É interessante observar que num processo cíclico, não há variação de energia interna, pois como dito anteriormente, a variação da energia depende apenas dos estados inicial e final, logo, num processo cíclico esses estados são os mesmos.

Na natureza há processos que podem ocorrer naturalmente, sem possibilidade de regredir, tais processos são de grande importância no estudo da termodinâmica. Quando uma criança nasce, se observamos a seta do tempo, percebemos que é impossível regredir. Outros exemplos seriam: o fluxo de calor propagando-se de maneira espontânea do quente para o frio, a queda de um corpo com certa massa que cai por efeito gravitacional etc. Processos com essas características que ocorrem naturalmente em um determinado sentido e que não ocorrem no sentido contrário, são chamados de *irreversíveis* e estão ligados ao estudo da segunda lei da termodinâmica. Por outro lado, quando o processo é *reversível* ele pode ocorrer em ambos os sentidos. O estudo de processos através da termodinâmica, no entanto, está restrito aos processos quase-estáticos, ou seja, processos que ocorrem tão lentamente que o sistema está sempre em equilíbrio. Em cada passo, o sistema é suavemente deslocado de um estado de equilíbrio para outro muito próximo. Infelizmente, essa é uma limitação da termodinâmica, ela lida apenas com estados de equilíbrio. Nos processos quase-estáticos, todas as grandezas bem *comportadas** variam em quantidades muito pequenas, de modo que numa abordagem avançada é possível o uso do cálculo diferencial. No nível médio, entretanto evita-se esse tratamento, ou seja, no ensino médio não é abordado conceitos sobre processos quase-estáticos.

A propagação do calor por condução é um processo em que a energia é transmitida por contato de uma parte a outra imediatamente próxima. É a forma de propagação predominante nos sólidos onde os corpos possuem forma e volume bem definidos com suas moléculas microscopicamente próximas facilitando a condução do calor no meio interno. Nesse processo de propagação de calor não ocorre transporte de matéria e também não ocorre no vácuo como veremos mais particularmente com a lei de Fourier.

A diferença da condutividade térmica em distintos materiais é facilmente verificada na prática: basta encostar uma extremidade de uma barra de madeira em uma fonte e segurar com as mãos na outra extremidade; depois repetir a experiência com uma barra de mesmo tamanho, mas de metal. Percebe-se que o calor chega às mãos muito mais rapidamente na barra de metal. A física do estado sólido [4] propõe teorias microscópicas que explicam a grande diferença entre as condutividades

* Processo de expansão que muda infinitamente lento indo para outro estado de equilíbrio termodinâmico sem as grandezas se alterarem

térmicas dos metais e dos isolantes. Isso mostra que em certos materiais o calor se propaga com grande facilidade enquanto em outros não.

Isolantes possuem uma alta resistência térmica, ou, equivalentemente, uma baixa condutividade térmica. O ar é um exemplo de um bom isolante térmico, assim como a madeira, borracha etc. Podemos definir a resistência térmica de uma placa sólida de espessura L como

$$R = \frac{L}{k} \quad (4)$$

onde k é a condutividade térmica do material de que é composta a placa. Quanto maior o valor de R melhor será o isolante térmico. Observe que R não é uma propriedade apenas do material, mas depende também de sua geometria [8]. Os condutores térmicos são bons condutores de calor, possuindo alta condutividade térmica e baixa resistência à transferência de calor. Os metais em geral são bons condutores de calor como o cobre e a prata.

As partículas do material de uma barra que estão em contato direto com uma fonte quente recebem uma quantidade de calor, aumentando seu grau de agitação térmica. Por sua vez essas partículas transmitem parte dessa energia às partículas vizinhas e assim sucessivamente, aquecendo todas as partículas/moléculas da barra. Nesse grau de agitação das moléculas é importante observar que, elas ficam vibrando em torno de certa posição de equilíbrio, não havendo deslocamento efetivo. De modo que, o que flui é a energia térmica de forma transitória, ou seja, o calor é quem percorre a barra por inteiro.

A condução de calor ocorre por causa de diferenças de temperatura (ΔT) em pontos distintos ao longo do material. Imaginando pontos muito próximos, uma quantidade de calor dQ é transferida de um ponto A para um ponto B distanciado de $d_{AB} \cong dx$ onde A e B estão infinitamente próximos $A \cong B$, com dx muito pequeno. Experimentalmente [8], é verificado que a quantidade de calor (Q) que atravessa uma barra de espessura L e área de seção transversal A , sujeita a uma diferença de temperatura por unidade de tempo (Δt) é

$$P = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{kA\Delta T}{L} \quad (5)$$

onde k é a condutividade térmica do material, cuja unidade é W/mk. No caso de uma barra onde podemos desprezar sua espessura ($L \rightarrow dx$), sujeita a uma diferença de temperatura muito pequena $\Delta T \rightarrow dT$, em um intervalo de tempo muito pequeno, dt , passará uma quantidade de calor dQ , de modo que,

$$dQ = \frac{dQ}{dt} = \frac{kAdT}{dx} \quad (6)$$

Todo material que conduz energia elétrica com facilidade é um bom condutor de calor. De maneira geral os metais são excelentes condutores térmicos e elétricos. As condutividades térmicas de alguns materiais são apresentadas na tabela 01.

Tabela 1 – Valores de algumas condutividades térmicas (k)

Substância	W/m.K
Cobre	401
Prata	428
Alumínio	235
Ferro	67
Ar (seco)	0,026
Hidrogênio	0,18
Fibra de vidro	0,048
Vidro de janela	1,0

Fonte: Halliday, Resnick Walker, vol 2, 7ª edição, p. 199

A partir do próximo capítulo, faremos uma descrição da nossa metodologia onde aplicamos aula experimental interligada com a aula construtivista. Com a finalidade de desenvolver uma prática para estudar a propagação do calor, em um fio de cobre linear de bitola 10mm, desenvolvemos um produto educacional para ser aplicado à estudantes do ensino médio. O nosso objetivo foi verificar se a nossa metodologia, mostra uma melhora considerável no aprendizado de certo conteúdo trabalhado em sala de aula de forma teórica expositiva.

Observando o resultado após os experimentos realizados com os estudantes, verificamos a importância das aulas experimentais no processo de ensino-aprendizagem como mostra o capítulo 4 do nosso trabalho.

3 METODOLOGIA

Tendo em vista a dificuldade dos educandos em compreender os conteúdos relacionados à física básica e por falta de *subsunções** relevante para o avanço em outros conteúdos, idealizamos este trabalho como uma forma de apresentar a condução do calor em um fio linear de forma experimental, ilustrando a aplicação da lei de Fourier. Fourier foi pioneiro nos estudos sobre a condução de calor, criando um modelo matemático baseado em equações diferenciais. Esse modelo matemático é descrito pela equação do calor, uma equação diferencial parcial similar à equação de difusão.

Fourier teve de escolher um modelo que fosse capaz de explicar, não só a propagação do calor nos sólidos, mas também outras situações relacionadas, como o equilíbrio térmico e os estados estacionários e variáveis de distribuição de temperatura num corpo. [2]

Com objetivo de testar o funcionamento do aparato, verificar sua eficiência e determinar correções, aplicamos o experimento para 12 estudantes do curso de Física – Licenciatura da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Centro Acadêmico do Agreste – CAA que dividimos em dois grupo de 6 estudantes. Dentre os doze alunos, seis não tinham visto o assunto propagação de calor que está relacionado com à Termodinâmica. Já os demais estudantes, haviam visto a disciplina Fundamentos de Física III e estudado o referido assunto em nível de graduação, porém não tinham obtido êxito na disciplina.

Solicitamos que cada grupo elaborasse um pequeno relatório que seria explicado por eles numa data posterior e verificamos que o grupo que já tinha visto o assunto se sobressaiu na compreensão do experimento em relação àqueles que nunca tinham visto o assunto. O intuito foi apenas uma análise da compreensão, ajustes metodológicos e observar o empenho e dos estudantes que serão os futuros professores de Física formados pela UFPE – CAA.

Para testar nossa metodologia aplicamos um *experimento**** sobre condução do calor para 6 estudantes do 2º ano e posteriormente à 6 estudantes do 3º ano do

* É o nome que se dá a um conhecimento específico, existente na estrutura de conhecimentos do indivíduo, que permite dar significado a um novo conhecimento que lhe é apresentado. (Aprendizagem Significativa: Marco Antônio Moreira, página 13)

*** Sua montagem está no Produto Educacional apêndice deste trabalho.

ensino médio da escola de referência Virgem do Socorro e, após analisar os resultados, aplicamos para +8 estudantes da escola de Aplicação da Universidade de Pernambuco Professora Ivonita Alves Guerra que é uma escola em que os estudantes são bem aplicados, mostrando bons desempenho em avaliações externas como no ENEM por exemplo. Logo após o experimento ser aplicado reunimos cada grupo e fizemos uma explanação rápida sobre os conceitos básicos de temperatura e calor. Um *questionário**** sobre propagação do calor com 24 questões foi aplicado para as turmas completas: 2^o A com 32 estudantes e 3^o A com 20 estudantes, ambas da escola de Referencia Virgem do Socorro. E o 2^o B da escola de Aplicação da Universidade de Pernambuco-UPE com 33 estudantes. Os resultados corrigidos individualmente foram comparados por grupos: aqueles que realizaram o experimento com os que *não* realizaram.

Para a prática experimental reunimos os estudantes selecionados em uma sala de aula reservada e apresentamos a metodologia a ser desencadeada por eles. O aparato para realizar a observação da condução do calor foi formado por uma base de isopor, onde colocamos dois recipiente de plástico fechados com tampas, cada um com capacidade de 500mL separados por uma distância de 50,0cm entre os centros. Um fio cilíndrico de cobre de 10,0mm de diâmetro com um comprimento 50,0cm foi utilizado para o experimento porém analisamos o comportamento da temperatura em apenas 40 cm do fio. O fio já veio eletricamente isolado de fábrica, mas com uma fita isolante reforçamos isolamento para minimizar a dissipação de calor para o ambiente. (Poderiam ser utilizadas esponjas elastoméricas ou tubos elastoméricos, mas preferimos manter o custo o mais baixo possível, além de uma maior facilidade de montagem) Em cada extremidade do fio desencapamos 5,0 cm para o cobre ficar em contato direto com os dois reservatórios e, com um prego, fizemos cinco furos até a medida do raio do fio, para inserir termômetros digitais culinários.

*** Questões extraídas dos livros didáticos dos estudantes de ensino médio de forma geral.

Figura 3 – Aparato com o fio perfurado em 5 pontos



Fonte: O Autor, 2018

Em um dos reservatórios, utilizado como fonte quente, colocamos 400mL de água à temperatura de 65^oC previamente aquecida com um aquecedor do tipo mergulhão. Introduzimos uma resistência de chuveiro que ficou na parte inferior do recipiente montada num circuito simples em série, com uma fonte de 12V de notebooks e obtivemos uma corrente elétrica de 1,03 ampère medida através de um amperímetro inserido no circuito onde este resultado não apresenta risco algum de choque elétrico. Para manter a água aquecida numa temperatura de 62^oC no máximo, a potência média de entrada na fonte quente foi de $P = 12(1,03) = 12,36\text{J/s}$ ou 12,36 W durante os 70 minutos do experimento. No outro recipiente, utilizado para fonte fria, colocamos apenas gelo feito de água mineral. Na tampa da fonte quente, fizemos dois furos circulares de diâmetro 2,5 cm para facilitar o fluxo de calor para o ambiente equilibrando as taxas de entrada e saída de calor. Poderíamos utilizar um sistema automatizado para ligar ou desligar a fonte sempre que a temperatura atingisse limites inferiores ou superiores, respectivamente, contudo, a montagem desse circuito complicaria a confecção do experimento, além de elevar os custos. Na tampa da fonte fria fizemos apenas um furo circular muito pequeno, para introduzir um termômetro e observar a temperatura do reservatório ao longo do tempo como mostram as imagens no *Produto Educacional* anexado à este trabalho.

A temperatura do sistema foi analisada no reservatório quente (T_Q), no reservatório frio (T_F) e em cinco pontos equidistantes (A, B, C, D e E) localizados nos 40cm de fio durante um tempo determinado. Os termômetros T_A , T_B , T_C , T_D e T_E foram inseridos nos respectivos pontos **A**, **B**, **C**, **D** e **E**, localizados nesta ordem, da fonte fria, para fonte quente. Os termômetros T_Q e T_F ficaram localizados nas fontes quente e fria o tempo todo durante a realização do experimento em busca de queda

ou elevação na temperatura de cada reservatório. Os termômetros foram adquiridos em loja online (Mercado Livre), em suas embalagens encontramos os parâmetros que devem ser observados. Accuracy (-20°C a 80°C) é $\pm 1^{\circ}\text{C}$, ou seja, indica a precisão ou exatidão do termômetro. Distinguishing rate: $0,1^{\circ}\text{C}$, que indica taxa de distinção ou margem de erro e Temperature range (-50°C a 300°C) que mostra as temperaturas limites ou faixa de temperatura. Também mostra que cada termômetro, por economia de energia, desliga-se a cada 10 minutos gravando na memória a última medição (memory of last measuring), saving power: auto-off after 10 minutes of no-operation. Os dados anotados pelos estudantes estão distribuídos em tabelas numeradas que se encontram no *apêndice – A*.

Os estudantes do 2^o ano da escola de referência Virgem do Socorro, antes de iniciar o experimento, fizeram a medição da temperatura ambiente da sala de aula utilizando os termômetros culinários e obtiveram uma temperatura próxima dos $23,0^{\circ}\text{C}$. Procedimento análogo para os estudantes do 3^o ano da mesma escola, que utilizaram os mesmos termômetros e obtiveram uma temperatura de $23,5^{\circ}\text{C}$ e os estudantes da escola de Aplicação da Universidade de Pernambuco uma temperatura ambiente de $19,5^{\circ}\text{C}$.

Antes de iniciarmos o experimento cada grupo mediu a temperatura ambiente do fio de cobre colocando os termômetros nos 5 pontos equidistantes localizados no fio mostrada na linha T_0 , de cada tabela que mostra os dados extraídos pelos estudantes envolvido no experimento ao longo do tempo que durou cada experimento. Tal tabela encontra-se no *apêndice – A* anexado nesse trabalho.

A água utilizada no recipiente foi pré-aquecida em um terceiro recipiente, com o auxílio de um aquecedor elétrico do tipo “mergulhão”, mas poderia ser utilizado um fogareiro elétrico ou a gás, ou até mesmo um fogão ou forno de micro-ondas. Após aquecida, 400mL da água foi transferida para o recipiente quente com auxílio de copos descartáveis, contudo aguardamos a água atingir 61°C para introduzir o fio e iniciar o cronômetro. Quando colocamos o fio em contato com os reservatórios, no entanto, houve um novo equilíbrio térmico entre fontes e fio e, sua temperatura ao ligar o cronometro passou a ser $60,9^{\circ}\text{C}$ e $60,2^{\circ}\text{C}$ para o grupo do segundo e terceiro ano respectivamente. Já para equipe da escola de Aplicação foi $56,4^{\circ}\text{C}$. quando iniciamos o cronometro.

Ao iniciar o cronômetro, os estudantes anotam a leitura apresentada em cada termômetro, a cada minuto, durante 70 minutos do experimento para o segundo ano, 80 minutos para o terceiro e 50 minutos para o segundo ano da escola de Aplicação.

Cada equipe foi bem distribuída para observação e anotação dos dados e um estudante de cada equipe ficou exclusivamente em um computador preenchendo a tabela na forma de matriz. Os demais ficaram anotando a temperatura em cada ponto do fio, A, B, C, D e E onde estavam inseridos os termômetros T_A , T_B , T_C , T_D e T_E nesta ordem da fonte fria para fonte quente.

A seguir, teremos o resultado da nossa metodologia aplicada para estudantes de duas escolas públicas distintas onde mostramos que houve uma melhora no aprendizado quando utilizamos o experimento e logo após uma discussão sobre os conceitos envolvidos no experimento, ou seja, uma aula teórica e expositiva. Os dados foram analisados com medidas de tendência de centralidade e esboço de gráficos para visualizar a eficácia no aprendizado.

4 RESULTADOS

4.1 Escola de Referência Virgem do Socorro

A estratégia utilizada para obtermos este resultado foi construtivista*, onde introduzimos o assunto de forma experimental para estudantes do ensino médio. De cada turma, 2^o e 3^o ano, extraímos seis estudantes para participarem do experimento. O assunto, *propagação de calor em sólidos*, já tinha sido ensinado pelo professor de física daquela escola de forma tradicional para essas turmas. Após realizarmos o procedimento experimental, os estudantes foram orientados à elaborar um pequeno relatório sobre o experimento e o assunto envolvido. Três dias depois de aplicar o trabalho experimental, reunimos os 12 estudantes para eles apresentarem os seus argumentos e assistir uma aula sobre conceitos básicos de temperatura e mecanismo de transferência de calor.

Uma semana depois de discutir com os doze estudantes, cada turma foi submetida a um “*questionário*” composto de 20 questões elementares sobre condução de calor, com a finalidade de comparar o aprendizado dos estudantes que participaram da aula experimental com aqueles que já haviam assistido a aula sem experimento algum. O **questionário** (apêndice B) foi aplicado em um dia qualquer, sem aviso prévio, o segundo ano possui 40 alunos matriculados, ao aplicar o questionário, tínhamos 32 estudantes presentes e o terceiro ano, 30 matriculados mas, 20 estavam presentes ao aplicar. As tabelas abaixo mostram o resultado do questionário aplicado em cada turma.

Tabela 2 – Resultado do questionário para os alunos do segundo ano que não realizaram o experimento

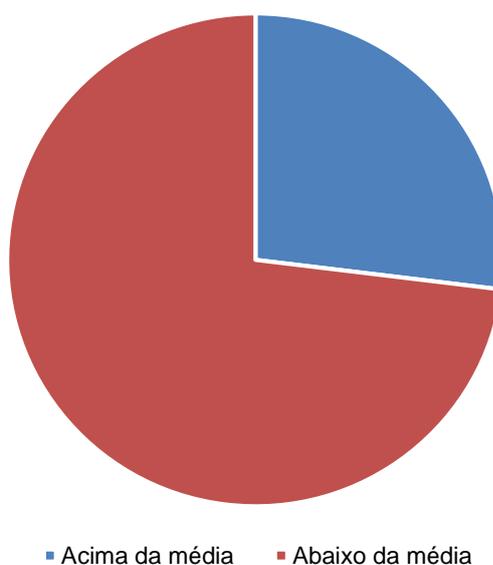
Turma: 2^o Ano	N^o de estudantes	Porcentagem (%)
Nota acima da meta (6,0)	7	26,92
Nota abaixo da meta (6,0)	19	73,07
Total	26	100

Fonte: O Autor, 2018

* **Construtivismo** - Linha **Construtivista** - Inspirado nas ideias do suíço Jean Piaget (1896- 1980), o método procura instigar a curiosidade, já que o aluno é levado a encontrar as respostas a partir de seus próprios conhecimentos e de sua interação com a realidade e com os colegas

Na tabela 2, temos os estudantes do 2º ano que não participaram do experimento e considerando uma nota mínima para aprovação 6,0, dos 26 estudantes, apenas 26,92% ficaram acima da nota e 73,07% abaixo da nota. O gráfico 01 de setores mostra esse resultado.

Gráfico 1 - gráfico de setores



Fonte: O Autor, 2018

Tabela 3 – Resultado do questionário para os alunos do segundo ano que participaram do experimento

Turma: 2º Ano	Nº de estudantes	Porcentagem (%)
Nota acima da meta (6,0)	6	100
Nota abaixo da meta (6,0)	0	0
Total	6	100

Fonte: O Autor, 2018

A tabela 3, mostra o resultado dos seis estudantes que participaram do experimento e fizeram relatórios. E assistiram uma segunda aula teórica, onde eles responderam ao questionário aplicado na própria turma e analisando os seis estudantes individualmente, todos obtiveram nota acima de seis.

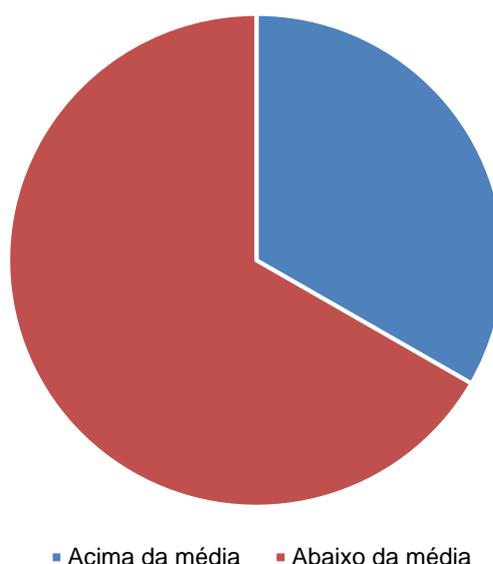
Tabela 4 – Resultado do questionário para os alunos do terceiro ano que não realizaram o experimento

Turma: 3º Ano	Nº de estudantes	Porcentagem (%)
Nota acima da meta (6,0)	5	33,33
Nota abaixo da meta (6,0)	10	66,66
Total	15	100

Fonte: O Autor, 2018

Na tabela 4 mostramos o resultado dos 15 estudantes do 3º ano que não realizaram o experimento, e o resultado também não foi satisfatório. Obtivemos uma aprovação de 33,33%. O percentual de 66,66% mostra outro resultado indesejável que está representado pelo o gráfico de pizza em seguida.

Gráfico 2 - gráfico de setores



Fonte: O Autor, 2018

Tabela 5 – Resultado do questionário para os alunos do terceiro ano que participaram do experimento

Turma: 3º Ano	Nº de estudantes	Porcentagem (%)
Nota acima da meta (6,0)	5	100
Nota abaixo da meta (6,0)	0	0
Total	5	100

Fonte: O Autor, 2018

Nesta tabela 5, tivemos ausência de 1 estudante dos 6 que participaram do experimento. No entanto, os cinco participantes foram muito bem sucedidos com notas acima de 6,00 mostrando que todos aqueles estudantes que, partindo inicialmente do experimento, compreenderam significativamente o conteúdo abordado. Com o intuito de analisarmos o resultado com maior precisão, recorreremos ao estudo do desvio padrão dos dados de cada turma. Utilizamos os dados *não* agrupados para cada equipe que participou do experimento e também para as que não participaram.

Na tabela abaixo, a coluna da variável (x) são as notas obtidas por cada estudante e a coluna média (μ) é o quociente entre a soma das notas pelo total de estudantes envolvidos. A coluna ($x - \mu$) mostra o desvio em relação à média de cada variável. A variância está representada por σ^2 e a raiz quadrada da variância é o desvio padrão, que aparece na parte final de cada tabela para comparar os dados por equipe. As tabelas de números 06 e 08 mostram os dados obtidos pelos estudantes que *não realizaram* o experimento, porém pelo resultado do desvio padrão 0,95 e 1,2 respectivamente, verificamos, portanto, uma grande dispersão de notas, possivelmente indicando que a aprendizagem pelo método tradicional não é uniformemente significativa. As tabelas de números 07 e 09 indicam os resultados dos dados extraídos pelos estudantes que *realizaram* o experimento, apresentando o valor do desvio 0,48 e 0,86 respectivamente, em relação à dispersão das notas, indicando, provavelmente, uma aprendizagem mais uniforme.

Este resultado é satisfatório quando comparado por equipe mostrando que esta técnica experimental foi relevante na comparação de resultado de aprendizado. Ou seja, observamos um aumento na média e uma diminuição da dispersão em comparação ao método tradicional.

Turma: 2º Ano

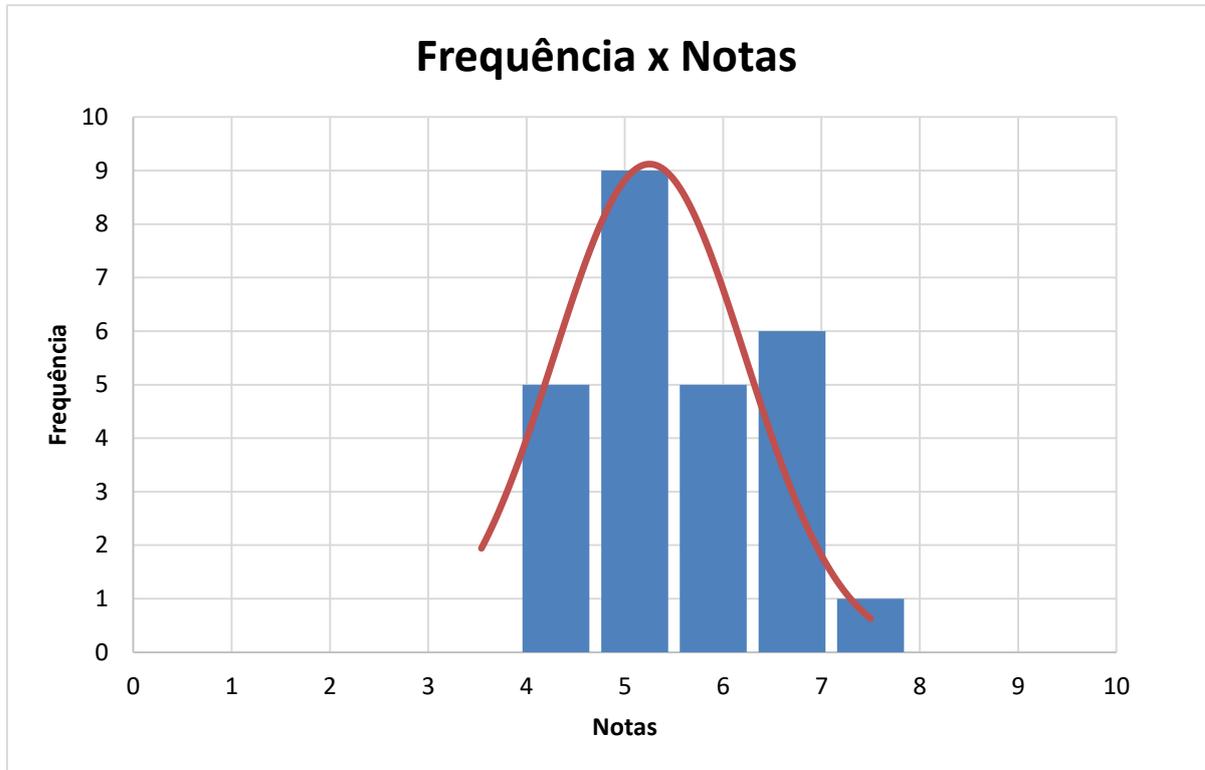
Tabela 6 – Resultado do questionário para os alunos do segundo ano que não realizaram o experimento

Nº	Variável (x)	Média (μ)	(x - μ)	(x - μ) ²
1	6,5	5,25	1,25	1,5625
2	6,0	5,25	0,75	0,5625
3	6,5	5,25	1,25	1,5625
4	6,0	5,25	0,75	0,5625
5	6,5	5,25	1,25	1,5625
6	7,5	5,25	2,25	5,0625
7	6,5	5,25	1,25	1,5625
8	4,0	5,25	-1,25	1,5625
9	4,0	5,25	-1,25	1,5625
10	5,5	5,25	0,25	0,0625
11	5,5	5,25	0,25	0,0625
12	4,5	5,25	-0,75	0,5625
13	5,5	5,25	0,25	0,0625
14	5,0	5,25	-0,25	0,0625
15	5,0	5,25	-0,25	0,0625
16	5,5	5,25	0,25	0,0625
17	5,5	5,25	0,25	0,0625
18	4,5	5,25	-0,75	0,5625
19	5,0	5,25	-0,25	0,0625
20	4,0	5,25	-1,25	1,5625
21	5,0	5,25	-0,25	0,0625
22	5,0	5,25	-0,25	0,0625
23	5,0	5,25	-0,25	0,0625
24	5,0	5,25	-0,25	0,0625
25	3,5	5,25	-1,75	3,0625
26	4,0	5,25	-1,25	1,5625
$\Sigma = 136,5$		–	$\Sigma = 0$	$\sigma^2 = 0,91$ $\sigma = 0,95$

Fonte: O Autor, 2018

Dividindo o desvio pela média, teremos o desvio relativo que facilita a comparação entre os dados $\sigma/y = 0,18$.

Gráfico 3 – histograma e curva gaussiana



Fonte: O Autor, 2018

No gráfico acima, temos o histograma da amostra e a curva aproximadamente gaussiana que é praticamente simétrica, pois os valores das tendências de centralidade quase coincidiram. A média do grupo foi 5,25 e a moda e a mediana mostrou o mesmo valor 5,0. Os resultados dos dados estão mais concentrados em torno da média como mostra a simetria da curva.

Turma: 2º Ano

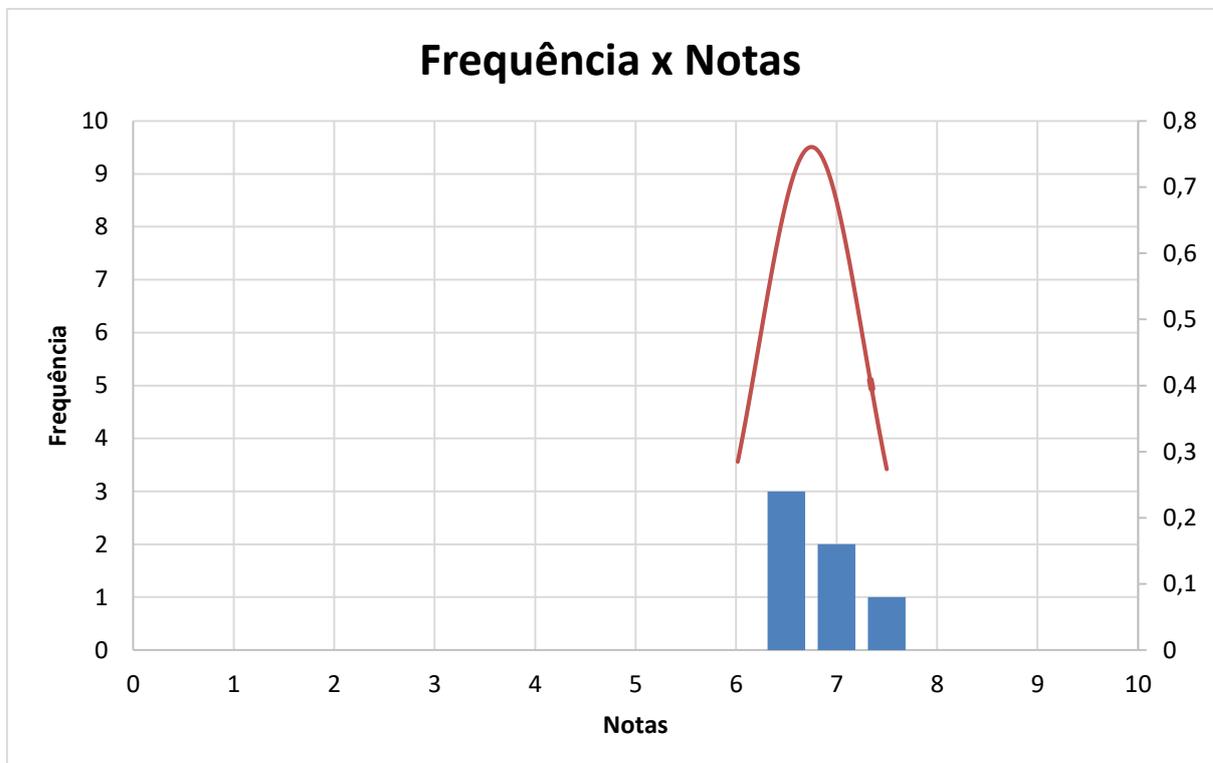
Tabela 7 – Resultado do questionário para os alunos do segundo ano que participaram do experimento

Nº	Variável (x)	Média (μ)	(x - μ)	(x - μ) ²
1	7,0	6,75	0,25	0,0625
2	6,5	6,75	-0,25	0,0625
3	7,5	6,75	0,75	0,5625
4	6,5	6,75	-0,25	0,0625
5	6,0	6,75	-0,75	0,5625
6	7,0	6,75	0,25	0,0625
$\Sigma = 40,5$		-	$\Sigma = 0$	$\sigma^2 = 0,23$ $\sigma = 0,48$

Fonte: O Autor, 2018

Observe que o desvio relativo é $\sigma/y = 0,07$ quase 10 vezes menor. Enquanto a média aumentou de 5,25 para 6,75; um aumento de 1,5, ou seja um aumento de 28,6%.

Gráfico 4 – histograma e curva gaussiana



Fonte: O Autor, 2018

No gráfico acima temos o histograma e observamos a curva não se assemelha à gaussiana, pois o tamanho da amostra foi muito pequeno, apenas 6 estudantes. Porém observamos que a média do grupo foi 6,75 e a mediana 6,75.

Turma: 3º Ano

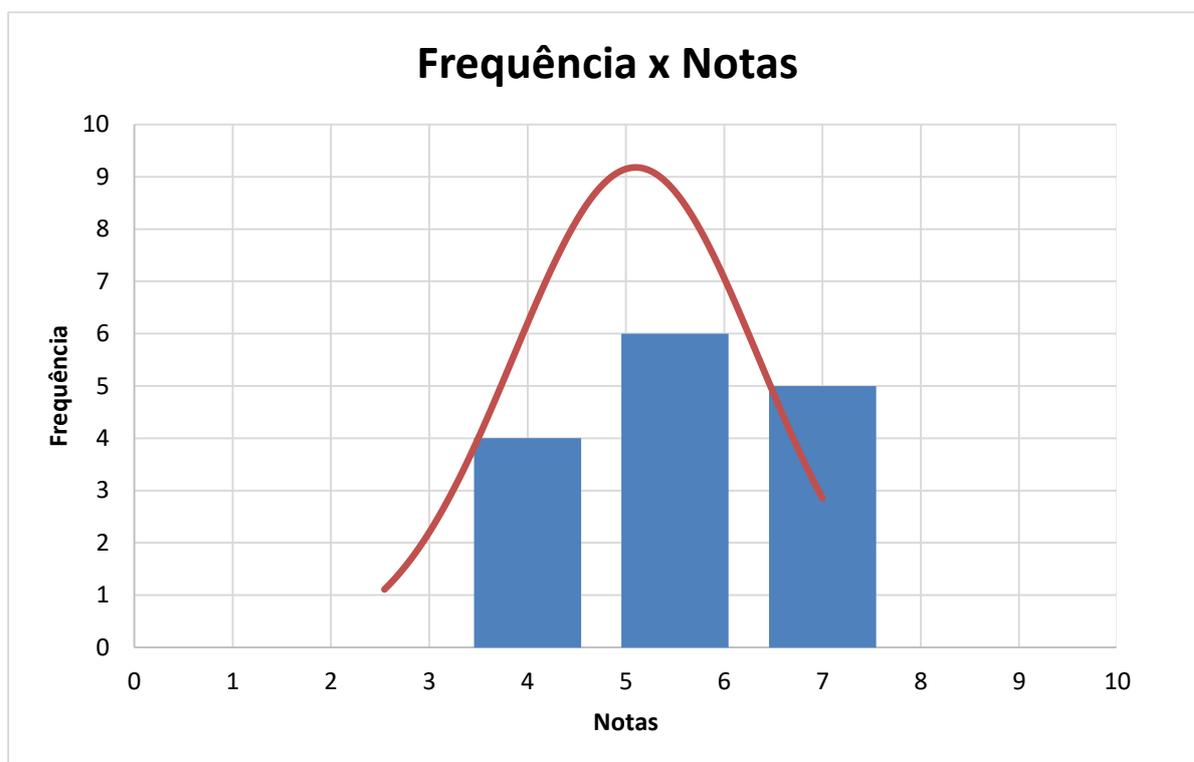
Tabela 8 – Resultado do questionário para os alunos do terceiro ano que não realizaram o experimento

Nº	Variável (x)	Média (μ)	(x - μ)	(x - μ) ²
1	4,0	5,1	-1,1	1,21
2	5,0	5,1	-0,1	0,01
3	5,0	5,1	-0,1	0,01
4	5,5	5,1	0,4	0,16
5	4,5	5,1	-0,6	0,36
6	5,5	5,1	0,4	0,16
7	5,0	5,1	-0,1	0,01
8	2,5	5,1	-2,6	6,76
9	3,5	5,1	-1,6	2,56
10	4,0	5,1	-1,1	1,21
11	6,5	5,1	1,4	1,96
12	7,0	5,1	1,9	3,61
13	6,0	5,1	0,9	0,81
14	6,5	5,1	1,4	1,96
15	6,0	5,1	0,9	0,81
	$\Sigma = 76,5$	–	$\Sigma = 0$	$\sigma^2 = 1,44$ $\sigma = 1,2$

Fonte: O Autor, 2018

Um desvio relativo de $\sigma/y = 0,23$ e uma média de 5,1.

Gráfico 5 – histograma e curva gaussiana



Fonte: O Autor, 2018

O gráfico mostra o histograma das notas de 15 estudantes onde temos a média dos dados 5,1 e a mediana igual a moda 5,0 mostrando um resultado em que a maioria dos estudantes ficaram com nota abaixo de 6,0.

Turma: 3^o Ano

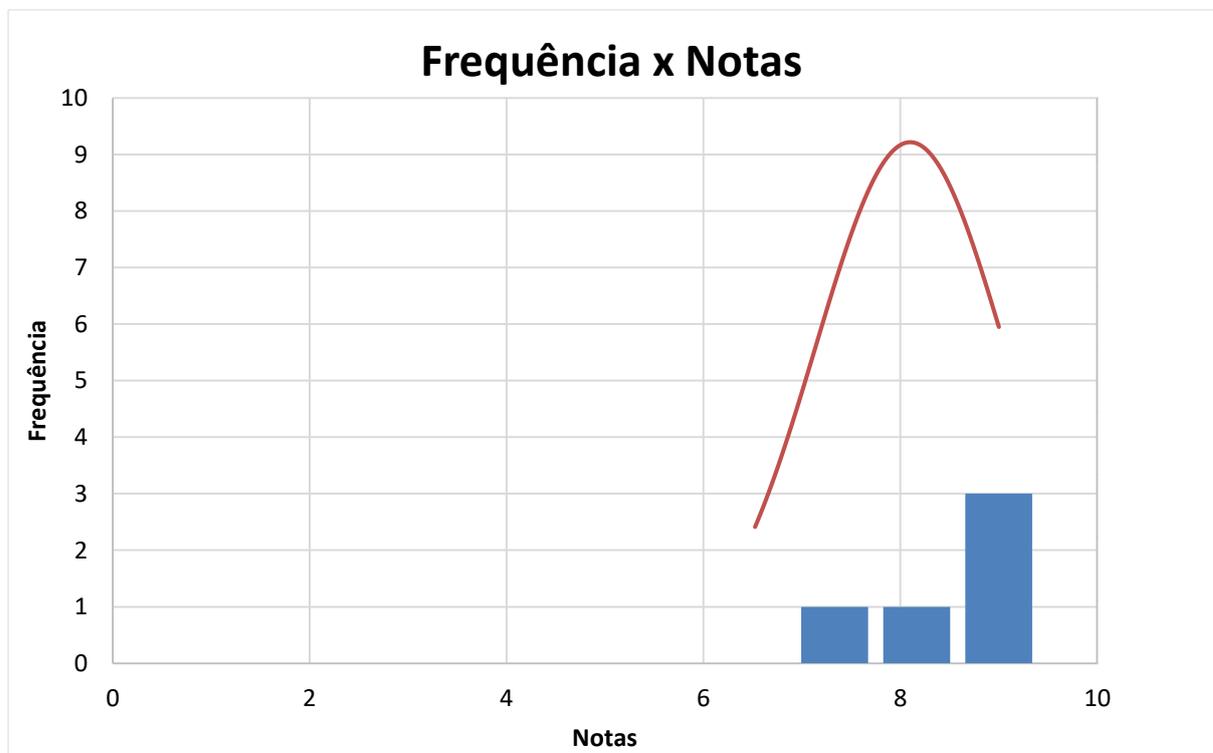
Tabela 9 – Resultado do questionário para os alunos do terceiro ano que participaram do experimento

Nr	Variável(x)	Média (μ)	(x - μ)	(x - μ) ²
1	8,5	8,1	0,4	0,16
2	8,0	8,1	-0,1	0,01
3	9,0	8,1	0,9	0,81
4	8,5	8,1	0,4	0,16
5	6,5	8,1	-1,6	2,56
6	Faltou	-	-	-
$\Sigma = 40,5$		-	$\Sigma = 0$	$\sigma^2 = 0,74$ $\sigma = 0,86$

Fonte: O Autor, 2018

Agora obtivemos um desvio relativo de apenas $\sigma/y = 0,11$ com uma média de 8,1, logo um aumento de 58,8% na média.

Gráfico 6 – histograma e curva gaussiana



Fonte: O Autor, 2018

No gráfico, o histograma mostra o resultado em que todos estudantes ficaram acima da nota 6,00.

De acordo com o resultado visto através do desvio padrão, nas tabelas 06 e 07 conclui-se que as expectativas foram alcançadas com resultados considerável, entretanto, para uma análise mais aprofundada desse estudo, dividimos o valor do desvio pela média e obtemos um desvio relativo, que facilitará a comparação em cenários onde as notas não estejam no mesmo intervalo. Este número que obtemos através da divisão traz um significado mais profundo em termos de aprendizado, um resultado próximo de 1 implica flutuações na mesma ordem da média, direcionando para um aprendizado mais heterogêneo**. No entanto, um valor próximo do zero indica um aprendizado mais homogêneo*** e efetivo, mostrando uma tendência que as equipes compreenderam os assuntos de uma forma homogênea. Este resultado é representado analiticamente nas tabelas 07, 09 e 13 que mostram o resultado dos estudantes que participaram do experimento. Podemos fazer uma comparação com o mostrado nas tabelas 06, 08 e 12 que mostram o resultado dos estudantes que não realizaram o experimento. Verificamos uma melhora relevante no grau de compreensão dos estudantes levando a entender que um aprendizado significativo flui quando os nossos estudantes constroem suas ideias e formulam conceitos pertinentes através de experimentos simples, tornando o ensino-aprendizagem mais efetivo.

A utilização de meios, nesse caso experimentos, que têm como intuito aproximar o aluno do conteúdo abordado e evidenciar como este está presente nas atividades humanas e naturais, permite uma interação mais próxima da realidade, garantindo que o estudante compreenda o assunto de maneira construtivista, ou seja, que ele próprio construa o conceito ao invés de receber tudo pronto do professor.

Esse aspecto da aprendizagem foi notado com os estudantes que realizaram os experimentos e os testes propostos, percebeu-se uma interação mais ativa comparada com aulas que abordaram o mesmo conteúdo de maneira tradicional. Durante a aplicação dos experimentos, os estudantes organizaram suas anotações em uma tabela e fizeram inferências a respeito das atividades que estavam

* Os estudantes do grupo aprenderam de forma dispersa, uns entende mais que os outros.

** Os componentes do grupo aprenderam no mesmo nível, todos com o mesmo entendimento.

executando, dentre elas, eles apresentaram noções de conceitos de matemática, como matrizes, que utilizaram com eficiência para elaborar os gráficos com os dados coletados.

Analisando as tabelas e os gráficos construídos pelos alunos nota-se que o comportamento da temperatura dos pontos através do fio de cobre tende a se estabilizar com o passar do tempo, aproximando de uma reta, atingindo um estado estacionário, que não representa um estado de equilíbrio termodinâmico, pois as temperatura não são iguais. Contudo, o comportamento linear esperado pelo modelo matemático simplificado, só foi observado entre os termômetros A e E, pois há uma sensível perda de calor entre as fontes fria e quente dos termômetros A e E, respectivamente. Esse fenômeno não prejudica o aprendizado, ao contrário, contribui para alertar aos estudantes, e até mesmo aos professores que a modelagem matemática pode impor simplificações exageradas e que um modelo mais realístico pode se tornar impraticável, mesmo em estudos avançados. Os estudantes ao participarem do experimento, além do fator mais importante, que era a condução do calor, perceberam o significado das matrizes, matrizes transpostas, estado estacionário e equilíbrio, manipulação de termômetros, conceito de temperatura e calor, elaboração e análise de gráficos, ou seja, há uma riqueza de conceitos físicos e matemáticos que podem ser trabalhados pelo professor, como mediador do aprendizado significativo.

4.2 Escola de Aplicação Professora Ivonita Alves Guerra

Com a ideia de obtermos um segundo resultado e usando a mesma estratégia construtivista, aplicamos o experimento para estudantes do segundo ano do ensino médio, da escola de Aplicação da Universidade de Pernambuco, Professora Ivonita Alves Guerra. A escola de Aplicação é pública, uma escola diferenciada em que os estudantes são muito bem selecionados para o ingresso que ocorre através de provas de vestibulares anualmente.

A metodologia foi a seguinte: foram escolhidos oito estudantes do segundo ano B para participarem do experimento que foi realizado na própria escola em uma sala à parte. O aparato para realizar o experimento foi apresentado para esses oito estudantes e explicado o seu funcionamento. O desenvolvimento experimental durou

50 minutos, e logo após esse intervalo de tempo, fizemos uma explanação teórica mostrando a finalidade do trabalho de forma básica, sem entrar em rigor matemático. No entanto, conseguimos abordar de forma rápida conceitos básicos da termodinâmica como temperatura e propagação de calor.

Ao retornarem à turma de origem, em seguida aplicamos um questionário básico contendo 24 questões sobre propagação de calor para os 33 estudantes do segundo ano B. Para análise do resultado, observamos individualmente os acertos das questões assim, numa escala de 0 até 24 para os 25 estudantes que não participaram do experimento e para 8 estudantes que participaram (25 + 8). Fizemos um comparativo dos resultados através do desvio padrão dos dados *não* agrupados em que a variável em estudo foi o número de questões *certas* como mostra a Tabela 13. O cálculo do desvio padrão para o grupo que realizou a parte experimental foi 2,4 que é pequeno comparado com a média 18,125. Na Tabela 12 ao observamos o desvio padrão, dos estudantes que *não* realizaram o experimento obtemos 2,7, comparado com uma média de 13,88 mostrando que esse valor é o dobro daqueles que participaram. Ou seja, assim como nas turmas anteriores, é evidenciada uma maior homogeneidade do aprendizado.

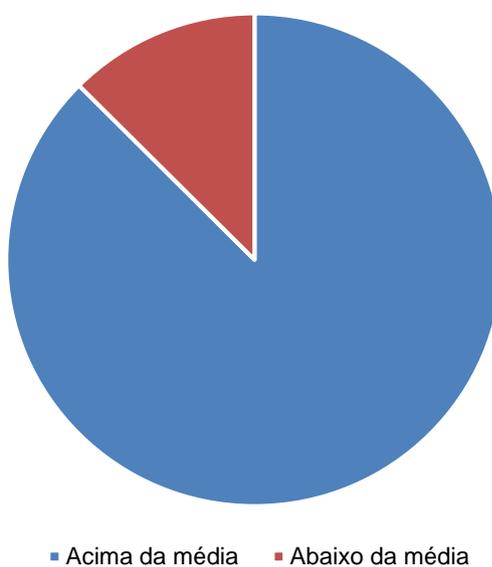
Fazendo uma comparação entre os resultados por equipe, verificamos que aqueles que participaram da aula experimental obtiveram um rendimento mais eficaz comparado com aqueles que não participaram. Chegamos a mais um resultado desejado e plausível indicando que de maneira simples essa técnica funcionou em duas escolas distintas e que pode ser relevante quando aplicado em outras turmas em busca de um aprendizado mais eficaz.

Tabela 10 – Resultado do questionário para os alunos do segundo ano que participaram do experimento

Turma: 2º Ano	Nº de estudantes	Porcentagem (%)
Nota acima da meta (6,0)	7	87,5
Nota abaixo da meta (6,0)	1	12,5
Total	8	100

Fonte: O Autor, 2018

Gráfico 7 - gráfico de setores



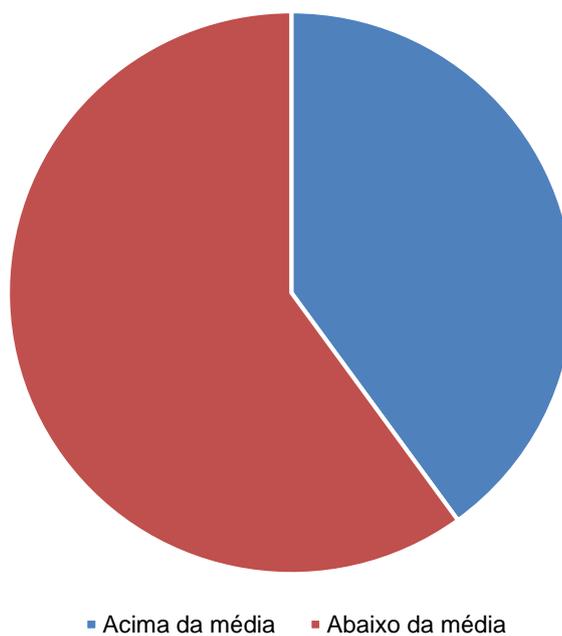
Fonte: O Autor, 2018

Tabela 11 – Resultado do questionário para os alunos do segundo ano que não realizaram o experimento

Turma: 2º Ano	Nº de estudantes	Porcentagem (%)
Nota acima da meta (6,0)	10	40
Nota abaixo da meta (6,0)	15	60
Total	25	100

Fonte: O Autor, 2018

Gráfico 8 - gráfico de setores



Fonte: O Autor, 2018

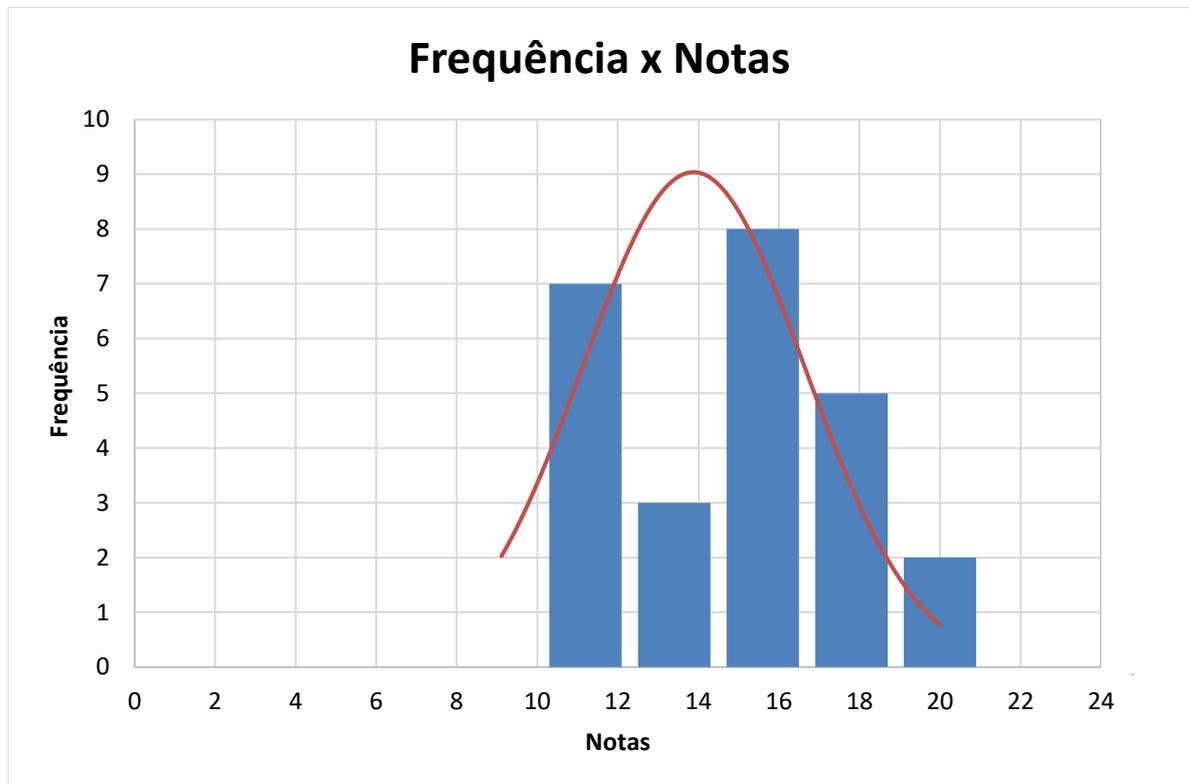
Tabela 12 – Resultado do questionário para os alunos do segundo ano que não realizaram o experimento

Nº	Variável(x)	Média (μ)	(x - μ)	(x - μ) ²
1	11	13,88	-2,88	8,2944
2	9	13,88	-4,88	23,8144
3	11	13,88	-2,88	8,2944
4	17	13,88	3,12	9,7344
5	14	13,88	0,12	0,0144
6	15	13,88	1,12	1,2544
7	16	13,88	2,12	4,4944
8	13	13,88	-0,88	0,7744
9	20	13,88	6,12	37,4544
10	14	13,88	0,12	0,0144
11	14	13,88	0,12	0,0144
12	18	13,88	4,12	16,9744
13	14	13,88	0,12	0,0144
14	13	13,88	-0,88	0,7744
15	11	13,88	-2,88	8,2944
16	13	13,88	-0,88	0,7744
17	14	13,88	0,12	0,0144
18	16	13,88	2,12	4,4944
19	15	13,88	1,12	1,2544
20	11	13,88	-2,88	8,2944
21	11	13,88	-2,88	8,2944
22	16	13,88	2,12	4,4944
23	17	13,88	3,12	9,7344
24	15	13,88	1,12	1,2544
25	9	13,88	-4,88	23,8144
$\Sigma = 347$		-	$\Sigma = 0$	$\sigma^2 = 7,30$ $\sigma = 2,7$

Fonte: O Autor, 2018

Neste caso, uma média de 13,88, agora numa escala de 0 à 24, que numa escala tradicional de 0 à 10 corresponde a 5,78 e um desvio relativo de $\sigma/y = 0,19$

Gráfico 9 – histograma e curva gaussiana



Fonte: O Autor, 2018

No gráfico acima, o histograma mostra o resultado das notas obtida pelos os 25 estudantes a curva representa a gaussiana referente à esses dados. Analisando a figura vemos que a maioria dos estudantes acertaram entre 12 e 16 questões.

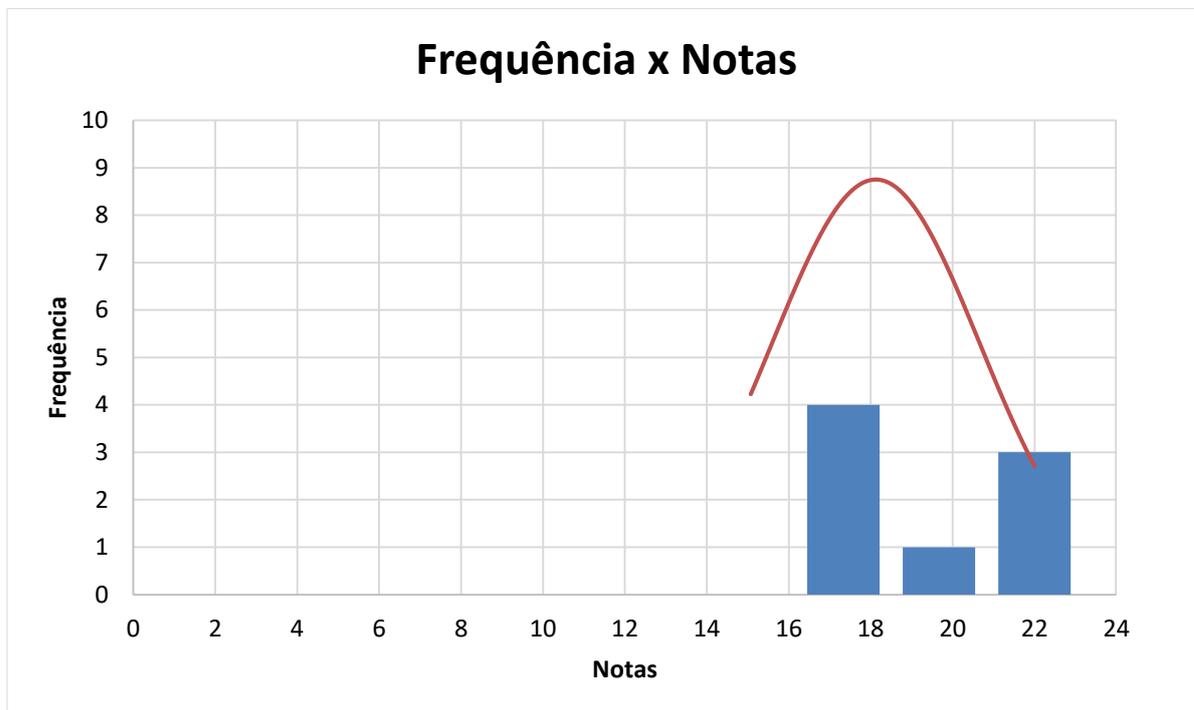
Tabela 13 – Resultado do questionário para os alunos do segundo ano que participaram do experimento

Nº	Variável(x)	Média (μ)	(x - μ)	(x - μ) ²
1	22	18,125	3,875	15,01563
2	17	18,125	-1,125	1,265625
3	20	18,125	1,875	3,515625
4	15	18,125	-3,125	9,765625
5	19	18,125	0,875	0,765625
6	20	18,125	1,875	3,515625
7	15	18,125	-3,125	9,765625
8	17	18,125	-1,125	1,265625
-	$\Sigma = 145$	-	$\Sigma = 0$	$\sigma^2 = 5,61$ $\sigma = 2,4$

Fonte: O Autor, 2018

Neste caso tivemos uma média de 18,125, que corresponde a 7,55 na escala tradicional, assim um aumento de 30,6% com um desvio relativo de $\sigma/y = 0,13$.

Gráfico 10 – histograma e curva gaussiana



Fonte: O Autor, 2018

O gráfico mostra o histograma onde vemos que a maioria dos estudantes obtiveram acertos acima de 17 questões.

Na tabela 14, temos o resultado dos dados estatísticos de forma resumida. Observe a porcentagem da coluna $\Delta m/m$ em que $\frac{6,75 - 5,25}{5,25}$, ou seja, dividimos essa variação pela média da turma em observação. Isso nos diz que houve uma melhora eficaz no aprendizado de 28,57%, para a 2^o ano da EVS e, 58,82% para o terceiro ano da mesma escola e 30,62% da de aplicação da UPE. A coluna da porcentagem mostra um resultado negativo como era de se esperar, pois a variação é negativa e isso nos diz que houve um aprendizado relevante quando relacionamos com a variação da média e contribuindo para um resultado mais satisfatório nas avaliações de forma geral.

Tabela 14 – Resumo dos dados estatísticos

Escola/Grupo	Experimento	Total	Média	$\Delta m/m$ (%)	Desvio	$\Delta d/d$ (%)	DR
EVS 2º ano A	Sim	06	6,75		0,48		0,07
	Não	26	5,25	28,57	0,95	- 49,47	0,18
EVS 3º ano A	Sim	05	8,1		0,86		0,11
	Não	15	5,1	58,82	1,2	- 28,33	0,23
Aplicação - UPE 2º ano B	Sim	08	18,125		2,4		0,13
	Não	25	13,88	30,62	2,7	- 11,11	0,19

Fonte: O Autor, 2018

5 CONCLUSÕES

Com objetivo de melhorar as aulas de física e acreditando num processo avaliativo contínuo, torna-se viável investir nas aulas experimentais, valorizando a participação dos estudantes e dando significado aos modelos teóricos. Os estudantes mostram interesse em saber o porquê de cada fenômeno transcorrido durante o experimento por mais simples que seja.

Com base na abordagem utilizada durante as aulas experimentais, os estudantes transmitiram com mais naturalidade suas ideias e interpretações, dessa forma são capazes de buscar explicações em um nível mais adequado e interessante envolvendo todos os colegas no processo de compreensão mais profundo comparada à aula apenas expositiva e teórica.

Embora a metodologia não tenha sido 99,9% eficaz, foi observada uma diferença positiva relevante na aprendizagem dos estudantes que participaram dos experimentos. Isso é um indicativo de que as aulas experimentais auxiliam no ensino de conceitos abstratos de Física. É observado que uma parcela se mostra mais motivada e mais ativa na busca de respostas às questões descobertas.

Devido às políticas educacionais focadas em índices, torna-se desafiador estimular os alunos a estudar. O fluxo de aprovação distorce o rendimento, produzindo egressos com grandes deficiências de aprendizagem. A facilidade em progredir, por sua vez, não motiva o aluno a estudar, confiante de que no final do ano suas notas serão ajustadas e ele será aprovado. Infelizmente, muitos desses estudantes entram na universidade sem dominar conceitos elementares. Assim, uma atividade diferenciada pode atrair e despertar a curiosidade dos estudantes, agindo como agente motivador.

Levando em consideração a realidade de nossas escolas públicas, com falta de recursos e de infraestrutura adequada, torna-se necessária a utilização de materiais de baixo custo, que possam ser adquiridos com verbas pequenas, ou mesmo pelo próprio professor. Mesmo em algumas escolas consideradas de referências faltam laboratórios adequados, ou, quando há o laboratório falta um profissional qualificado para sua utilização.

6 PERSPECTIVAS

Acreditamos que a metodologia baseada no produto educacional desenvolvido nessa dissertação pode ser utilizada em escala maior nas escolas de ensino médio em geral. É possível, também, utilizar o mesmo produto no ensino superior, tanto na discussão conceitual dos fenômenos físicos envolvidos, quanto na comparação com os resultados obtidos pela resolução da equação diferencial da difusão de calor em vários graus de complexidade. Por exemplo, podemos comparar os resultados experimentais com os resultados analíticos ou numéricos oriundos da resolução da equação da difusão em coordenadas cilíndricas, incluindo o fator de dissipação nas paredes laterais do fio. Mesmo no ensino médio, ainda que os detalhes mais avançados do modelo matemático da difusão sejam ocultados dos estudantes, é possível motivá-los com a perspectiva de que as teorias estudadas servem para descrever situações reais. Ainda no ensino médio, variações do experimento podem ser realizadas, trocando-se, por exemplo, o material do fio, para mostrar que diferentes materiais apresentam distintos comportamentos sob as mesmas condições. Baseando em um modelo matemático realista, mesmo que sua solução não seja discutida em detalhes com os estudantes, pode-se obter as condutividades de alguns materiais.

É possível, também, descrever os fenômenos através de simulações computacionais motivadas em modelos matemáticos mais realistas e que apresentem resultados compatíveis com os obtidos experimentalmente. Dessa maneira os estudantes poderiam participar de experimentos simulados, reduzindo ainda mais os custos operacionais, sem comprometer a metodologia.

REFERÊNCIAS

- [1] ALONSO, M.; FINN, E. J., **Física: um curso universitário**: 2. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2014.
- [2] PIFER, Anderson; AURANI, Katya Margareth, A teoria analítica do calor de Joseph Fourier: uma análise das bases conceituais e epistemológicas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Santo André, Sociedade Brasileira de Física, v. 37, n. 1, mar. 2015.
- [3] CALLEN, Herbert B., **Thermodynamics and an Introduction to Thermostatistics**. 2. ed. Nova York: Wiley, 1985.
- [4] C.Kittel. **Introduction to Solid State Physics**. 8. ed. Nova York: Wiley, 2014.
- [5] CRESPO, Antônio Arnot., **Estatística Fácil**: 19. ed. São Paulo: Saraiva, 2009.
- [6] FEYNMAN, Richard P. et al. **Lições de Física de Feynman**. Porto Alegre: Bookman, 2008.
- [7] FIGUEIREDO, Djairo G. **Análise de Fourier e Equações Diferenciais Parciais**. 4. ed. Rio de Janeiro: IMPA, 2014.
- [8] HALLIDAY, David. RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.
- [9] MOREIRA, Marco Antônio. **Aprendizagem Significativa: a teoria e textos complementares**. 1. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2011.
- [10] NUSSENZVEIG, H. Moysés., **Curso de Física Básica**. 4. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2002.
- [11] OLIVEIRA, Marta Kohl de. **Vygotsky, aprendizado e desenvolvimento: Um processo sócio-histórico**. 4. ed. São Paulo: Scipione, 1997.
- [12] YOUNG, H; FREEDMAN, R; SEARS, F; ZEMANSKY, M. **Física II**. 2. ed. São Paulo: Pearson, 2008.
- [13] SALINAS, Sílvio R. A., **Introdução à Física Estatística**. 2. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2013.
- [14] ZILL, Dennis G.; CULLEN, Michael R. **Equações Diferenciais**. 3. ed. São Paulo: Pearson, 2001.
- [15] KAZUHITO, Yamamoto; FUKE, Luiz Felipe. **Física para o Ensino Médio**. 4. ed. São Paulo: Saraiva, 2017.
- [16] SAMPAIO, José Luiz; CALÇADA, Caio Sérgio. **Universo da Física**. 2. ed. São Paulo: Atual, 2005.

[17] SAMPAIO, José Luiz; CALÇADA, Caio Sérgio. **Física**. 3. ed. São Paulo: Atual, 2008.

[18] CARVALHO, Anna Maria Pessoa de; et al. **Calor e Temperatura: um ensino por investigação**. 1. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2014.

[19] DOCA, Ricardo Helou; BISCUOLA, Gualter José; BÔAS, Newton Villas. **Física**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2013.

APÊNDICE A – Tabelas e gráficos dos dados extraídos pelos os estudantes

Para construção dos gráficos e análise de resultados, utilizamos os dados extraídos por cada grupo de alunos que participaram do experimento anotando em uma tabela na forma matricial. A tabela 15 mostra os dados anotados pelos estudantes do 2º ano do ensino médio da escola de Referência Virgem do Socorro e, a tabela 16 apresenta os dados extraídos pelos estudantes do 3º ano da mesma escola. Para o segundo ano, aplicamos o experimento durante um intervalo de tempo de 70 minutos e o do terceiro ano 80 minutos. Logo após cada tabela, temos os gráficos que representam o comportamento da temperatura em função do tempo e da temperatura em função da posição durante o intervalo de tempo analisado.

Esses gráficos são os resultados dos dados anotados por cada grupo que participou do experimento e estão distribuídos nesta ordem: fonte fria (T_F), $T(A)$, $T(B)$, $T(C)$, $T(D)$, $T(E)$ e fonte quente (T_Q) esboçados em função do tempo e outro gráfico da temperatura em função das cinco posições (A, B, C, D e E) que mostra o comportamento da temperatura se aproximando de uma reta conforme esperado pela lei de Fourier. Os dados foram cuidadosamente registrados pelos alunos de cada grupo, onde cada aluno teve responsabilidade de anotar a leitura de um dos termômetros digitais distribuídos no aparato.

No gráfico da temperatura em função da posição, observamos um segmento de reta horizontal que são os dados da linha L_0 , mostrado na tabela 15, em que esses dados representam a temperatura ambiente do fio de cobre antes de iniciar o experimento. Para a construção desse gráfico, escolhemos linhas horizontais no início, meio e fim da tabela incluindo a linha L_0 , a fim de analisar o comportamento da temperatura durante a evolução temporal.

O método utilizado para a construção dos gráficos e análise dos dados coletados foi empregado para todas as turmas em que o experimento foi aplicado.

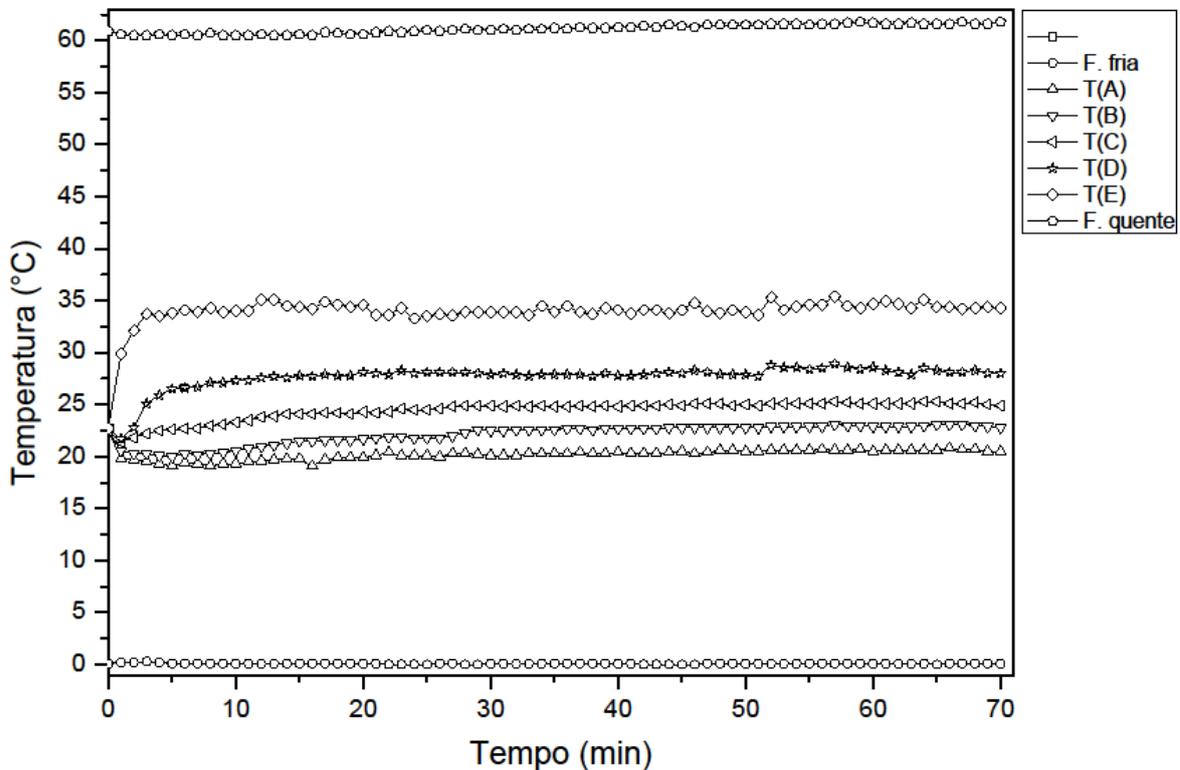
Tabela 15 – Dados extraídos pelos alunos do 2º ano da escola de Referência Virgem do Socorro

Tempo (min)	T _F (°C)	T _A (°C)	T _B (°C)	T _C (°C)	T _D (°C)	T _E (°C)	T _Q (°C)
Calibração	0,1	0,1	0,1	0,0	0,2	0,1	0,2
T ₀	0,1	22,6	22,6	22,5	22,9	22,7	60,9
1	0,2	19,8	20,6	21,4	21,7	29,9	60,6
2	0,2	19,7	20,3	21,8	22,8	32,1	60,5
3	0,3	19,5	20,3	22,2	25,1	33,7	60,5
4	0,2	19,3	20,1	22,5	25,9	33,5	60,6
5	0,1	19,1	20,0	22,6	26,5	33,8	60,5
6	0,1	19,4	20,3	22,7	26,6	34,1	60,6
7	0,1	19,3	20,2	22,7	26,7	33,9	60,5
8	0,1	19,1	20,3	23,0	27,1	34,3	60,7
9	0,1	19,3	20,4	23,1	27,1	33,9	60,5
10	0,1	19,3	20,6	23,3	27,3	34,0	60,5
11	0,1	19,5	20,8	23,5	27,3	34,0	60,5
12	0,1	19,6	21,0	23,8	27,6	35,1	60,6
13	0,1	19,7	21,1	23,9	27,7	35,1	60,5
14	0,1	19,8	21,3	24,1	27,6	34,5	60,5
15	0,1	19,8	21,5	24,1	27,8	34,4	60,6
16	0,1	19,1	21,5	24,1	27,7	34,2	60,5
17	0,1	19,7	21,6	24,2	27,9	34,9	60,8
18	0,1	19,9	21,6	24,2	27,8	34,6	60,7
19	0,1	19,9	21,6	24,1	27,8	34,4	60,6
20	0,1	19,9	21,7	24,3	28,1	34,6	60,6
21	0,1	20,1	21,8	24,2	28,0	33,6	60,8
22	0,0	20,4	21,9	24,3	27,9	33,6	60,9
23	0,0	20,1	21,9	24,6	28,3	34,3	60,8
24	0,0	20,1	21,8	24,5	28,0	33,3	60,9
25	0,0	20,1	21,8	24,5	28,1	33,5	61,0
26	0,1	20,0	21,8	24,6	28,1	33,7	60,9
27	0,1	20,3	22,0	24,8	28,1	33,6	61,0
28	0,0	20,3	22,3	24,9	28,1	33,9	61,1
29	0,0	20,2	22,6	24,9	28,0	33,9	61,0
30	0,1	20,1	22,5	24,9	27,9	33,9	61,0
31	0,1	20,1	22,5	24,8	28,0	33,9	61,1
32	0,1	20,1	22,6	24,9	27,9	33,9	61,0
33	0,1	20,3	22,6	24,8	27,8	33,6	61,1
34	0,1	20,3	22,6	24,9	27,9	34,5	61,1
35	0,1	20,3	22,6	24,8	27,9	33,9	61,2
36	0,1	20,3	22,7	24,8	27,9	34,5	61,1
37	0,1	20,4	22,7	24,9	27,9	33,9	61,3
38	0,1	20,3	22,60	24,8	27,7	33,7	61,2
39	0,1	20,3	22,7	24,9	28,0	34,3	61,2
40	0,1	20,4	22,7	24,8	27,8	34,1	61,3
41	0,1	20,3	22,7	24,9	27,8	33,8	61,3
42	0,0	20,3	22,7	24,9	27,9	34,1	61,4
43	0,0	20,3	22,7	24,9	28,0	34,1	61,3
44	0,0	20,4	22,8	25,0	28,1	33,8	61,5
45	0,0	20,5	22,8	24,9	28,0	34,1	61,4
46	0,0	20,3	22,8	25,1	28,3	34,8	61,3
47	0,1	20,4	22,8	25,1	28,1	34,0	61,5

48	0,1	20,6	22,8	25,1	27,9	33,8	61,5
49	0,1	20,6	22,8	24,9	27,9	34,1	61,5
50	0,1	20,5	22,8	25,0	27,9	33,9	61,5
51	0,1	20,5	22,8	24,9	27,7	33,6	61,5
52	0,1	20,6	22,9	25,1	28,8	35,3	61,6
53	0,1	20,6	22,9	25,1	28,6	34,1	61,6
54	0,1	20,6	22,9	25,1	28,6	34,4	61,6
55	0,1	20,6	22,9	25,1	28,4	34,6	61,5
56	0,1	20,7	22,9	25,1	28,5	34,6	61,6
57	0,1	20,6	23,1	25,3	28,9	35,4	61,6
58	0,1	20,6	23,0	25,2	28,6	34,5	61,7
59	0,1	20,7	23,0	25,1	28,4	34,3	61,8
60	0,1	20,5	22,9	25,1	28,6	34,7	61,7
61	0,1	20,6	22,9	25,1	28,3	35,0	61,6
62	0,1	20,6	22,9	25,1	28,1	34,7	61,6
63	0,1	20,6	22,9	25,1	27,9	34,3	61,7
64	0,1	20,6	23,0	25,3	28,5	35,1	61,6
65	0,0	20,6	23,1	25,3	28,3	34,4	61,6
66	0,1	20,8	23,1	25,1	28,1	34,4	61,6
67	0,1	20,7	23,1	25,1	28,1	34,2	61,8
68	0,1	20,7	23,0	25,2	28,3	34,3	61,6
69	0,1	20,5	22,9	25,0	28,0	34,4	61,6
70	0,1	20,5	22,8	24,9	28,0	34,3	61,8

Fonte: O Autor, 2018

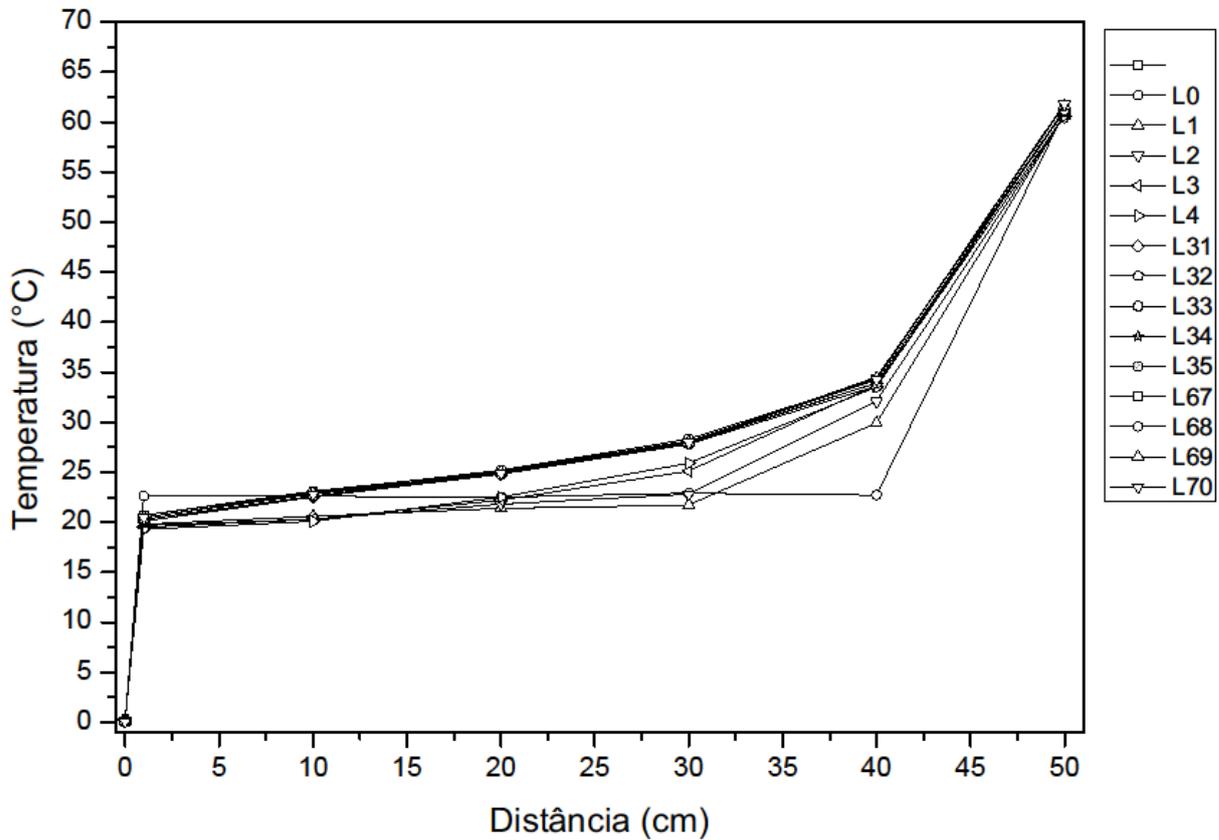
Gráfico 11 - Comportamento da temperatura nos cinco pontos localizados no fio e na fonte fria e quente ao longo do tempo.



Fonte: O Autor, 2018

O gráfico 11 mostra o comportamento da temperatura em função do tempo durante um intervalo de 70 minutos. Nesse gráfico, temos a representação dos 7 termômetros digitais, cinco localizado em pontos distintos e equidistante ao longo dos 40,0 cm de fio de cobre. Dois termômetros foram inseridos nas fontes fria e fonte quente em busca de elevação ou queda da temperatura com a evolução temporal. Todos os termômetros mostram pequenas flutuações que foram comuns durante todos os experimentos em laboratório e quando aplicado em sala de aula.

De acordo com a tabela 15, entre o início e o fim do experimento temos uma variação na temperatura muito pequena de $\Delta T = 61,8^{\circ}\text{C} - 60,9^{\circ}\text{C} = 0,9^{\circ}\text{C}$ onde os termômetros atingiram um estado estacionário durante esse tempo de experimento. Com esse gráfico podemos mostrar aos estudantes com maior detalhe que a temperatura é uma medida escalar.

Gráfico 12 - Temperatura ao longo do fio, desde a fonte fria ($x = 0$) até a fonte quente ($x =$ 

Fonte: O Autor, 2018

O gráfico 12 mostra a temperatura em função da distância, analisada no fio de 40,0cm de comprimento, tomando linhas horizontais na tabela 15, sendo algumas escolhidas no início, meio e fim como mostra a legenda no lado direito da figura. Com a evolução temporal, a temperatura nos 5 pontos equidistantes do fio tende a se estabilizar, pois no estado estacionário o comportamento tende para uma reta.

Na tabela 16, mostramos os dados extraídos pelo os seis estudantes do 3^o ano, que participaram do experimento. O método utilizado para a análise dos dados e construção dos gráficos foi o mesmo empregado na turma do segundo ano.

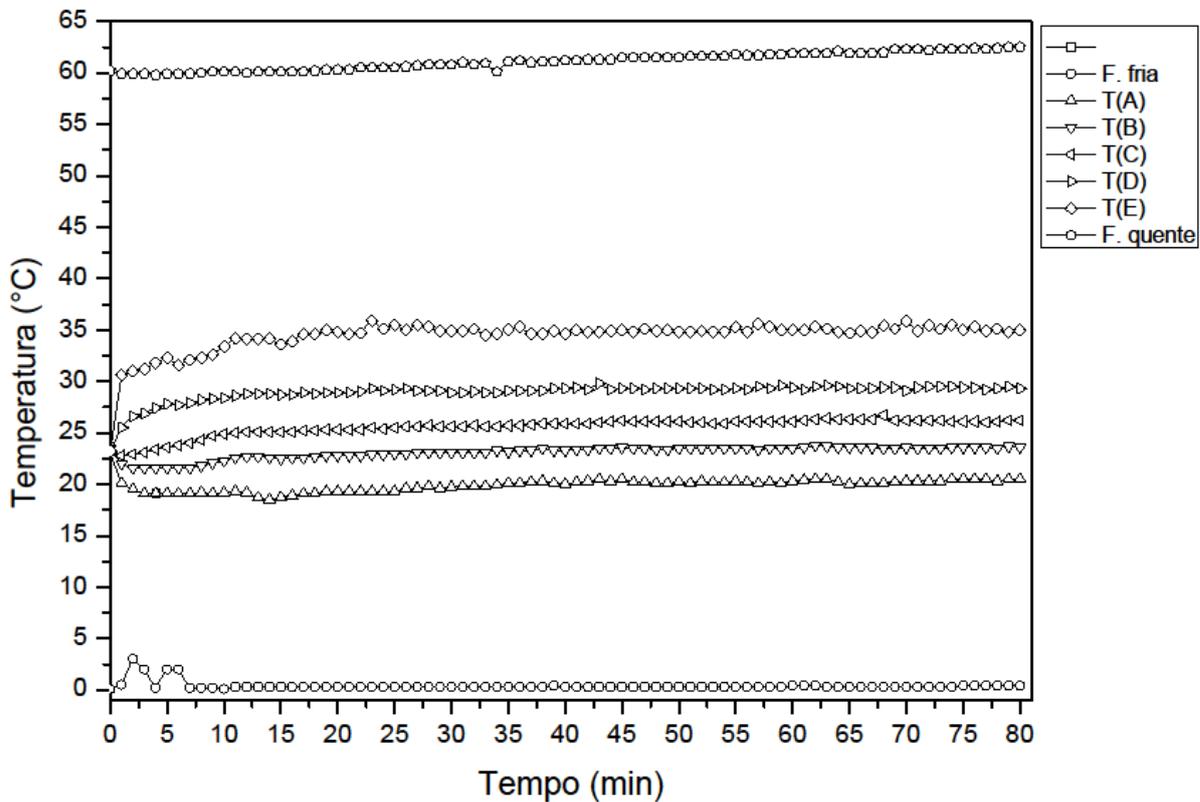
Tabela 16 – Dados extraídos pelos alunos do 3^o ano da escola de Referência Virgem do Socorro

Tempo (min)	T_F (°C)	T_A (°C)	T_B (°C)	T_C (°C)	T_D (°C)	T_E (°C)	T_Q (°C)
Calibração	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1
T ₀	0,1	23,1	23,5	23,5	23,2	23,2	60,2
1	0,5	20,1	22,0	22,8	25,5	30,6	59,9
2	0,3	19,5	21,6	22,9	26,6	31,0	59,9
3	0,2	19,1	21,6	23,1	26,9	31,2	59,9
4	0,2	19,1	21,6	23,4	27,4	31,8	59,8
5	0,2	19,1	21,6	23,6	27,8	32,3	59,9
6	0,2	19,1	21,6	23,8	27,7	31,6	59,9
7	0,2	19,1	21,6	24,0	27,9	32,1	59,9
8	0,2	19,2	21,8	24,3	28,2	32,3	60,0
9	0,2	19,1	22,1	24,7	28,3	32,6	60,1
10	0,1	19,2	22,3	24,9	28,4	33,4	60,1
11	0,3	19,3	22,6	25,0	28,6	34,2	60,1
12	0,3	19,2	22,7	25,1	28,8	34,1	60,0
13	0,3	18,7	22,7	25,1	28,8	34,1	60,1
14	0,3	18,5	22,6	25,1	28,8	34,2	60,1
15	0,3	18,7	22,5	25,1	28,7	33,6	60,1
16	0,3	18,9	22,6	25,1	28,7	33,9	60,1
17	0,3	19,1	22,6	25,2	28,9	34,6	60,1
18	0,3	19,1	22,7	25,2	28,8	34,6	60,2
19	0,3	19,3	22,8	25,3	28,9	35,0	60,3
20	0,3	19,3	22,8	25,3	28,9	34,8	60,3
21	0,3	19,3	22,8	25,3	28,9	34,6	60,3
22	0,3	19,3	22,8	25,3	29,0	34,7	60,5
23	0,3	19,3	22,9	25,5	29,3	35,9	60,5
24	0,3	19,3	22,9	25,4	29,1	35,1	60,5
25	0,3	19,3	23,0	25,5	29,2	35,5	60,5
26	0,3	19,6	23,0	25,6	29,3	35,0	60,6
27	0,3	19,6	23,1	25,6	29,1	35,5	60,7
28	0,3	19,8	23,1	25,7	29,1	35,3	60,8
29	0,3	19,6	23,1	25,6	29,1	34,9	60,8
30	0,3	19,7	23,1	25,6	28,9	34,9	60,8
31	0,3	19,8	23,1	25,6	28,9	34,9	61,0
32	0,3	19,8	23,1	25,7	29,0	35,1	60,8
33	0,3	19,8	23,1	25,6	28,9	34,5	60,9
34	0,3	19,9	23,3	25,6	28,9	34,6	60,1
35	0,3	20,1	23,2	25,7	29,1	35,0	61,1
36	0,3	20,1	23,3	25,7	29,1	35,3	61,2
37	0,3	20,2	23,3	25,8	29,1	34,6	61,0
38	0,3	20,3	23,5	25,9	29,1	34,6	61,1
39	0,4	20,1	23,3	25,9	29,3	34,9	61,1
40	0,3	20,0	23,3	25,9	29,3	34,6	61,2
41	0,3	20,2	23,4	25,9	29,4	35,0	61,2

42	0,3	20,3	23,4	25,9	29,2	34,8	61,3
43	0,3	20,5	23,5	26,0	29,8	34,8	61,3
44	0,3	20,3	23,5	26,1	29,2	34,9	61,3
45	0,3	20,5	23,6	26,2	29,3	35,0	61,5
46	0,3	20,2	23,5	26,1	29,3	34,8	61,5
47	0,3	20,2	23,5	26,1	29,2	35,1	61,5
48	0,3	20,1	23,4	26,1	29,3	34,9	61,5
49	0,3	20,1	23,4	26,1	29,3	35,0	61,5
50	0,3	20,2	23,5	26,1	29,3	34,8	61,5
51	0,3	20,1	23,5	26,0	29,3	34,8	61,6
52	0,3	20,3	23,5	26,0	29,3	34,9	61,6
53	0,3	20,2	23,5	25,9	29,2	34,8	61,6
54	0,3	20,2	23,5	25,9	29,2	34,8	61,6
55	0,3	20,3	23,5	26,1	29,3	35,3	61,8
56	0,3	20,2	23,5	26,1	29,2	34,8	61,7
57	0,3	20,1	23,4	26,1	29,5	35,6	61,7
58	0,3	20,2	23,5	26,1	29,3	35,3	61,8
59	0,3	20,1	23,5	26,1	29,6	35,0	61,8
60	0,4	20,3	23,5	26,1	29,4	35,0	61,9
61	0,4	20,4	23,6	26,2	29,2	35,0	61,9
62	0,4	20,5	23,8	26,3	29,5	35,3	61,9
63	0,3	20,5	23,7	26,4	29,6	35,1	61,9
64	0,3	20,2	23,6	26,3	29,5	34,8	62,1
65	0,3	20,0	23,6	26,3	29,3	34,7	61,9
66	0,3	20,1	23,6	26,3	29,3	34,9	61,9
67	0,3	20,1	23,6	26,3	29,3	34,8	61,9
68	0,3	20,1	23,5	26,7	29,4	35,4	62,0
69	0,3	20,2	23,5	26,2	29,4	35,1	62,3
70	0,3	20,3	23,6	26,2	29,1	35,9	62,3
71	0,3	20,3	23,5	26,2	29,4	34,9	62,3
72	0,3	20,3	23,5	26,2	29,5	35,5	62,2
73	0,3	20,3	23,5	26,2	29,5	35,1	62,3
74	0,3	20,5	23,6	26,1	29,5	35,5	62,3
75	0,4	20,5	23,6	26,1	29,4	35,0	62,3
76	0,4	20,5	23,6	26,1	29,4	35,3	62,4
77	0,4	20,5	23,6	26,0	29,2	34,9	62,3
78	0,4	20,3	23,5	26,1	29,3	35,1	62,4
79	0,4	20,5	23,7	26,2	29,5	34,8	62,5
80	0,4	20,5	23,6	26,2	29,3	35,0	62,5

Fonte: O Autor, 2018

Gráfico 13 - Comportamento da temperatura nos cinco pontos localizados no fio e na fonte fria e quente ao longo do tempo.



Fonte: O Autor, 2018

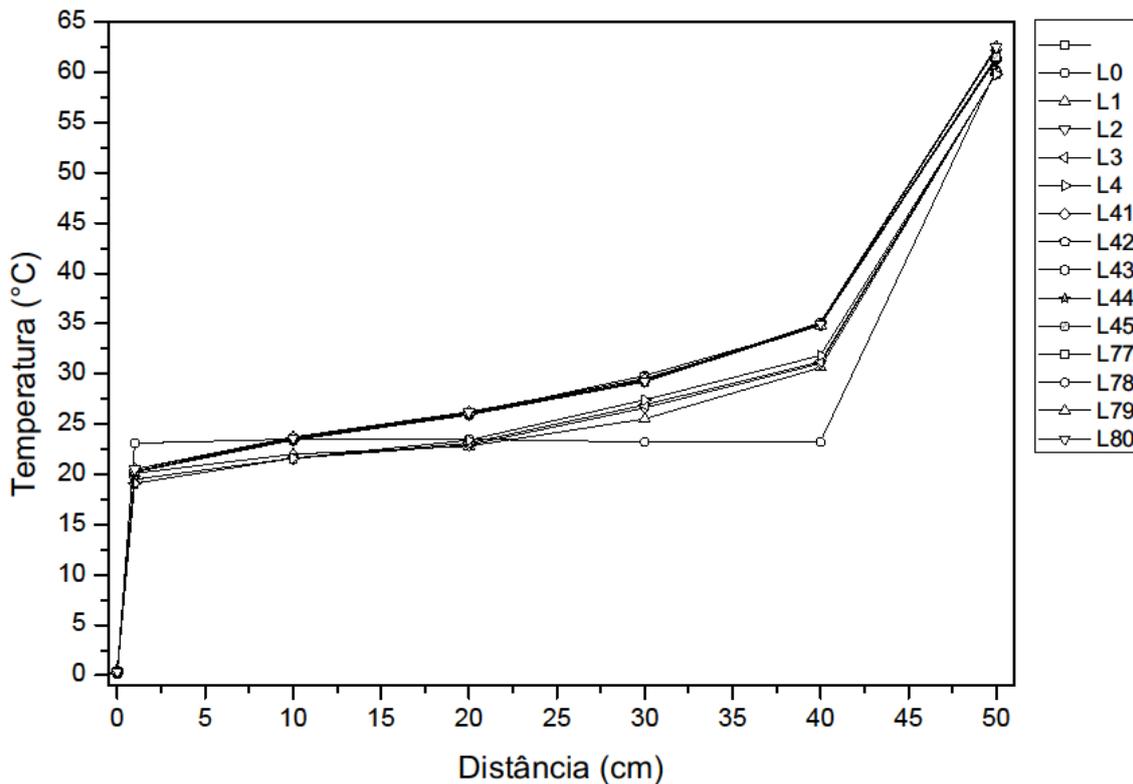
O gráfico 13 mostra o comportamento da temperatura em função do tempo durante um intervalo de 80 minutos em que o procedimento foi o mesmo aplicado anterior.

De acordo com a tabela 16, vemos que o experimento durou 80 minutos e durante esse intervalo a fonte quente mostrou uma elevação muito pequena na temperatura $\Delta T = 62,5^{\circ}\text{C} - 60,2^{\circ}\text{C} = 2,3^{\circ}\text{C}$, mas não desprezível.

Neste experimento aplicado aos estudantes do 3^o ano, obtivemos uma alta variação de temperatura, comparada com a variação da temperatura do experimento aplicado ao do 2^o ano, que foi $\Delta T = 0,9^{\circ}\text{C}$ como mostra o gráfico 11 (página 60). A variação $\Delta T = 2,3^{\circ}\text{C}$ é justificada e mostrada na figura 8 do Apêndice C (Produto Educacional) anexado à este trabalho (página 86), em que os diâmetros na tampa da fonte quente eram 2,0 cm quando aplicamos o experimento para o 3^o ano. Após observada essa variação que foi superior a $2,0^{\circ}\text{C}$, resolvemos aumentar os diâmetros

em 0,5 cm com objetivo de aumentar a troca de energia térmica para o ambiente e manter uma variação pequena.

Gráfico 14- Temperatura ao longo do fio, desde a fonte fria ($x = 0$) até a fonte quente ($x = 50\text{cm}$)



Fonte: O Autor, 2018

O gráfico 14 mostra o comportamento da temperatura em função da distância, tomando linhas horizontais da tabela 16, sendo algumas escolhidas no início, meio e fim como mostra a legenda no lado direito do gráfico. Com a evolução temporal, a temperatura nos cinco pontos equidistantes do fio de cobre tende a se estabilizar e esses pontos convergem para uma reta ilustrando a lei de Fourier.

A tabela 17 representa os dados anotados pelos estudantes da Escola de Aplicação da Universidade de Pernambuco – UPE Professora Ivonita Alves Guerra que posteriormente esboçamos os gráficos para a análise de resultados. Inicialmente ao analisarmos cada gráfico verificamos que a temperatura começa a se normalizar após os 15 minutos, tendo em vista uma pequena queda de energia elétrica quando iniciamos a parte experimental, fenômeno que não interferiu no resultado esperado, apenas comportamento gráfico. O mesmo método utilizado anteriormente foi utilizado para a análise dos dados dessa turma.

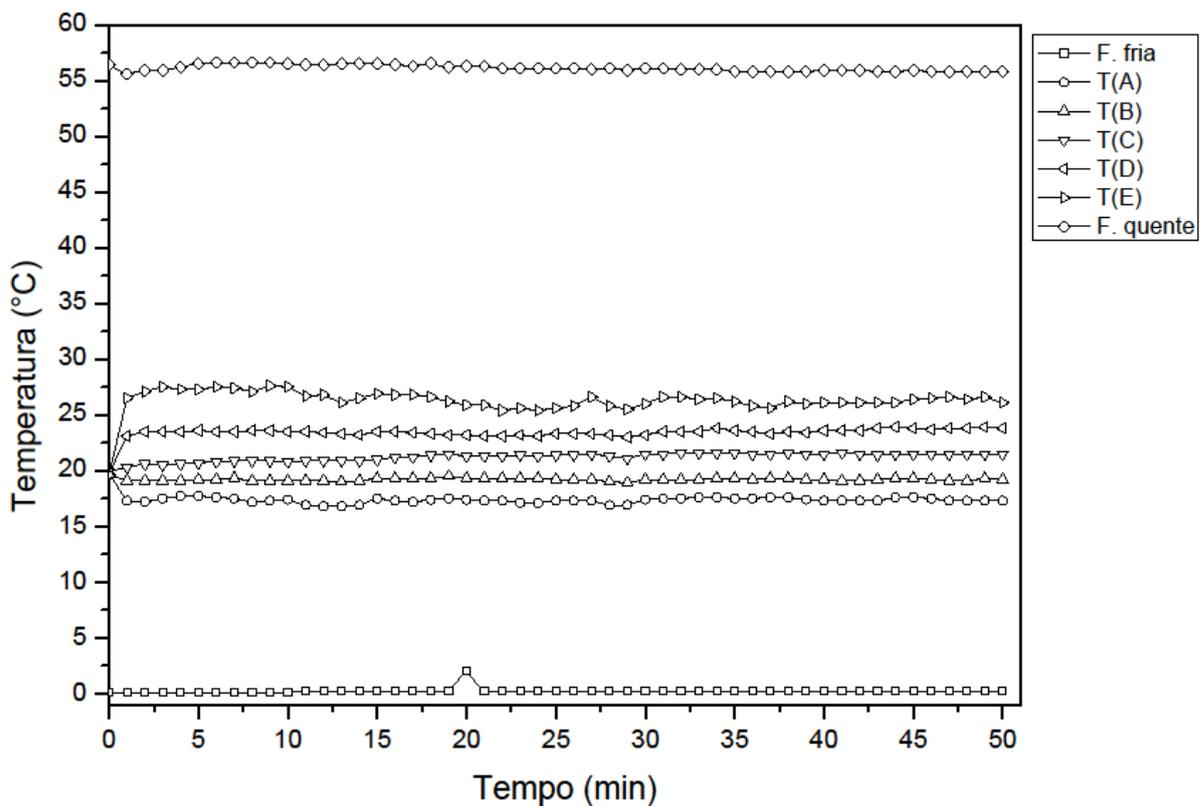
Tabela 17 – Dados extraídos pelos alunos do 2^o ano da escola de Aplicação da Universidade de Pernambuco - UPE Professora Ivonita Alves Guerra

Tempo (min)	T _F (°C)	T _A (°C)	T _B (°C)	T _C (°C)	T _D (°C)	T _E (°C)	T _Q (°C)
T ₀	0,1	19,8	19,7	19,9	19,7	19,6	56,4
1	0,1	17,3	19,1	20,3	23,1	26,5	55,6
2	0,1	17,2	19,1	20,6	23,5	27,1	55,9
3	0,1	17,5	19,1	20,5	23,5	27,5	55,9
4	0,1	17,7	19,1	20,6	23,5	27,3	56,2
5	0,1	17,7	19,2	20,7	23,6	27,3	56,5
6	0,1	17,6	19,2	20,8	23,5	27,5	56,6
7	0,1	17,5	19,3	20,9	23,5	27,4	56,6
8	0,1	17,2	19,1	20,9	23,6	27,1	56,6
9	0,1	17,3	19,1	20,9	23,6	27,6	56,6
10	0,1	17,4	19,1	20,8	23,5	27,5	56,5
11	0,2	16,9	19,1	20,9	23,5	26,7	56,4
12	0,2	16,8	19,1	20,9	23,4	26,8	56,4
13	0,2	16,8	19,0	20,9	23,3	26,1	56,5
14	0,2	16,9	19,1	20,9	23,2	26,5	56,5
15	0,2	17,5	19,3	21,0	23,5	26,9	56,5
16	0,2	17,3	19,3	21,2	23,5	26,8	56,4
17	0,2	17,2	19,3	21,2	23,4	26,8	56,3
18	0,2	17,4	19,3	21,4	23,3	26,6	56,5
19	0,2	17,5	19,5	21,5	23,2	26,2	56,2
20	0,2	17,4	19,3	21,3	23,2	25,9	56,3
21	0,2	17,3	19,3	21,3	23,1	25,9	56,3
22	0,2	17,3	19,3	21,3	23,1	25,4	56,1
23	0,2	17,1	19,3	21,4	23,2	25,6	56,1
24	0,2	17,1	19,3	21,3	23,1	25,4	56,1
25	0,2	17,3	19,2	21,4	23,3	25,6	56,1
26	0,2	17,3	19,2	21,4	23,3	25,8	56,1
27	0,2	17,3	19,2	21,5	23,3	26,6	56,0
28	0,2	16,9	19,0	21,3	23,2	25,8	56,1
29	0,2	16,9	18,9	21,1	23,0	25,5	55,9
30	0,2	17,4	19,2	21,5	23,2	26,0	56,1
31	0,2	17,5	19,2	21,5	23,5	26,6	56,1
32	0,2	17,5	19,2	21,6	23,5	26,6	56,0
33	0,2	17,6	19,2	21,6	23,5	26,4	56,0
34	0,2	17,6	19,3	21,6	23,8	26,5	56,0
35	0,2	17,5	19,3	21,6	23,6	26,2	55,8
36	0,2	17,5	19,2	21,5	23,5	25,8	55,8

37	0,2	17,6	19,3	21,5	23,3	25,6	55,8
38	0,2	17,6	19,3	21,6	23,5	26,2	55,8
39	0,2	17,4	19,2	21,5	23,4	26,0	55,8
40	0,2	17,3	19,2	21,5	23,6	26,1	55,9
41	0,2	17,3	19,1	21,6	23,6	26,1	55,9
42	0,2	17,3	19,1	21,5	23,6	26,1	55,9
43	0,2	17,3	19,2	21,4	23,8	26,1	55,8
44	0,2	17,6	19,3	21,5	23,9	26,1	55,8
45	0,2	17,6	19,3	21,5	23,8	26,4	55,9
46	0,2	17,5	19,2	21,5	23,7	26,5	55,8
47	0,2	17,3	19,1	21,5	23,8	26,6	55,8
48	0,2	17,3	19,1	21,5	23,8	26,4	55,8
49	0,2	17,3	19,3	21,5	23,9	26,6	55,8
50	0,2	17,3	19,2	21,5	23,8	26,1	55,8

Fonte: O Autor, 2018

Gráfico 15 - Comportamento da temperatura nos cinco pontos localizados no fio e na fonte fria e quente ao longo do tempo.



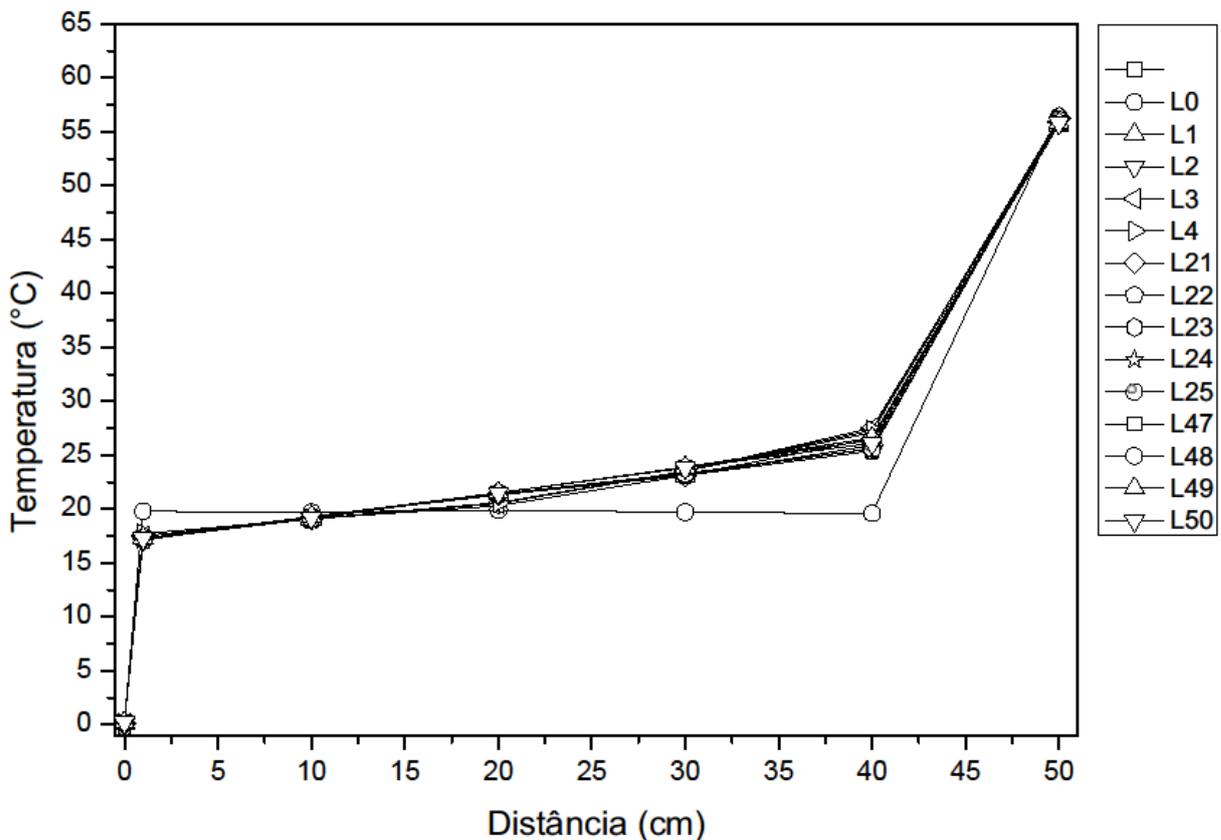
Fonte: O Autor, 2018

O gráfico 15 mostra o comportamento da temperatura em função do tempo durante um intervalo de 50 minutos de experimento aplicado na escola de aplicação. Nesse gráfico, temos a representação dos 7 termômetros digitais, cinco localizado em pontos distintos e equidistante ao longo dos 40,0 cm de fio de cobre.

O comportamento da temperatura da fonte quente, cujo termômetro digital foi denominado de T_Q durante os 50 minutos de experimento, mostrou uma redução muito pequena na temperatura, mostrando uma variação de $\Delta T = 55,8^{\circ}\text{C} - 56,4^{\circ}\text{C} = -0,6^{\circ}\text{C}$.

Neste experimento obtivemos uma variação de temperatura negativa, que é justificada pelo o fato de que, ao iniciarmos o experimento e logo após 15 minutos, houve uma pequena queda de energia elétrica, no entanto, quando retomamos o experimento já existia um fluxo de calor ao longo do fio, fazendo com que a variação da temperatura no final dos 50 minutos ficasse negativa mas não interferindo no resultado esperado.

Gráfico 16 - Temperatura ao longo do fio, desde a fonte fria ($x = 0$) até a fonte quente ($x = 50\text{cm}$).



Fonte: O Autor, 2018

O gráfico acima mostra o comportamento da temperatura em função do tempo durante um intervalo de 50 minutos. Neste gráfico, temos a representação dos 7 termômetros digitais, cinco localizado em pontos distintos e equidistante ao longo dos 40,0 cm de fio de cobre.

APÊNDICE B – Questionários

Escola de Referência Virgem do Socorro

Questionário Básico sobre Propagação do Calor

(Questões extraídas de alguns livros do ensino médio - opcional)

1. A condução térmica está associada ao transporte de _____ entre dois sistemas termodinâmicos devido a uma diferença de temperatura.
 - a) Matéria ()
 - b) Energia (X)
 - c) Temperatura ()
2. A transferência de calor ocorre somente entre regiões com temperaturas distintas.
 - a) Sim (X)
 - b) Não ()
3. Os metais em geral, são BONS condutores de calor.
 - a) Sim (X)
 - b) Não ()
4. O ar, a madeira, o isopor e a borracha são MAUS condutores de calor.
 - a) Sim (X)
 - b) Não ()
5. O fluxo de calor é dado por $\frac{Q}{\Delta t}$ onde Q é a quantidade de calor que atravessa uma dada área em um intervalo de tempo Δt e sua unidade é joule por segundo.
 - a) Sim (X)
 - b) Não ()
6. O matemático e físico francês Jean Baptiste Joseph Fourier (1768 – 1830) estabeleceu uma relação para o estudo da propagação do calor por condução. O fluxo de calor em regime estacionário, ao longo de uma barra homogênea de

comprimento L, em que a propagação do calor é constante é dado pela expressão

$$\frac{KA\Delta T}{L}$$

- a) Sim (**X**)
 - b) Não ()
7. Joseph Fourier foi o precursor no estudo de transmissão de calor por:
- a) Convecção ()
 - b) Radiação ()
 - c) Condução (**X**)
8. Qualquer corpo, mesmo a uma temperatura normal, emitem ondas infravermelhas.
- a) Sim (**X**)
 - b) Não ()
9. O calor se propaga mais rápido no COBRE do que no AÇO, por conta da condutibilidade térmica de cada material.
- a) Sim (**X**)
 - b) Não ()
10. Calor sensível e calor latente possui o mesmo significado.
- a) Sim ()
 - b) Não (**X**)
11. Na transferência de calor entre três corpos em contato, é impossível ocorrer o equilíbrio térmico.
- a) Sim ()
 - b) Não (**X**)
12. A lei de Fourier se aplica na transmissão de energia térmica por Convecção e Radiação.
- a) Sim ()
 - b) Não (**X**)

13. Considere dois reservatórios térmicos, um frio e outro quente interligados por uma barra de cobre isolada. Espontaneamente, o sentido do fluxo de calor propagado ao longo barra é:
- a) Do frio para o quente ()
 - b) Do quente para o frio (X)
 - c) Em todas as direções ()
14. Para medir a temperatura de um corpo, podemos usar uma Escala Fahrenheit.
- a) Sim ()
 - b) Não (X)
15. O gráfico da lei de Fourier é uma:
- a) Reta (X)
 - b) Parábola ()
 - c) Isoterma ()
16. Qualquer processo que, tendem a ocorrer em penas um sentido é Reversível.
- a) Sim ()
 - b) Não (X)
17. O ciclo de Carnot é formado por isotérmicas e adiabáticas.
- a) Sim (X)
 - b) Não ()
18. Elabore uma definição para o termo TEMPERTAURA.
É uma grandeza que mede o quanto quente ou frio está um corpo.
-
19. O que é calor?
É a energia transmitida de um corpo para outro, provocada por uma diferença de temperatura.
-
20. Quais são os mecanismo de propagação do calor?
Condução, Convecção e Radiação.
-

Escola de Aplicação da Universidade de Pernambuco – UPE
Professora Ivonita Alves Guerra

Questionário Básico sobre Propagação do Calor

(Questões extraídas de alguns livros do ensino médio - opcional)

1. A condução térmica está associada ao transporte de _____ entre dois sistemas termodinâmicos devido a uma diferença de temperatura.
d) Matéria ()
e) Energia (**X**)
f) Temperatura ()

2. A transferência de calor ocorre somente entre regiões com temperaturas distintas.
c) Sim (**X**)
d) Não ()
e) Depende de outros fatores ()

3. Os metais em geral, são BONS condutores de calor.
c) Sim (**X**)
d) Não ()
e) Apenas quando estão em contato ()

4. O ar, a madeira, o isopor e a borracha são MAUS condutores de calor.
c) Sim (**X**)
d) Não ()
e) Sim, menos o AR ()

5. O fluxo de calor é dado por $\frac{Q}{\Delta t}$ onde Q é a quantidade de calor que atravessa uma dada área em um intervalo de tempo Δt e sua unidade é o Joule por segundo.
c) Sim (**X**)
d) Não ()

6. O matemático e físico francês Jean Baptiste Joseph Fourier (1768 – 1830)

estabeleceu uma relação para o estudo da propagação do calor por condução. O fluxo de calor em regime estacionário, ao longo de uma barra homogênea de comprimento L , em que a propagação do calor é constante é dado pela expressão

$$\frac{KA\Delta T}{L}$$

- c) Sim (**X**)
 - d) Não ()
7. Joseph Fourier foi o precursor no estudo de transmissão de calor por:
- d) Convecção ()
 - e) Radiação ()
 - f) Condução (**X**)
8. Qualquer corpo, mesmo a uma temperatura normal, emitem ondas infravermelhas.
- c) Sim (**X**)
 - d) Não ()
9. O calor se propaga mais rápido no COBRE do que no AÇO, por conta da condutibilidade térmica de cada material.
- c) Sim (**X**)
 - d) Não ()
10. Calor sensível e calor latente possui o mesmo significado.
- c) Sim ()
 - d) Não (**X**)
11. Na transferência de calor entre três corpos em contato, é impossível ocorrer o equilíbrio térmico.
- c) Sim ()
 - d) Não (**X**)
12. A lei de Fourier se aplica na transmissão de energia térmica por convecção e radiação.
- c) Sim ()
 - d) Não (**X**)

13. A sensação de quente e frio que sentimos está relacionada com a rapidez com que recebemos ou cedemos calor.
- a) Sim (**X**)
 - b) Não ()
14. As aulas experimentais em laboratórios ajudam a compreender um determinado conceito físico de forma significativa?
- a) Sim ()
 - b) Não ()
15. Considere dois reservatórios térmicos, um frio e outro quente interligados por uma barra de cobre isolada. Espontaneamente, o sentido do fluxo de calor propagado ao longo barra é:
- d) Do frio para o quente ()
 - e) Do quente para o frio (**X**)
 - f) Em todas as direções ()
16. Para medir a temperatura de um corpo, podemos usar a Escala Fahrenheit.
- c) Sim (x)
 - d) Não ()
17. O cobertor e o edredom não são aquecedores, são isolantes térmicos, que não deixam o calor liberado por seu corpo sair para o meio externo.
- a) Sim (**X**)
 - b) Não ()
18. Os gases são os piores condutores de calor. Isso é as partículas estão bem afastadas dificultando a passagem da vibração térmica de uma para outra.
- a) Sim (**X**)
 - b) Não ()
19. O gráfico da lei de Fourier é uma:

- d) Reta (**X**)
- e) Parábola ()
- f) Isoterma ()

20. Qualquer processo que tende a ocorrer em apenas um sentido é reversível.

- c) Sim ()
- d) Não (**X**)
- e) Não existe ()

21. O ciclo de Carnot é formado por isotérmicas e adiabáticas.

- c) Sim (**X**)
- d) Não ()

22. Elabore uma definição para o termo TEMPERATURA.

É uma grandeza que mede o quanto quente ou frio está um corpo.

23. Defina o conceito de calor

É a energia transmitida de um corpo para outro, provocada por uma diferença de temperatura.

24. Quais são os mecanismos de transferência de calor?

Condução, Convecção e Radiação

APÊNDICE C – Produto Educacional



PRODUTO EDUCACIONAL

Aprendizagem motivada através de aulas experimentais: uma proposta ao ensino de física utilizando a propagação do calor por condução em um fio de cobre linear

JOSÉ CÍCERO DIAS DA SILVA

Orientador:

Prof. Dr. Gustavo Camelo Neto

Caruaru-PE, Brasil 2018.

LISTA DE FIGURAS E TABELAS

Figura 01	08
Figura 02	08
Figura 03	09
Figura 04	09
Figura 05	10
Figura 06	10
Figura 07	11
Figura 08	12
Figura 09	12
Figura 10	13
Figura 11	13
Figura 12	14
Figura 13	15
Figura 14	15
Figura 15	16
Figura 16	16
Figura 17	17
Figura 18	17
TABELA 01	07

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	3
2. OBJETIVOS	4
2.1 GERAL	4
2.2 ESPECÍFICOS	4
3. PRODUTO EDUCACIONAL	5
3.1 MATERIAL UTILIZADO	5
3.2 MONTAGEM	6
APÊNDICE A	15

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho faz parte da dissertação de mestrado “**Aprendizagem motivada através de aulas experimentais**: uma proposta ao ensino de física utilizando a propagação do calor por condução em um fio de cobre linear” de autoria de José Cícero Dias da Silva sob a orientação do prof. Dr. Gustavo Camelo Neto e constitui um produto que foi elaborado com o intuito de propor um experimento para auxiliar professores do nível médio no ensino de Física, especificamente na abordagem de conceitos relativos à termodinâmica em que diz respeito à condução de calor.

As aulas práticas realizadas em laboratórios possuem um papel fundamental no aprendizado de determinado conteúdo, fazendo com que haja uma compreensão do assunto por meio de uma metodologia que utiliza situações cotidianas, das quais permitem uma relação mais próxima entre a teoria e a prática. Diante da ideia das aulas experimentais, percebemos a relevância em apresentar certo conceito através de abordagens que partam de situações-problema e que possam incentivar os estudantes a elaborarem hipóteses/resoluções para esse determinado problema, assim relacionando o que os alunos teorizaram com os conceitos apresentados pelo professor. Há uma tendência em que o estudante consiga compreender o conceito e como este pode ser aplicado em situações práticas.

Acreditando em um aprendizado mais eficaz, boa parte da quantidade das aulas de física previstas deveriam ser apresentadas por meio de algum experimento. Entretanto, para poder realizar essas atividades, necessita-se de materiais que possam garantir o cumprimento dessas. Por esse fato e com o intuito de construir instrumentos acessíveis para serem utilizados nas escolas, foi construído um aparato para a realização do experimento deste trabalho.

2. OBJETIVOS

Este projeto tem como objetivo oferecer aos professores do nível médio uma opção de incremento na abordagem das aulas de Física, com base em aulas experimentais, com a finalidade de interligar os conceitos teóricos com suas respectivas aplicações.

2.1 Objetivo geral

Desenvolver uma prática, que conduza à verificação de conceitos, por meio de experimentos, e assim introduzir os conteúdos envolvidos para os estudantes, evidenciando a relação entre a teoria e suas aplicações.

2.2 Objetivos específicos

- Montar um aparato que permita realizar um experimento a fim de mostrar temas referentes à condução de calor;
- Envolver os estudantes na realização do experimento, como na coleta e análise dos dados da experiência;
- Extrair as argumentações elaboradas pelos estudantes e inclui-las na explanação do conteúdo, com a mediação do professor;
- Elaborar e aplicar situações-problema para fixação dos conceitos, na qual envolvam os temas abordados;
- Observar como o estudante relaciona os conceitos abordados na resolução dos problemas e a partir disso identificar possíveis dificuldades a fim de saná-las.

3. PRODUTO EDUCACIONAL

3.1 Material Utilizado

Para montarmos o *aparato*, que será utilizado nas aulas experimentais com os estudantes do ensino médio, necessitamos comprar alguns materiais de baixo custo e de fácil manuseio. Esses materiais são encontrados em locais distintos e estão relacionados na tabela 01.

Na compra de cada objeto a ser utilizado na montagem, mostramos o seu respectivo valor em real (R\$) e em dólar (\$) que no dia 01 de agosto de 2018 estava cotado à 1US\$ = 3,74 reais. Dividindo cada valor em real pelo valor do dólar e considerando duas casas decimais após a vírgula, obtemos o valor para adquirir os materiais necessários.

Tabela 01 – Materiais necessários para a montagem do aparato

Material Utilizado	Quantidade	Valor R\$	Valor US\$
Placa de isopor de construção	01	7,00	1,87
Recipiente de plástico 500ml	04	16,00	4,27
Mergulhão (aquecedor de água)	01	20,00	5,34
Cronômetro (pode ser o celular)	01	-	-
Fio de cobre 10mm	50 cm	3,50	0,93
Fio de cobre 2,5mm	30 cm	2,00	0,53
Resistencia para chuveiro	01	8,00	2,13
Termômetro culinário	07	105,00	28,07
Adapatador de Alimentação para Notebook com conectores	01	45,0	12,03
Total	-	206,5	55,21

3.2 Montagem do Experimento

Para montagem do aparato, seguiremos a sequência de passos mostrada através das figuras que seguem.

➤ **Passo 1**

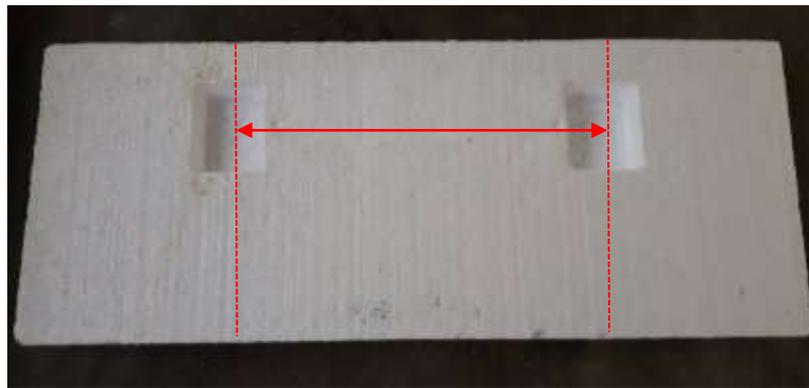


Figura 1

Na figura 1, temos uma placa de isopor onde foram abertas duas cavidades, nas quais serão encaixados dois recipientes de plástico que servirão de fonte quente e fonte fria. A distância entre os centros dessas cavidades é exatamente 50,0cm e suas dimensões devem ser compatíveis com as dimensões dos recipientes

➤ **Passo 2**

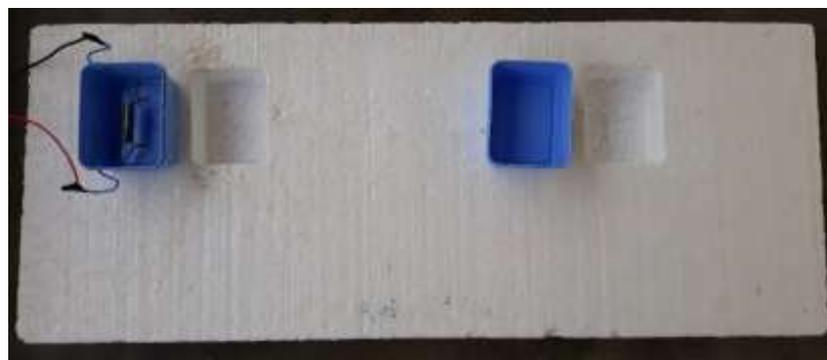


Figura 2

Na figura 2, temos dois recipientes plásticos que serão encaixados exatamente na base de isopor. No recipiente da esquerda já se encontra a resistência

de chuveiro ligada a um circuito simples, descrito mais adiante que representará a fonte quente.

➤ **Passo 3**



Figura 3

Na figura 3, encaixamos cada recipiente em seu respectivo local.

➤ **Passo 4**



Figura 4

Na figura 4, mostramos os sete termômetros digitais.

➤ **Passo 5**



Figura 5

Na figura 5, mostramos um terceiro recipiente que colocamos blocos de gelo e em seguida inserimos os 7 termômetros para calibração. A calibração dos termômetros garante que as temperaturas medidas serão as mesmas. Como são termômetros de baixo custo, há pequenas diferenças entre eles. Os termômetros já identificados são colocados num recipiente com gelo, após atingido o equilíbrio suas leituras são anotadas, servindo como “zero”. Embora as diferenças sejam pequenas e não influenciem no objetivo, é interessante mostrar aos estudantes alguns cuidados experimentais que não são encontrados nos livros didáticos.

➤ **Passo 6**



Figura 6

Na figura 6 mostramos o fio de cobre de 50,0 cm. O fio deve ser desencapado 5,0 cm em cada extremidade, mantendo-se o encapamento original, porém acrescentamos algumas camadas de fita isolante, podendo isolar com térmica se for acessível. As extremidades serão introduzidas nas fontes quente e fria. Recomenda-se que os fios das extremidades sejam desenrolados quando colocados em contato com a água quente e com o gelo, para aumentar a superfície de contato e melhorar a passagem do calor.

➤ **Passo 7**



Figura 7

Na figura 7 temos os dois reservatórios, o da esquerda representa a fonte quente e o da direita a fonte fria. Foram feitas duas incisões nos recipientes para encaixar o fio sem atrapalhar a colocação das tampas. Além disso, duas outras incisões foram feitas no recipiente da fonte quente para passagem dos fios que alimentam a resistência.

➤ **Passo 8**



Figura 8

Na Figura 8, mostramos o aparato com seus respectivos reservatórios com tampa para diminuir a troca de energia térmica para o ambiente. A fonte quente mostra na tampa dois furos circulares de 2,5 cm de diâmetro para saída de calor. Na tampa do reservatório frio fizemos um furo circular muito pequeno para inserir um termômetro.

➤ **Passo 9**

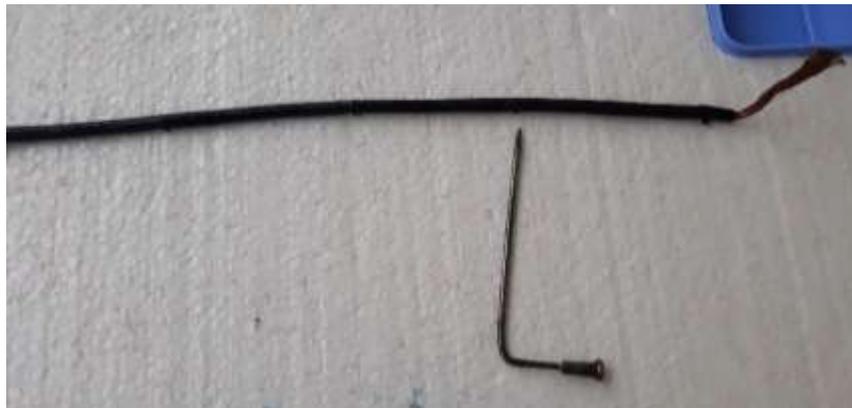


Figura 9

Na figura 9 temos um objeto pontiagudo, tipo prego, que utilizamos para perfurar o fio de cobre, até seu centro. São cinco perfurações equidistantes com uma central, como veremos na figura 10. Pode-se utilizar uma furadeira elétrica, mas, deve-se tomar cuidado para não ultrapassar a medida do raio do fio.

➤ **Passo 10**



Figura 10

Na figura 10, observamos o aparato montado, os reservatórios com suas tampas e os sete termômetros, um em cada fonte e cinco fixado nas cinco perfurações do fio. A distância entre cada termômetro no fio é de 10,0 cm, os quais mediram as temperaturas T_F , T_A , T_B , T_C , T_D , T_E , e T_Q da direita para esquerda, ou seja, da fonte fria para fonte quente. A ordem dos termômetros é opcional. Os termômetros são encaixados no orifícios do fio e apoiados na base de isopor com seus visores para cima.

➤ **Passo 11**



Figura 11

Na figura 11 temos um alimentador de notebook com tensão variável de 12V a 24V que fornece energia para a fonte quente de forma constante para manter uma temperatura em torno dos 60°C utilizamos 12V.

➤ **Passo 12**



Figura 12

Na figura 12 mostramos o circuito de alimentação da resistência. Pode-se adquirir um conector compatível com o conector da fonte, para não cortar os fios. Esse circuito é formado por dois pedaços de fio de cobre, ligados na fonte e diretamente nos terminais da resistência de chuveiro. Opcionalmente, se disponível, pode ser inserido um amperímetro, para medir a corrente no circuito.

➤ **Passo 13**



Figura 13

Na figura 13, temos um quarto recipiente de plástico onde está inserido o “mergulhão” para aquecer a água que será colocada na fonte quente e iniciar o experimento com uma temperatura próxima dos 60°C a qual será mantida manter durante o tempo do experimento.

➤ **Passo 14**



Figura 14

Na figura 14 mostramos uma resistência de chuveiro utilizada para aquecer a água que fica inserida na parte inferior do reservatório quente.

➤ **Passo 15**

Após concluir a montagem do aparato, este foi aplicado em sala de aula para a realização do experimento. Abaixo mostramos a aplicação do experimento para os estudantes e a coleta dos dados realizada por eles.



Figura 15



Figura 16



Figura 17



Figura 18

Apêndice A

Abaixo contém um modelo de avaliação diagnóstica sobre o experimento aplicado, lembrado que este teste é apenas uma opção de avaliação após a experiência realizada com os estudantes, podendo o professor ficar livre para escolher outras questões.

Questionário Básico sobre Propagação do Calor

(Questões extraídas de alguns livros do ensino médio - opcional)

21. A condução térmica está associada ao transporte de _____ entre dois sistemas termodinâmicos devido a uma diferença de temperatura.
- g) Matéria ()
 - h) Energia (**X**)
 - i) Temperatura ()
22. A transferência de calor ocorre somente entre regiões com temperaturas distintas.
- f) Sim (**X**)
 - g) Não ()
 - h) Depende de outros fatores ()
23. Os metais em geral, são BONS condutores de calor.
- f) Sim (**X**)
 - g) Não ()
 - h) Apenas quando estão em contato ()
24. O ar, a madeira, o isopor e a borracha são MAUS condutores de calor.
- f) Sim (**X**)
 - g) Não ()
 - h) Sim, menos o AR ()
25. O fluxo de calor é dado por $\frac{Q}{\Delta t}$ onde Q é a quantidade de calor que atravessa uma dada área em um intervalo de tempo Δt e sua unidade no “Sistema Internacional de Unidades” (SI) é o Joule por segundo.

- e) Sim (**X**)
- f) Não ()

26. O matemático e físico francês Jean Baptiste Joseph Fourier (1768 – 1830) estabeleceu uma relação para o estudo da propagação do calor por condução. O fluxo de calor em regime estacionário, ao longo de uma barra homogênea de comprimento L, em que a propagação do calor é constante é dado pela expressão

$$\frac{KA\Delta T}{L}.$$

- e) Sim (**X**)
- f) Não ()

27. Joseph Fourier foi o precursor no estudo de transmissão de calor por:

- g) Convecção ()
- h) Radiação ()
- i) Condução (**X**)

28. Qualquer corpo, mesmo a uma temperatura normal, emitem ondas infravermelhas.

- e) Sim (**X**)
- f) Não ()

29. O calor se propaga mais rápido no COBRE do que no AÇO, por conta da condutibilidade térmica de cada material.

- e) Sim (**X**)
- f) Não ()

30. Calor sensível e calor latente possui o mesmo significado.

- e) Sim ()
- f) Não (**X**)

31. Na transferência de calor entre três corpos em contato, é impossível ocorrer o equilíbrio térmico.

- e) Sim ()
- f) Não (**X**)

32. A lei de Fourier se aplica na transmissão de energia térmica por convecção e radiação.

e) Sim ()

f) Não (X)

33. A sensação de quente e frio que sentimos está relacionada com a rapidez com que recebemos ou cedemos calor.

c) Sim (X)

d) Não ()

34. As aulas experimentais em laboratórios ajudam a compreender um determinado conceito físico de forma significativa?

c) Sim ()

d) Não ()

35. Considere dois reservatórios térmicos, um frio e outro quente interligados por uma barra de cobre isolada. Espontaneamente, o sentido do fluxo de calor propagado ao longo barra é:

g) Do frio para o quente ()

h) Do quente para o frio (X)

i) Em todas as direções ()

36. Para medir a temperatura de um corpo, podemos usar a Escala Fahrenheit.

e) Sim (X)

f) Não ()

37. O cobertor e o edredom não são aquecedores, são isolantes térmicos, que não deixam o calor liberado por seu corpo sair para o meio externo.

c) Sim (X)

d) Não ()

38. Os gases são os piores condutores de calor. Isso é, as partículas estão bem

afastadas dificultando a passagem da vibração térmica de uma para outra.

c) Sim (**X**)

d) Não ()

39. O gráfico da lei de Fourier é uma:

g) Reta (**X**)

h) Parábola ()

i) Isoterma ()

40. Qualquer processo que tende a ocorrer em apenas um sentido é reversível.

f) Sim ()

g) Não (**X**)

h) Não existe ()

41. O ciclo de Carnot é formado por isotérmicas e adiabáticas.

e) Sim (**X**)

f) Não ()

42. Elabore uma definição para o termo TEMPERATURA.

É uma grandeza que mede o quanto quente ou frio está um corpo.

43. Defina o conceito de calor

É a energia transmitida de um corpo para outro, provocada por uma diferença de temperatura.

44. Quais são os mecanismos de transferência de calor?

Condução, Convecção e Radiação.