

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física

MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física
Polo **ufsc-ar** Sorocaba



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA A SUSTENTABILIDADE

DEPARTAMENTO DE FÍSICA, QUÍMICA E MATEMÁTICA

EXPERIMENTOS COM O ARDUINO NO ENSINO DE FÍSICA: ESTUDANDO CONCEITOS CIENTÍFICOS DA TERMOLOGIA

JEFFERSON BUONAFINA PINHEIRO JUNIOR

Orientador: Professor Dr. Antonio Augusto Soares

SOROCABA-SP
JANEIRO DE 2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA A SUSTENTABILIDADE

DEPARTAMENTO DE FÍSICA, QUÍMICA E MATEMÁTICA

**Experimentos com o Arduino no ensino de Física: estudando
conceitos científicos da Termologia**

Jefferson Buonafina Pinheiro Junior

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Mestrado Profissional em Ensino de Física (PROFIS-So) da Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba, no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Área de concentração: Física na Educação Básica

Orientador: Prof. Dr. Antonio Augusto Soares

SOROCABA-SP
JANEIRO DE 2022



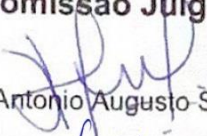
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

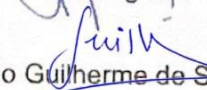
Centro de Ciências e Tecnologias Para a Sustentabilidade
Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

Folha de Aprovação

Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Jefferson Buonafina Pinheiro Junior, realizada em 17/01/2022.

Comissão Julgadora:


Prof. Dr. Antonio Augusto Soares (UFSCar)


Prof. Dr. Tersio Guilherme de Souza Cruz (UFSCar)


Profa. Dra. Silvânia Alves de Carvalho (UFF)

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física.

Buonafina Pinheiro Junior, Jefferson

Experimentos com o Arduino no ensino de física: estudando conceitos científicos da Termologia / Jefferson

Buonafina Pinheiro Junior -- 2022.

87f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba

Orientador (a): Antonio Augusto Soares

Banca Examinadora: Tersio Guilherme de Souza Cruz, Silvânia Alves de Carvalho

Bibliografia

1. Tecnologias da Informação e Comunicação. 2. Arduino. 3. Termologia . I. Buonafina Pinheiro Junior, Jefferson.

II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Aparecida de Lourdes Mariano - CRB/8 6979

DEDICATÓRIA

Dedico esta obra a Deus, que sempre me acompanha em todos os momentos da minha vida, e à minha esposa e filho, Bruna e Enrico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, Professor Dr. Antonio Augusto Soares, que possibilitou a elaboração deste projeto compartilhando suas experiências e conhecimentos na área de Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) aplicadas ao ensino de Física.

Também registro minha gratidão à coordenadora pedagógica do Colégio Adventista de Paulínia, Solange Crivilin Alves, pelo apoio durante o processo de aplicação do produto educacional nas turmas do segundo ano do ensino médio, possibilitando o término deste trabalho. Não posso deixar de agradecer ao técnico em eletrônica Jailson Damião Feliciano por disponibilizar seu laboratório para a montagem de alguns componentes eletrônicos dos experimentos do produto educacional, além de compartilhar sua sabedoria no campo da Eletrônica. Finalizando, agradeço aos meus estudantes pelo envolvimento em cada uma das atividades experimentais propostas.

RESUMO

EXPERIMENTOS COM O ARDUINO NO ENSINO DE FÍSICA: ESTUDANDO CONCEITOS CIENTÍFICOS DA TERMOLOGIA

JEFFERSON BUONAFINA PINHEIRO JUNIOR

Orientador:

Professor Dr. Antônio Augusto Soares

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação de Mestrado Profissional em Ensino de Física (PROFIS-So) da Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba, no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Motivados pela aplicação das Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) no ensino de Física, desenvolvemos os roteiros de três atividades experimentais de Termologia utilizando ferramentas tecnológicas para serem aplicadas junto a estudantes do ensino médio. Os experimentos propostos, cuja aquisição de dados é automatizada através da aplicação de sensores térmicos e de uma placa Arduino assistida pelo computador, têm como finalidade comparar a condução de calor por metais distintos, mostrar tanto qualitativamente quanto quantitativamente a diferença entre as temperaturas da água e da areia quando estes materiais são aquecidos ou resfriados simultaneamente pela mesma fonte de calor e determinar a propriedade térmica do calor específico. Espera-se que os discentes reconheçam que diferentes materiais apresentam diferenças de condutibilidade térmica e compreendam a importância do calor específico da água e da areia na formação das brisas marítimas. As atividades experimentais do nosso trabalho, que estabelecem uma relação entre os conceitos científicos discutidos na sala de aula e fenômenos observáveis na natureza, têm potencial para aumentar o envolvimento dos discentes em qualidade e quantidade, promovendo mudanças em suas crenças sobre a Física.

Palavras-chave: Tecnologias da Informação e Comunicação. Ensino de Física. Arduino. Termologia.

ABSTRACT

**EXPERIMENTS WITH THE ARDUINO IN PHYSICS TEACHING:
STUDYING SCIENTIFIC CONCEPTS OF THERMOLOGY**

JEFFERSON BUONAFINA PINHEIRO JUNIOR

Advisor:

Professor Dr. Antonio Augusto Soares

Master's Dissertation submitted to the Post-Graduate Program of the Professional Master's Degree in Physics Teaching of the Federal University of São Carlos, Sorocaba campus, at the National Professional Master's Degree in Physics Teaching, as part of the requirements for obtaining a Master's Degree in Physics Teaching.

Motivated by the application of Information and Communication Technologies (ICT) in the teaching of Physics, we developed the scripts for three experimental activities in Thermology using technological tools to be applied to high school students. The proposed experiments, whose data acquisition is automated through the application of thermal sensors and a computer-assisted Arduino board, can compare the heat conduction of different metals, show both qualitatively and quantitatively the difference between water and sand specifications when these materials are heated or cooled simultaneously by the same heat source and determine a thermal property of the specific heat. It is expected that students recognize that different materials have differences in thermal conductivity and understand the importance of the specific heat of water and sand in the formation of sea breezes. The experimental activities of our work, which establish a relationship between the scientific concepts discussed in the classroom and observable phenomena in nature, have the potential to increase the involvement of students in quality and quantity, promoting changes in their beliefs about Physics.

Keywords: Information and Communication Technologies. Physics teaching. Arduino. Thermology.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO	11
CAPÍTULO 2: TÓPICOS DE EXPERIMENTAÇÃO	14
2.1 Introdução ao pensamento de Vygotsky	14
2.2 Atividades experimentais no ensino de Física.....	16
2.3 A experimentação pela perspectiva de Vygotsky.....	18
CAPÍTULO 3: TÓPICOS DE TERMOLOGIA.....	25
3.1 Temperatura	25
3.2 Calor.....	26
3.3 Capacidade térmica.....	27
3.4 Calor específico.....	28
3.5 Princípio da Conservação de Energia.....	31
3.6 Processos de transferência de calor.....	31
3.6.1 Irradiação	32
3.6.2 Condução	32
3.6.3 Convecção	34
3.7 Equilíbrio térmico	34
CAPÍTULO 4: OS EXPERIMENTOS.....	36
4.1 Experimento A: condução térmica	37
4.2 Experimento B: curva de aquecimento da água e da areia	38
4.3 Experimento C: calor específico.....	39
4.4 Ferramenta de software do Arduino	41
CAPÍTULO 5: RESULTADOS DOS EXPERIMENTOS E DE SUAS APLICAÇÕES.....	42
5.1 Resultados do experimento A: condução térmica	42
5.1.1 Resultados da aplicação do experimento A: condução térmica.....	43

	10
5.2 Resultados do experimento B: curva de aquecimento da água e da areia	45
5.2.1 Resultados da aplicação do experimento B: curva de aquecimento da água e da areia.....	46
5.3 Resultados do experimento C: calor específico.....	48
5.3.1 Resultados da aplicação do experimento C: calor específico.....	52
CONCLUSÕES	54
REFERÊNCIAS.....	55
APÊNDICE A: TRABALHOS PRODUZIDOS.....	57
APÊNDICE B: PRODUTO EDUCACIONAL.....	58

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

A construção do conhecimento dos estudantes relacionado à Física requer a superação da dificuldade do aprendizado que é originada, entre outros fatores, pela grande abstração requerida pelos conceitos científicos da disciplina. Sobre isso, destaca-se a reflexão:

Quando nos dedicamos à melhoria do ensino de Física, estamos grandemente sensibilizados pelos problemas que, em geral, atingem o ensino de forma global. No entanto, em relação à Física, temos características especiais quanto às dificuldades de compreensão e fixação de conceitos que muitas vezes exigem, nesses processos, grande abstração, interpretação e reflexão para serem aprendidos pelo aluno. (BATISTA, 2004, p. 462)

Outro fator que é um entrave do processo de aprendizado dos discentes sobre as ciências da natureza é o paradigma prevalecente de que o sucesso do aprendizado em Física depende dos conhecimentos em matemática:

No ensino da Física, a linguagem matemática é muitas vezes considerada como a grande responsável pelo fracasso escolar. É comum professores alegarem que seus alunos não entendem Física devido à fragilidade de seus conhecimentos matemáticos. Para muitos, uma boa base matemática nos anos que antecedem o ensino de Física é garantia de sucesso no aprendizado. (PIETROCOLA, 2002, p. 90)

Não se pode questionar a importância das ferramentas matemáticas que promovem a consistência lógica e operacionalização das teorias da Física. Entretanto, a reflexão sobre o conhecimento físico nunca deve ser menor do que o apelo matemático apresentado na sala de aula.

Além desses problemas associados ao ensino da Física, constata-se que as aulas demasiadamente tradicionais, nas quais o professor apenas transmite seu conhecimento e com pouco espaço para discussão de ideias, também representam uma barreira ao aprendizado dos discentes sobre as ciências naturais. Segundo Pereira e Moreira (2017), no modelo tradicional de ensino trata-se o conhecimento como um conjunto de informações a serem transmitidas aos alunos, de modo que não resulta, após passarem pelo processo, em aprendizagem significativa. Aliás, o papel dos alunos consiste em serem ouvintes e memorizadores do discurso do professor, mesmo que por um curto período de tempo, e esquecê-lo após as avaliações.

Para superar essas e outras dificuldades que incidem diretamente sobre a construção do conhecimento científico, as Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC), presentes no cotidiano de grande número de estudantes, apresentam importantes ferramentas que podem ser aplicadas ao ensino de Física com vistas a potencializar o aprendizado dos discentes. É em meio a esse contexto que os experimentos podem ser inseridos de diferentes modos, propiciando ao aprendiz a oportunidade de dialogar a respeito dos conceitos físicos estudados. Contudo, se o recurso experimental, ou qualquer recurso de ensino, não for planejado e executado de forma a oportunizar uma inter-relação entre professor

e aprendiz e dos aprendizes com eles próprios, é muito provável que a aprendizagem pretendida será frustrada.

A Base Nacional Comum Curricular (2018) aponta que a compreensão, utilização e criação pertinentes às TIC precisam acontecer de modo crítico e significativo possibilitando ao indivíduo solucionar problemas e desenvolver o conhecimento. De modo evidente, o referido documento recomenda que se deve estimular os alunos a desenvolverem a capacidade de investigar aparelhos eletrônicos e de automação de tal maneira que compreendam as tecnologias contemporâneas e suas implicações no cotidiano.

De acordo com Smith e seus colaboradores (2020), o ensino de Física apoiado pela experimentação tem potencial para aumentar o envolvimento dos discentes em qualidade e quantidade, promovendo mudanças em suas crenças sobre essa disciplina. Além disso, algumas atividades que utilizam as TIC podem proporcionar abordagens interdisciplinares. Por exemplo, Anderson e seus colaboradores (2021) mostram a possibilidade de realizar a simulação e a intensificação do efeito estufa utilizando sensores de pressão e temperatura, ambos ligados ao Arduino e este ao computador. Além disso, o trabalho desses autores promove o estudo da influência das mudanças nas coberturas da Terra na temperatura média do ambiente. Os resultados do experimento, sob o ponto de vista didático, apresentam potencial para substanciar o estudo de diversos fenômenos naturais.

Outra aplicação é o trabalho de Buksman e de seus colaboradores (2019), sobre o estudo do transporte de calor em uma barra de alumínio utilizando sensores de temperatura LM35 conectados ao Arduino, que encontra-se ligado ao computador. Nesse experimento, a constante de convecção de calor entre o alumínio e o ar foi determinada para o caso particular da geometria da barra utilizada.

Ainda dentro das atividades experimentais inspiradas nas TIC, podemos mencionar o trabalho desenvolvido por Carvalho e Amorim (2014), relacionado a uma montagem experimental simples para o estudo da maré atmosférica utilizando uma placa Arduino com sensores de pressão barométrica e temperatura. Segundo os autores do trabalho, o professor poderá apresentar para seus alunos as oscilações barométricas, um efeito fundamentalmente de origem térmica, devido ao aquecimento da atmosfera produzido pela radiação solar. Além disso, o docente pode apresentar aos estudantes uma comparação entre a maré atmosférica e o efeito gravitacional da maré oceânica, destacando as diferenças entre os dois fenômenos.

No contexto dos assuntos da Física, Terrazzan (1992) defende que a compreensão de diversos fenômenos físicos relacionados ao nosso cotidiano, bem como produtos tecnológicos resultantes deles, somente ocorre quando os conceitos físicos pertinentes à Física Moderna e Contemporânea (FMC) são investigados. O referido autor ainda enfatiza a necessidade de inserirmos, de modo adequado e completo,

temas relacionados à FMC no ensino médio uma vez que esse conhecimento é relevante para o entendimento do mundo tecnológico.

Dentre as aplicações das TIC para o ensino de Física, destaca-se a realização de experimentos outrora não factíveis devido à falta de equipamento de relativo baixo custo. Esses experimentos podem ser criativos e baratos, dando às aulas de Física um caráter inovador. Motivados pela aplicação de atividades experimentais assistidas pelas TIC no ambiente de ensino, desenvolvemos uma sequência de três experimentos a partir de elementos do cotidiano dos estudantes. Nosso produto educacional apresenta propostas tecnológicas que foram inspiradas na releitura de alguns experimentos do caderno do professor de Física do Estado de São Paulo, volume 1, do 2º ano do ensino médio.

De maneira objetiva, selecionamos três experimentos de Termologia do referido material e efetuamos a substituição das ferramentas de natureza analógica por outras de cunho tecnológico/digital. Dentre as modificações implementadas, pode-se destacar a troca dos termômetros utilizados nas propostas originais pelos sensores térmicos associados a uma placa Arduino, permitindo a aquisição de dados de temperatura de forma automatizada. Com isso, inserimos dispositivos que foram desenvolvidos a partir dos avanços promovidos pela FMC para facilitar o ensino de certos conceitos científicos da Física.

O primeiro experimento tem por finalidade comparar a condução de calor em metais distintos. Para isso, as curvas de aquecimento do cobre e do alumínio, provocadas pela mesma fonte de calor, são obtidas simultaneamente. São utilizados seis sensores de temperatura que estão conectados à uma placa Arduino. O segundo experimento possibilita mostrar, tanto qualitativamente quanto quantitativamente, a diferença entre as variações das temperaturas da água e da areia quando estes materiais são aquecidos simultaneamente pela mesma fonte de calor e como resfriam após o desligamento da fonte de calor. O terceiro experimento permite determinar quantitativamente o calor específico de uma amostra de areia, mostrando experimentalmente a razão pela qual a areia esquenta mais rápido do que a água quando ambos são aquecidos por uma mesma fonte de calor. A aquisição de dados automatizada nos permite obter as informações das temperaturas da água e da areia ao longo do experimento e da mistura de ambos.

O desenvolvimento da nossa proposta permite que os estudantes reconheçam que diferentes materiais apresentam diferenças de condutibilidade térmica, analisem os comportamentos distintos da dinâmica de aquecimento e resfriamento para água e areia, e compreendam a importância do calor específico desses materiais na formação das brisas marítimas, por exemplo. Essas atividades experimentais, que estabelecem uma relação entre os conceitos científicos discutidos na sala de aula e fenômenos observáveis na natureza, têm potencial para proporcionar uma maior concretização do conhecimento acerca do fenômeno físico.

CAPÍTULO 2: TÓPICOS DE EXPERIMENTAÇÃO

2.1 Introdução ao pensamento de Vygotsky

Na tentativa de recuperar o estímulo dos discentes pelo estudo das ciências naturais, a análise e as discussões acerca da aplicação do produto educacional deste trabalho apoiam-se na teoria de ensino de Vygotsky. Nela, Vygotsky defende o protagonismo do social dentro do processo da construção dos conhecimentos. Nesse sentido, a utilização do nosso produto educacional pode promover práticas pedagógicas que favorecem a troca de ideias e contribuem para que o aluno desenvolva a criatividade, a autonomia e sua condição de sujeito ativo dentro do processo de aprendizagem. Quanto a isso, é importante destacar:

As atividades de aprendizagem realizadas desta maneira priorizam a aquisição do conhecimento como um processo cognitivo e não mecânico. Esse, talvez, seja o maior problema no atual ensino da Física, isto é, tem-se um ensino voltado para a simples transmissão dos conteúdos, no qual o professor assume a postura de ditador do conhecimento. Em oposição, o ensino pautado sobre os alicerces do diálogo caminha na direção da valorização da realidade histórico-cultural e social do educando. (WERNER DA ROSA e BECKER DA ROSA, 2004, p. 5)

A organização da classe em grupos durante o desenvolvimento da atividade experimental representa uma alternativa para o estabelecimento dos espaços de discussão dos conceitos científicos entre os alunos. Durante essa interação, o professor pode ser um mediador do conhecimento e, juntamente com os alunos mais capazes, apoiar aqueles que tem maior dificuldade de assimilação. Essa construção de conhecimento de modo colaborativo potencializará os resultados do aprendizado que se deseja. De acordo com Vygotsky (2007), “aquilo que a criança pode realizar com assistência hoje, ela será capaz de fazer sozinha amanhã”.

A partir dessas considerações, destacamos alguns motivos que levaram a escolha do nosso referencial teórico de aprendizagem, que joga luz na necessidade de se encurtar a distância entre os conceitos espontâneos trazidos pelos alunos e os de caráter científico apresentados na sala de aula tornando o estudo da Física mais atraente e a escola mais conectada com a vida real. Dessa forma, os conhecimentos prévios dos alunos servirão como ponto de partida para construção de novos conhecimentos no ambiente escolar.

Para compreender com mais profundidade os postulados de Vygotsky sobre a construção do conhecimento, destacamos uma importante contribuição de Werner Rosa e Becker Rosa (2004):

Uma ideia significativa da teoria de Vygotsky, relacionada à aprendizagem em nível escolar, é a importância do social na aquisição dos conhecimentos, seja ele proporcionado pelo simples convívio dentro do ambiente escolar, seja na forma pela qual o professor transmite seus conhecimentos aos alunos. Vygotsky enfatiza em sua obra a importância do ambiente sociocultural para a aprendizagem e o desenvolvimento da criança, mostrando a interdependência dos indivíduos envolvidos no processo. (WERNER DA ROSA e BECKER DA ROSA, 2004, p. 5)

A interação, que levará à discussão e reflexão dos conceitos físicos, se valerá das atividades experimentais objeto de nosso produto como um problema concreto. Sobre este tema, Gaspar (2014) destaca que a experimentação apresenta as vantagens da motivação e concretização perante outras práticas didáticas. Dessa forma, a dificuldade relacionada à visualização dos conceitos da Física pode ser superada a partir da concretização que ocorre em cada atividade experimental. Além disso, espera-se que a curiosidade dos alunos pelo funcionamento das ferramentas tecnológicas sirva de elemento motivacional para que eles acompanhem as atividades atentamente. Essas vantagens oriundas da experimentação poderão produzir o interesse dos alunos pela assimilação e entendimento dos conceitos científicos. Acerca desta matéria, Gaspar (2014) menciona:

Assim, se o pensamento se organiza da motivação, pode-se afirmar que a interiorização da linguagem, origem do pensamento, só ocorre se houver um motivo, para que a mente se disponha a assumir essa tarefa. Então, se para aprender é preciso pensar, pode-se concluir que para aprender é preciso também querer, não há aprendizagem à revelia. (GASPAR, 2014, p. 178)

Para que a aplicação dos produtos alcance melhores resultados na construção dos novos conhecimentos, torna-se necessária uma discussão preliminar que possibilitará aos alunos apresentarem os conhecimentos prévios que possuem relacionados ao tema proposto pelo professor. Essa dinâmica inicial permite que o docente defina o ponto de partida da abordagem dos novos conceitos científicos relacionados à atividade proposta. Rego (1995) apresenta um pensamento interessante sobre este assunto:

A escola desempenhará bem seu papel na medida em que, partindo daquilo que a criança já sabe (o conhecimento que ela traz de seu cotidiano, suas ideias a respeito dos objetos, fatos e fenômenos, suas "teorias" acerca do que observa no mundo), ela for capaz de ampliar e desafiar a construção de novos conhecimentos, na linguagem vygotskyana, incidir na zona de desenvolvimento potencial dos educandos. Desta forma poderá estimular processos internos que acabarão por se efetivar, passando a constituir a base que possibilitará novas aprendizagens. (REGO, 1995, p. 108)

Estabelecida essa base que dará suporte às novas aprendizagens, caberá ao professor executar a prática experimental a partir de estratégias pedagógicas que possibilitem a ocorrência das interações sociais que, segundo Vygotsky, são indispensáveis no processo de construção de novos conhecimentos. Para Rego (1995), a heterogeneidade do grupo de indivíduos que encontramos no ambiente de nossa sala de aula é aceita como característica primordial para o processo das interações:

Dessa maneira, a heterogeneidade, característica presente em qualquer grupo humano, passa a ser vista como fator imprescindível para as interações na sala de aula. Os diferentes ritmos, comportamentos, experiências, trajetórias pessoais, contextos familiares, valores e níveis de conhecimentos de cada criança (e do professor) imprimem ao cotidiano escolar a possibilidade de troca de repertórios, de visão de mundo, confrontos, ajuda mútua e consequente ampliação das capacidades individuais. (REGO, 1995, p. 110)

Durante a execução de cada uma das atividades experimentais, o docente deverá atuar como intermediário entre os estudantes e o conhecimento científico. Segundo Gaspar (2014), o papel assumido pelo professor dentro desse processo é fundamental:

Assim como o próprio pensamento verbal, o conhecimento também é uma construção humana e só pode ser adquirido pela interação entre seres humanos – ele não está nos objetos e nem pode

ser extraído das ações que exercemos sobre eles. Em outras palavras, a realização de uma atividade experimental por um grupo de alunos sobre determinado conteúdo só possibilita a aprendizagem desse conteúdo se esse grupo contar com a colaboração de alguém que domine esse conteúdo e oriente a realização dessa atividade em todas as suas etapas: a exposição de seus objetivos e de seus fundamentos teóricos, a realização das medidas, a análise de dados, a obtenção de resultados e a apresentação das conclusões. (GASPAR, 2014, p. 210)

Para Vygotsky, o professor deve guiar cada um dos seus alunos enquanto apresenta ferramentas que proporcionam o desenvolvimento cognitivo de maneira mais adequada. De acordo com as ideias defendidas por Werner Rosa e Becker Rosa (2004), observa-se:

Outro ponto de relevância no ensino da Física dentro da perspectiva de Vygotsky, voltado para o social, é a função da linguagem no desenvolvimento mediado. O contato dos alunos com os signos e símbolos relacionados ao seu meio favorece o processo de internalização dos conhecimentos. O professor que utiliza em suas práticas pedagógicas uma linguagem próxima a do contexto sociocultural dos seus alunos atingirá de maneira mais significativa os seus objetivos. (WERNER DA ROSA e BECKER DA ROSA, 2004, p. 5)

O autor russo do nosso referencial teórico defendia a relação entre a compreensão do ser humano e o processo de internalização. Rego (1995) expõe o pensamento do autor em sua obra:

Vygotsky entendia que a compreensão do ser humano dependia do estudo do processo de internalização das formas culturalmente dadas de funcionamento psicológico. Foi a partir dessa premissa que tentou explicar a transformação dos processos psicológicos elementares relacionados aos fatores biológicos do desenvolvimento em processos superiores, resultantes da inserção do homem num determinado contexto sócio-histórico. (REGO, 1995, p. 100)

Ainda sobre o papel mediador do professor na dinâmica das interações interpessoais, destaca-se a afirmação de Rego (1995):

No cotidiano escolar, a intervenção “nas zonas de desenvolvimento proximal” dos alunos é de responsabilidade (ainda que não exclusiva) do professor visto como o parceiro privilegiado, justamente porque tem maior experiência, informações e a incumbência, entre outras funções, de tornar acessível ao aluno o patrimônio cultural já formulado pelos homens e portanto, desafiar através do ensino os processos de aprendizagem e desenvolvimento infantil. (REGO, 1995, p. 110)

2.2 Atividades experimentais no ensino de Física

O ensino da Física vem consolidando, desde a década de 1960, um modelo cujo conhecimento é resultado de um conjunto de “descobertas” feitas pelos cientistas e acumulados pela humanidade. De acordo com Gaspar e Monteiro (2005), a forma com que um professor conduz o processo ensino-aprendizagem decorre, em grande parte, da visão que ele tem da ciência.

Arruda, Silva e Laburú (2012) afirmam que a dimensão epistemológica do professor, muitas vezes de forma implícita, tem reflexos em suas atividades didáticas e, assim, na visão da ciência que o aluno apreende em sala de aula. Para eles, a imagem de ciência veiculada entre os professores de Física é uma visão tradicional ou popular. Neste sentido, o presente estudo buscou, sob a luz de Gaspar, demonstrar a efetividade das atividades experimentais no ensino de Física e elaborar o roteiro de três atividades experimentais relacionadas ao conteúdo da Termologia, por meio da aplicação de sensores térmicos e de uma placa Arduino assistida pelo computador.

Sabe-se que a partir da década de 1970, começaram a surgir em todo mundo museus e centros de ciências, locais onde as demonstrações experimentais são o centro da atenção e do encantamento de seus visitantes (GASPAR, 2014). Esse movimento deu início a um processo de resgate da prática da apresentação de demonstrações experimentais em ciências na sala de aula. Vistas como pedagogicamente inócuas pelas teorias que centram na atividade do aluno a construção do seu conhecimento, o impacto que essas demonstrações provocam nos seus visitantes em ambientes informais, tanto do ponto de vista cognitivo como o da aprendizagem de conceitos, indicam que essa atividade pode ser pedagogicamente válida e significativa também em sala de aula. Para isso, é essencial que se encontre uma fundamentação teórico-pedagógica adequada que justifique tal validade pedagógica e oriente sua estruturação e desenvolvimento no ambiente escolar. O marco teórico deste trabalho são as atividades experimentais de demonstração no ensino de física propostas por Gaspar (2014).

Os termos atividade de demonstração ou atividade experimental de demonstração são utilizados como sinônimos e possibilitam a apresentação de fenômenos e conceitos físicos, onde a explicação está fundamentada na utilização de modelos físicos priorizando a abordagem qualitativa (GASPAR e MONTEIRO, 2005).

A expressão ‘atividade de demonstração’, no ambiente escolar, pode referir-se a qualquer apresentação realizada em sala de aula, não vinculada ao uso do quadro-negro como, por exemplo, a exibição de um filme ou de um slide, cuja atividade pode ser considerada pedagogicamente válida. No entanto, aqui usaremos o termo ‘atividade de demonstração’ ou ‘atividade experimental de demonstração’, para designar atividades experimentais que possibilitem apresentar fenômenos e conceitos de Física. Ressaltamos que a experimentação proposta por nosso produto educacional permite que o docente fundamente sua explicação na utilização de modelos físicos que priorizam tanto a abordagem quantitativa quanto qualitativa dos conceitos científicos da Terminologia.

Estas demonstrações experimentais começaram a ser resgatadas em sala de aula e tornaram-se atividades válidas, quando passaram a ocorrer em espaços como museus e centros de ciências, pois geram um impacto quando usadas em ambientes informais. Assim, as atividades de demonstração, segundo os autores, são favorecidas pelos seguintes aspectos: não é necessária uma sala de laboratório, sendo usado um único equipamento para realizar a atividade que contempla todos os alunos; pode ser utilizada em meio à apresentação teórica, sem quebra da abordagem conceitual que está sendo trabalhada, para motivar e despertar o interesse do aluno para a aprendizagem (GASPAR e MONTEIRO, 2005).

De acordo com Gaspar (2014), as atividades de demonstração dessa natureza não se restringem à sala de aula. Podem ser apresentadas também em outros ambientes em função dos quais adquirem características diferentes. Neste sentido, o autor cita três tipos de atividades de demonstração, sendo estas: a) Atividades de demonstração em conferências ou palestras; b) Atividades de demonstração em museus

e centros de ciências; c) Atividades de demonstração em sala de aula, também denominadas de ‘experiências de cátedra’, sendo que este último tipo de atividade de demonstração é a que será analisada neste trabalho.

Os principais objetivos da experiência de cátedra são: ilustrar e ajudar a compreensão das matérias desenvolvidas nos cursos teóricos; tornar o conteúdo interessante e agradável; desenvolver a capacidade de observação e reflexão dos alunos. Esses objetivos dão à experiência de cátedra a mesma conceituação proposta aqui para a atividade de demonstração, pois vinculam os equipamentos à explicação do professor e desencadeiam nos alunos momentos de reflexão sobre os fenômenos físicos apresentados, não se limitando à apresentação ilustrativa dos equipamentos.

2.3 A experimentação pela perspectiva de Vygotsky

Gaspar (1993) estudou a viabilidade de se ensinar e aprender conceitos científicos em ambientes dos ensinos fundamental e médio, e essa aprendizagem vir a favorecer a compreensão e a aquisição formal e mais aprofundada desses mesmos conceitos, tendo como embasamento teórico-pedagógico a teoria sócio-cultural de Vygotsky.

Conforme já mencionado, a teoria de Vygotsky se fundamenta na precedência da cultura sobre o desenvolvimento cognitivo de uma pessoa. Pode-se dizer também que como consequência dessa teoria (VYGOTSKY, 2008) a ideia de que a aprendizagem, entendida como resultado da interação de crianças ou aprendizes com adultos ou parceiros mais capazes, é condição necessária para promover o desenvolvimento cognitivo.

Segundo Gaspar e Monteiro (2005), o conceito de interação social vem sendo discutido por vários pesquisadores vygotskyanos buscando não só a sua melhor compreensão, como também entender o seu papel no processo de ensino e aprendizagem. Para ele, a interação social só pode existir efetivamente em relação ao desenvolvimento de uma tarefa, se houver entre os parceiros que a realizam alguém que saiba fazê-la. Vygotsky (2008) esclarece essa ideia ao vincular a colaboração à imitação, expondo que na criança o desenvolvimento é decorrente da colaboração via imitação, o “desenvolvimento decorrente da aprendizagem é o fato fundamental. [...] Porque na escola a criança não aprende o que sabe fazer sozinha, mas o que ainda não sabe fazer e lhe vem a ser acessível em colaboração com o professor e sob sua orientação”.

O destaque dado por Vygotsky ao professor valoriza as atividades experimentais em sala de aula no momento em que ela é um instrumento que serve prioritariamente ao professor, agente do processo e parceiro mais capaz a ser imitado. É de responsabilidade do professor fazer, demonstrar e destacar o que deve ser observado e, sobretudo, explicar o modelo teórico que possibilite a compreensão do que é observado e estabelecido cultural e cientificamente. Essa interação entre professor e aluno é fundamental

para o desenvolvimento do processo de aprendizagem. A teoria sócio-histórica de Vygotsky (2008) indica uma relação de dependência entre desenvolvimento intelectual e as relações sociais que são estabelecidas ao longo do crescimento do ser humano.

É neste sentido que Gaspar (2014) expõe que existem vários fatores que favorecem a utilização de atividades experimentais de Física em sala de aula. Dentre estes fatores pode-se destacar as interações sociais que ocorrem entre alunos e entre professor e alunos, desencadeadas pelo grande interesse e curiosidade gerados pela atividade experimental. Para Mizukami (1986), essas interações podem viabilizar situações de aprendizagem em que os alunos se sentem motivados a exporem as suas concepções acerca do funcionamento do experimento, mesmo que sejam equivocadas, e compará-las com as de seus colegas e também com a explicação dada pelo professor. Para isso, o professor deve questionar os alunos por meio de situações problema, e estimular o questionamento por parte deles, a respeito das possíveis variações e possibilidades do experimento, propiciando que eles desenvolvam a capacidade de abstração, bem como que eles extrapolem as situações vivenciadas na sala de aula para outras situações observadas no dia a dia.

Neste sentido, Gaspar (2014) estabelece um vínculo com a teoria de Vygotsky para realizar o desenvolvimento da prática experimental na sala de aula. Corroboram com tal concepção os ensinamentos de Howe (1996), o qual destaca o fato de que, na teoria formulada por Vygotsky, é considerado científico todo conhecimento de origem formal, relacionado às ciências sociais, línguas, matemática, ciências físicas e naturais. São conhecimentos sistemáticos e hierárquicos apresentados e apreendidos como parte de um sistema de relações, ao contrário do conhecimento espontâneo, composto de conceitos não-sistemáticos, não-organizados, baseados em situações particulares e adquiridos em contextos da experiência cotidiana.

A diferença crucial entre essas duas categorias de conhecimentos é a presença ou a ausência de um sistema. Neste sentido, Vygotsky (2001) classifica como científicos todos os conceitos aprendidos na educação formal e como espontâneos todos conceitos originários de uma aprendizagem informal, mas faz questão de destacar a unicidade cognitiva do processo de aquisição desses conceitos, expondo que:

O desenvolvimento dos conceitos espontâneos e científicos - cabe pressupor - são processos intimamente interligados, que exercem influências um sobre o outro. [...] independentemente de falarmos do desenvolvimento dos conceitos espontâneos ou científicos, trata-se do desenvolvimento de um processo único de formação de conceitos, que se realiza sob diferentes condições internas e externas mas continua indiviso por sua natureza e não se constitui da luta, do conflito e do antagonismo de duas formas de pensamento que desde o início se excluem. (VYGOTSKY, 2001, p. 261)

Estudos empíricos levaram Vygotsky a confirmar sua hipótese de que a criança utiliza conceitos espontâneos antes de compreendê-los conscientemente, ou seja, antes de ser capaz de defini-los e de operar com eles à vontade. Ela possui o conceito, conhece o objeto ao qual o conceito se refere, mas não está consciente do seu próprio ato de pensamento. Já o desenvolvimento de conceitos científicos, por outro

lado, tem uma trajetória oposta. Ele começa com sua definição verbal, formal, com sua aplicação em operações não-espontâneas. A criança opera de início com esses conceitos a um nível de complexidade lógica que só será atingido pelos conceitos espontâneos no final de sua história de desenvolvimento. Em compensação, só muito tardiamente a criança pode ter do conceito científico o mesmo domínio e familiaridade que tem dos conceitos espontâneos. Pode-se dizer que, do ponto de vista do nível de complexidade lógica, o desenvolvimento dos conceitos espontâneos na criança é ascendente, enquanto o de conceitos científicos é descendente.

Assim sendo, para o autor o aprendizado vem antes do desenvolvimento cognitivo. Neste sentido, expõe Gaspar (2014) que a compreensão do processo de ensino aprendizagem apresentado pela teoria de Vygotsky se apoia em duas ideias básicas: a aprendizagem como fator determinante do desenvolvimento cognitivo e a relação entre motivação e pensamento.

Para Vygotsky (2007) a motivação é a origem do pensamento. Assim, para uma aprendizagem, a motivação é o foco e ponto inicial para essa teoria. Ele ainda propõe que a fase do egocentrismo na criança, quando essa expressa o pensamento por palavras e, posteriormente, vem a transposição da linguagem exterior à interior: é o início do pensamento. O pensamento é um processo de codificação através da linguagem. Ele ainda diz que é difícil decodificar pensamentos nossos através de palavras ditas e ainda mais de outros, pois cada pessoa tem sua ontogênese, ou seja, seus códigos em particular.

Complementa Gaspar (2014) que essa assimilação apenas se torna possível por meio da motivação, do interesse do aluno em assimilar e também entender o que está sendo passado pelo professor. Deste modo, o pensamento será criado por meio da motivação:

Assim, se o pensamento se organiza da motivação, pode-se afirmar que a interiorização da linguagem, origem do pensamento, só ocorre se houver um motivo, para que a mente se disponha a assumir essa tarefa. Então, se para aprender é preciso pensar, pode-se concluir que para aprender é preciso também querer, não há aprendizagem à revelia. (GASPAR, 2014, p. 178)

A motivação permitirá ao aluno se esforçar para entender tanto os conteúdos teóricos em sala de aula, quanto às atividades práticas experimentais. Daí a importância do professor em conduzir estas atividades para obtenção dos resultados. Isso permitirá ao aluno se sentir recompensado (GASPAR, 2014) e o ajudará a compreender melhor os conteúdos teóricos.

Ao ensinar um conceito não tão comum, o professor deve passar os motivos que o levam a ensinar aquilo, assim o aluno irá criar novas concepções sobre o assunto. Gaspar (2014) ainda demonstra a importância do professor na mediação do ensino-aprendizado em uma atividade experimental, expondo que:

Assim como o próprio pensamento verbal, o conhecimento também é uma construção humana e só pode ser adquirido pela interação entre seres humanos – ele não está nos objetos e nem pode ser extraído das ações que exercemos sobre eles. Em outras palavras, a realização de uma atividade experimental por um grupo de alunos sobre determinado conteúdo só possibilita a aprendizagem

desse conteúdo se esse grupo contar com a colaboração de alguém que domine esse conteúdo e oriente a realização dessa atividade em todas as suas etapas: a exposição de seus objetivos e de seus fundamentos teóricos, a realização das medidas, a análise de dados, a obtenção de resultados e a apresentação das conclusões. (GASPAR, 2014, p. 210)

Segundo Gaspar (2014), é por meio dos experimentos que as ciências encantam e aguçam o interesse das pessoas. O uso de experimentos em sala proporciona aos alunos a comprovação da origem de diferentes possibilidades de aprendizagem na disciplina a ser ministrada, despertando assim no estudante a participação e a curiosidade na discussão da matéria.

Gaspar e Monteiro (2005), seguindo as ideias de Vygotsky, ressaltam a importância do professor como agente do processo e parceiro mais capaz de ser imitado, valorizando as atividades de demonstração em sala de aula como instrumento que serve o professor, pois cabe a ele fazer, demonstrar e destacar o que deve ser observado e assim apresentar aos alunos o modelo teórico, possibilitando a compreensão do que está sendo observado.

Na sala de aula, a atividade de demonstração experimental relaciona a experiência vivida pelo aluno ao conteúdo de física, fundamentando-se em conceitos científicos, formais e abstratos. A utilização dessa atividade irá associar o pensamento do aluno a elementos da realidade e de experiência pessoal, para que adquira conceitos científicos (GASPAR, 2014).

A atividade de demonstração experimental em sala de aula, particularmente quando relacionada a conteúdos de Física, apesar de fundamentar-se em conceitos científicos, formais e abstratos, tem por singularidade própria a ênfase no elemento real, no que é diretamente observável e, sobretudo, na possibilidade simular no micro-cosmo formal da sala de aula a realidade informal vivida pela criança no seu mundo exterior. Grande parte das concepções espontâneas, senão todas, que a criança adquire resultam das experiências por ela vividas no dia-a-dia, mas essas experiências só adquirem sentido quando ela as compartilha com adultos ou parceiros mais capazes, pois são eles que transmitem a essa criança os significados e explicações atribuídos a essas experiências no universo sócio-cultural em que vivem. (GASPAR e MONTEIRO, 2005, p. 232)

Deste modo, as atividades experimentais de demonstração, vinculadas a uma postura didática que valorize os saberes dos alunos, podem possibilitar uma contínua mudança dentro das salas de aula. Uma vez que os alunos se mostrem interessados, as aulas poderão ser mais produtivas, havendo assim mais momentos de aprendizagem concreta. No entanto, não basta que haja uma articulação e uma maleabilidade dos conteúdos em salas de aula, o principal a ser atingido é a atenção dos alunos. Uma vez que a atenção da turma esteja voltada para a figura do professor, haverá um melhor rendimento do tempo em sala de aula, possibilitando uma melhor relação entre ensino e aprendizagem. Uma boa manipulação dos conceitos, juntamente com o uso adequado dos vários recursos que os professores possuem, pode garantir uma aula atrativa e produtiva.

Gaspar (2014) então apresenta alguns aspectos centrais acerca da experimentação orientada pela Teoria de Vygotsky. Para o autor, as implicações pedagógicas da teoria de Vygotsky são válidas também para o ensino usando a experimentação, pois não se encontra diferenciação no processo de ensino e aprendizagem em decorrência do modo que é apresentada ou da natureza da disciplina.

Ainda, apoiando-se em Vygotsky, Gaspar (2014) cita que as atividades experimentais têm vantagens perante outras práticas didáticas. São elas: a motivação e a concretização. Os alunos têm dificuldades em visualizar os conceitos, mas com a concretização que acontece em uma aula prática isso é minimizado devido à exposição do conteúdo ser diferente daquela que ocorre no modelo tradicional de ensino, o que poderá despertar a curiosidade dos estudantes e aumentar o engajamento deles durante a aula. Assim, o experimento sempre deve causar surpresa, os motivar e nunca deve ser escolhido um assunto irrelevante. Para a internalização do conhecimento, o professor tem um importante papel, sendo o agente que lança mão dos instrumentos e signos, sempre respeitando o fato que a aprendizagem deve ocorrer de forma conjunta e colaborativa entre os alunos.

Dentro deste contexto, Gaspar (2014) destaca que a atividade experimental tem vantagens sobre a teórica, porém ambas devem caminhar juntas, pois uma é o complemento da outra. O autor enfatiza que o experimento sozinho não é capaz de desencadear uma relação com o conhecimento científico, e sim a junção da teoria com a prática. O autor ainda ressalta as vantagens das aulas práticas, demonstrativas ou experimentais.

A primeira vantagem que se dá no decorrer de uma atividade experimental é o fato de o aluno conseguir interpretar melhor as informações. O modo prático possibilita ao aluno relacionar o conhecimento científico com aspectos de sua vivência, facilitando assim a elaboração de significados dos conteúdos ministrados. A segunda vantagem é a interação social mais rica, devido à quantidade de informações a serem discutidas, estimulando a curiosidade do aluno e questionamentos importantes. Como terceira vantagem, vemos que a participação do aluno em atividades experimentais é quase unânime. Isso ocorre por dois motivos: “a possibilidade da observação direta e imediata da resposta e o aluno, livre de argumentos de autoridade, obtém uma resposta isenta, diretamente da natureza. (GASPAR, 2014, p. 67)

Assim, essas atividades experimentais têm a possibilidade de funcionar como uma estratégia de aquisição de conhecimentos, mas que é preciso primeiramente fundamentá-la de forma adequada com as perspectivas pedagógicas-epistemológicas, para que então possa proporcionar aos estudantes a percepção da relação existente entre os aspectos naturais e os artificiais do fenômeno que está sendo estudado, favorecendo assim o espírito investigativo dos estudantes, fazendo com que estes busquem o desenvolvimento de seu conhecimento em relação ao conceito científico abordado.

Neste mesmo sentido, expõe Pedroso (2019) que existem vários motivos que tornam a experimentação essencial para a Educação Básica:

1. estimular a observação acurada e o registro cuidadoso dos dados;
2. promover métodos de pensamento científico;
3. desenvolver habilidades manipulativas;
4. treinar em resolução de problemas;
5. esclarecer a teoria e promover a sua compreensão;
6. vivenciar o processo de encontrar fatos por meio da investigação chegando aos seus princípios;
7. motivar os alunos.

(PEDROSO, 2019, p. 2)

Há ainda que se falar que o ensino de Física deve visar a alfabetização e o letramento científico do aluno, ou seja, deve prepará-lo para lidar de forma crítica com a maneira como a ciência e a tecnologia estão inseridas na sociedade, e na maneira com que, a partir dessa relação entre ciência, tecnologia e

sociedade, pode ser construído o conhecimento científico. Isso significa que o aluno deve estar preparado para lidar com novas práticas e linguagens relacionando-as com as linguagens e práticas do seu cotidiano. Dessa forma, a alfabetização científica deve fazer parte das práticas experimentais no ensino de Física, e para que isso de fato ocorra é necessário que essas práticas obedeçam a certos requisitos que são expostos por Gaspar (2014):

1. Superação das concepções empírico-indutivas da Ciência: Desejamos que essas atividades dêem oportunidade para que os alunos, mesmo não conscientemente, superem as concepções empírico-indutivistas da Ciência. Podemos observar esse ponto tão importante observando se os alunos, ao procurarem resolver as questões (experimentais) propostas pelos professores, levantam hipóteses a partir de seus conhecimentos prévios, submetendo essas hipóteses a provas.

2. Promover a argumentação dos alunos: Uma consequência importante para o ensino, principalmente para as aulas de laboratório, é o entendimento de que as observações e o experimento não são a rocha sobre a qual a Ciência está construída; essa rocha é a atividade racional de geração de argumentos com base em dados obtidos. E é essa a meta do nosso ensino: criar um ambiente de aprendizagem de modo que nossos alunos adquiram a habilidade de argumentar a partir dos dados obtidos, procurando a construção de justificativas.

3. Incorporar as ferramentas matemáticas: Devemos observar se as aulas estão oferecendo a oportunidade de incorporar o papel essencial da Matemática no desenvolvimento científico. Ao utilizarem as ferramentas matemáticas (gráficos, equações, fórmulas), os professores propõem questões sobre a utilização dessas ferramentas, relacionando-as com as explicações científicas e fazendo a tradução da linguagem conceitual da física para a linguagem matemática e vice-versa.

4. Transpor o novo conhecimento para a vida social: Precisamos observar se as atividades experimentais estão proporcionando a transposição do conhecimento aprendido para a vida social, procurando buscar as complexas relações entre ciências, tecnologia e sociedade, procurando generalizar ou aplicar o conhecimento adquirido, relacionando-o com a sociedade em que vivem. É preciso que os estudantes examinem, argumentem sobre e discutam a natureza de boas evidências e decidam sobre alternativa.

O item 1 acima se trata de algo muito importante no ensino de Física, mas que muitas vezes não é levado em consideração pelos professores. Não é apenas a realização e observação dos resultados de um experimento que irá fazer com que o aluno efetivamente aprenda. Se ele não tiver o conhecimento teórico do conteúdo estudado que lhe permita tirar as conclusões corretas dos dados obtidos, o experimento não acrescentará em nada na sua formação. Para Gaspar (2014), não é apenas a observação do experimento

que leva às descobertas das leis científicas, mas sim a observação que é realizada com embasamento conceitual.

A observação não necessariamente implica que o observador compreende o que vê. É por isso que antes de partirem para o experimento, os alunos já devem ter estudado o conteúdo, para que assim, conforme indicado no item 2, eles possam “argumentar a partir dos dados obtidos”, ou seja, para que eles possam analisar de forma crítica os resultados do experimento. Dessa forma é possível criar um ambiente de discussões entre os alunos e não apenas realizar uma coleta de dados “mecânica”. Mas é bom que se esclareça que isso não significa de maneira alguma que a observação não seja uma importante ferramenta da atividade experimental, pois como bem esclarece Gaspar (2014), “certamente há método por trás das observações, da realização das medições, da obtenção e análise de dados, das verificações e da elaboração de conclusões, entre outros procedimentos relacionados à atividade científica”.

A prática experimental deve estar, portanto, embasada pela teoria. Dessa maneira, ao realizar o experimento, o professor precisa ter o cuidado de relacioná-lo com os conhecimentos prévios que os alunos têm antes da prática. Dentre estes conhecimentos estará a Matemática, que o aluno já deve ter visto relacionada à Física, mas apenas através de gráficos e equações. O experimento é uma oportunidade de mostrar ao estudante o que realmente significam todas as fórmulas que ele viu o professor escrever no quadro e, além disso, o próprio estudante pode ficar encarregado de transformar os dados obtidos em gráficos, dando assim significado à Matemática estudada anteriormente.

A experimentação também deve ser capaz de transpor o conhecimento da sala de aula, mostrando aos alunos o importante papel que a Física teve e continua tendo no desenvolvimento social, cultural e econômico. Sendo assim, é importante que a prática experimental esteja relacionada com as tecnologias que fazem parte do cotidiano dos alunos, para que assim seja possível transpor o conhecimento para fora da sala de aula e alcançar o seu dia-a-dia.

CAPÍTULO 3: TÓPICOS DE TERMOLOGIA

Neste capítulo apresentamos os conceitos científicos discutidos nos experimentos do nosso produto educacional pertinentes à Termologia, que é o ramo da física que estuda os fenômenos térmicos da natureza.

3.1 Temperatura

Os conceitos de calor e temperatura foram desenvolvidos paralelamente: inicialmente por meio de leis empíricas e de natureza fenomenológica da termodinâmica clássica e depois pelos modelos microscópicos da física estatística. Como o pensamento clássico é fundamentado no estudo de grandezas macroscópicas, o conceito de temperatura dele oriundo trata esta grandeza como um parâmetro físico descritivo de um sistema e que está associado às sensações subjetivas de frio e quente (JANGO, FARIA e STORNILOLO, 2019).

Muitas são as definições que podem ser encontradas na literatura acerca da temperatura, porém a descrição que se encontra mais próxima do universo macroscópico é aquela apresentada pela Mecânica Estatística relacionada à teoria cinética dos gases. Segundo a referida teoria, a temperatura está intimamente ligada ao grau de agitação das moléculas de um determinado sistema físico. Em outras palavras, essa grandeza física escalar pode ser compreendida como a medida da energia cinética média por grau de liberdade de cada partícula de determinado meio. No contexto dessa discussão, destacam-se as palavras de Feynman e seus colaboradores (2008):

A energia cinética molecular média é uma propriedade somente da “temperatura”. Sendo uma propriedade da “temperatura”, e não do gás, podemos usá-la como uma definição da temperatura. A energia cinética média de uma molécula é assim uma função da temperatura. Mas qual escala devemos usar para a temperatura? Podemos definir arbitrariamente a escala de temperatura para que a energia média seja linearmente proporcional à temperatura. (FEYNMAN, LEIGHTON e SANDS, 2008, p. 39-10)

Conforme o exposto, conclui-se que uma temperatura mais elevada aponta para uma agitação mais intensa das partículas, que possuem uma energia cinética média maior. No entanto, é importante mencionar que não são todos os movimentos dos átomos ou moléculas de uma substância que promovem sua variação da temperatura. Sobre isso, escreveu Hewitt (2015):

Mais especificamente, a temperatura é proporcional à energia cinética média “translacional” do movimento molecular (pelo qual as moléculas se movimentam de um lugar a outro). As moléculas podem também rodar e vibrar, com energia cinética rotacional e vibracional correspondentemente associadas – mas esses movimentos não são de translação, e não definem temperatura. (HEWITT, 2015, p. 286)

O Sistema Internacional de Unidades (SI) adotou a unidade kelvin (K) para a grandeza escalar da temperatura em homenagem ao físico irlandês William Thomson, mais conhecido como Lorde Kelvin,

que desenvolveu um importante trabalho acerca de uma escala termométrica absoluta. Por meio dos seus experimentos sabe-se que, embora não exista um limite superior para a temperatura de um corpo, há um limite inferior, sendo que esta temperatura-limite é tomada como sendo o zero da escala kelvin de temperatura, enquanto que a temperatura ambiente está em torno de 290 kelvins (290 K) (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2009).

Lorde Kelvin concluiu que o zero absoluto é a temperatura mínima possível na qual todos os átomos e moléculas de qualquer substância apresentam uma energia cinética média nula. No entanto, sabe-se atualmente que os átomos de um corpo submetido a um contínuo processo de resfriamento não conseguem alcançar a condição na qual a energia cinética média é completamente nula.

3.2 Calor

Francis Bacon (1561-1626), afirmava que o calor era uma “vibração” dos átomos que constituíam a matéria, afirmação fundamentada na observação do autor em um fato conhecido de todo ferreiro: fortes e frequentes marteladas produzem o aquecimento de um pedaço de ferro. Conhecia-se, igualmente, o método de obtenção do fogo pelo atrito. Bacon concluiu que o calor é um movimento interno das pequeníssimas partículas que compunham o corpo, onde a temperatura deste corpo dependia da velocidade de movimento dessas partículas. Esta hipótese recebeu o nome de teoria mecânica do calor e foi, em grande parte, discutida e desenvolvida no período de 1711 a 1765 (PÁDUA, PÁDUA e MARTINS, 2009).

Atualmente, a sociedade convive com uma definição mais precisa sobre calor. A termodinâmica, por exemplo, define o calor como uma configuração de energia que flui através dos limites de um sistema no instante em que ocorre uma mudança de estado ou em virtude de uma diferença de temperatura entre o sistema e suas vizinhanças, fluindo de um ponto de temperatura mais alta para outro de temperatura mais baixa (NUSSENZVEIG, 2014). Falando em termos moleculares, o calor é nada mais que a transferência de energia integrada ao movimento desordenado das moléculas (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2009), denominada de teoria dos calóricos.

Essa teoria alcançou grande sucesso com os trabalhos de Jean-Baptiste Fourier (1768 – 1830) em 1822, Sadi Carnot (1796 – 1832), em 1824 e Émile Clapeyron (1799 – 1864) em 1834, antes de ser substituída pela compreensão do calor como uma forma de energia, que ocorreu em meados do século XIX (MENDOZA, 1960). Essa segunda teoria era de natureza completamente distinta. Não fazia menção alguma a átomos e considerava o calor como um fluido sutil, batizado de calórico, que preenchia o interior dos corpos materiais (sólidos, líquidos e gases). Galileu foi adepto desta hipótese.

De acordo com tal conceito, o calor é constituído por uma substância extraordinária capaz de penetrar em todos os corpos e abandoná-los facilmente. A teoria do calórico foi estabelecida em definitivo

pelo químico britânico Joseph Black (1728 – 1799) que é considerado o fundador da ciência da calorimetria, o qual considerava que o calor é evidentemente não passivo; ele é um fluido expansivo que dilata em consequência da repulsão subsistente entre suas próprias partículas (BAUER, WESTFALL e DIAS, 2013).

Assim, até o início do século XIX, acreditava-se que o calor estava relacionado com a presença de um fluido invisível e sem peso denominado de calórico. Quanto maior a temperatura de um corpo, maior seria a quantidade dessa substância em seu interior.

De acordo com Halliday e colaboradores (2009), atualmente esta teoria não mais é aceita. Segundo os autores, compreende-se que o calor é a energia transferida de um corpo a outro devido à diferença de temperaturas existente entre eles. Essa transferência sempre ocorre do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura.

Deste modo, o calor deve ser compreendido como a transferência de energia de um objeto ou sistema para outro em razão, exclusivamente, da diferença de temperatura entre eles. Sobre isso, escreveu Young (2004, p. 113): “a transferência de energia produzida apenas por uma diferença de temperatura denomina-se transferência de calor ou fluxo de calor, e a energia transferida desse modo denomina-se calor”. Logo, o calor não é algo que um corpo possua ou armazene. Um corpo quente não é um corpo que possui muito calor, mas sim um corpo com muita energia térmica média.

O SI estabelece que o calor é medido em joules (J), mas usualmente adota-se a unidade da caloria (cal). A unidade de medida da caloria foi definida como sendo a quantidade de calor que 1g de água precisa receber para elevar sua temperatura em 1 °C. A relação entre as unidades de medida de calor é a seguinte: 1 cal = 4,1868 J.

3.3 Capacidade térmica

A capacidade térmica C é a grandeza que resulta da razão entre a quantidade de calor recebida por um corpo e a variação de temperatura. Essa grandeza mostra o comportamento de um corpo ao receber calor, indicando se ele variará muito ou pouco a sua temperatura (HALLIDAY; RESNICK, 2009). Para se calcular a capacidade térmica, utiliza-se a equação (1):

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

onde ΔQ é a quantidade de calor recebida ou cedida pelo corpo (J) e ΔT é a variação de temperatura ocorrida (K).

Para o limite da transferência de pequenas quantidades de calor, temos que uma quantidade de calor dQ é necessária para a elevação de dT na temperatura do corpo (dQ e dT são infinitesimais). Com isso, a capacidade térmica também pode ser descrita segundo a equação (2):

$$C = \frac{dQ}{dT} . \quad (2)$$

Vale ressaltar que a capacidade térmica é uma propriedade dos corpos, e não das substâncias, ou seja, corpos feitos do mesmo material podem sofrer variações de temperatura diferentes quando submetidos à mesma fonte de calor. Isso acontece porque a variação de temperatura também depende de outro fator, a massa do corpo. Quanto maior a massa de um corpo, maior a quantidade de calor necessária para variar sua temperatura.

3.4 Calor específico

O calor específico c é uma grandeza muito relevante da Termologia, a qual caracteriza-se como uma grandeza física que está relacionada com a quantidade de calor que produz uma variação térmica, sendo uma característica de cada material (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2009). Dessa forma, ele determina a quantidade de calor necessária para a variação de 1 °C de 1g da substância. Matematicamente, essa grandeza física pode ser expressa como uma razão entre a capacidade térmica e a massa do corpo, conforme exhibe a equação (3).

$$c = \frac{C}{m} = \frac{1}{m} \cdot \frac{dQ}{dT} . \quad (3)$$

Através da equação (3), pode-se obter uma expressão para a quantidade de calor fornecida ao corpo em função do correspondente aumento de temperatura:

$$dQ = m \cdot c \cdot dT . \quad (4)$$

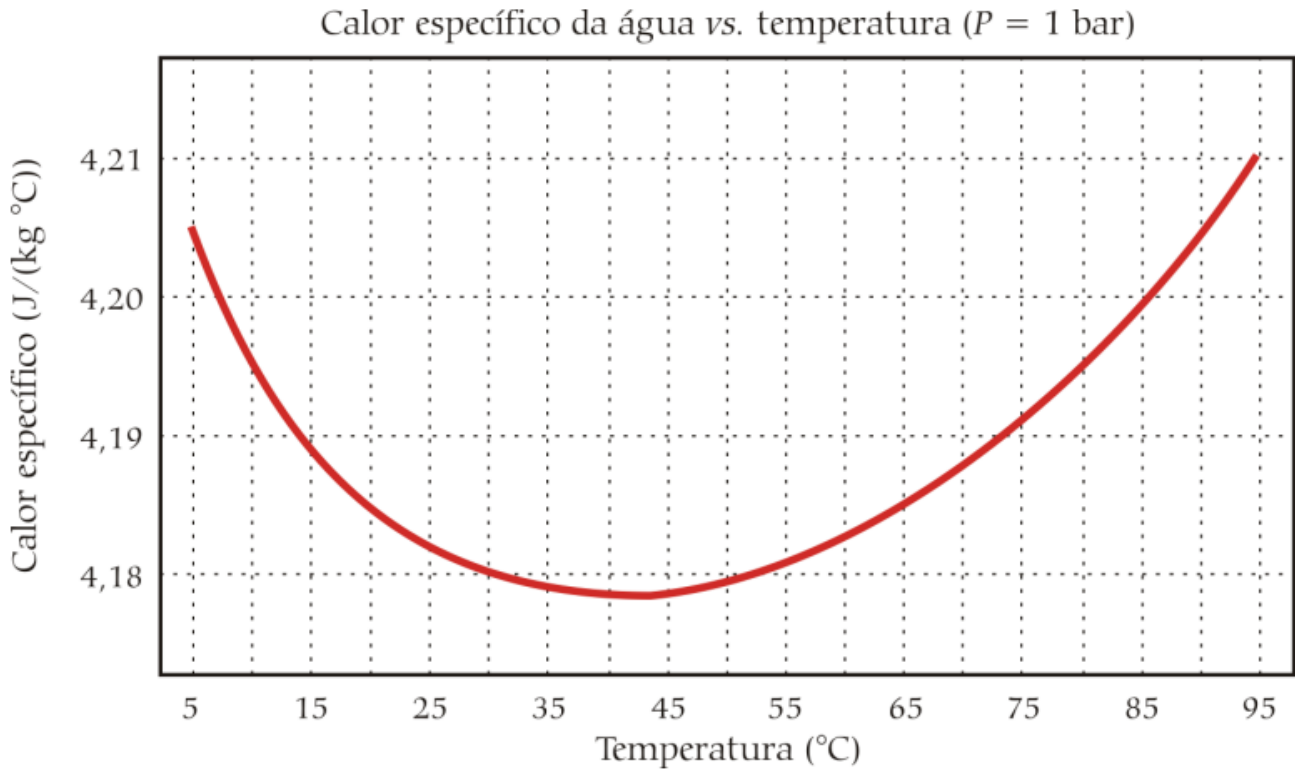
Se o intervalo de temperatura entre a temperatura inicial T_i e a temperatura final T_f é suficientemente grande, ocorre uma variação do calor específico com a temperatura, tal que $c = c(T)$. Com isso, a quantidade de calor pode ser apresentada de acordo com a equação (5) (NUSSENZVEIG, 2014):

$$Q = m \int_{T_i}^{T_f} c(T) \cdot dT . \quad (5)$$

A relevância da dependência de C com a temperatura pode ser questionada. Via de regra, a variação do calor específico em função da temperatura é muito pequena tanto para os sólidos quanto para os

líquidos. Para a água, a título de exemplo, a variação do calor específico é próxima de 0,6 % quando a temperatura varia de 50°C a 95°C, conforme apontam os dados da figura 1

Figura 1: Variação do calor específico da água com a temperatura.



Fonte: (DAMASIO, RAICIK e BRUNELLI, 2017).

Diante do exposto, o calor específico pode ser admitido como uma constante no contexto da equação (5), tal que:

$$Q = m \cdot c \cdot \int_{T_i}^{T_f} dT = m \cdot c \cdot \Delta T, \quad (6)$$

onde Q é a quantidade de calor sensível (cal ou J), c é o calor específico da substância que constitui o corpo (cal/g°C ou J/kg°C), m é a massa do corpo (g ou kg) e ΔT é a variação de temperatura (°C).

No SI, a unidade de medida do calor específico é dada por J/kg.K e no sistema usual cal/g.°C. Há ainda que se salientar que cada substância reage ao calor de maneira diferente. Sendo assim, cada substância sofre aquecimento ou resfriamento dependendo de seu calor específico, sendo que quanto maior o calor específico de uma substância maior será a dificuldade de receber ou perder calor. A tabela 1 apresenta os valores do calor específico de dezoito substâncias a 25°C.

Tabela 1 - Tabela de calores específicos de diversas substâncias.

Substância	Calor específico no sistema internacional (J/kg.K)	Calor específico no sistema usual (cal/g.°C)
Alumínio	900	0,215
Berílio	1830	0,436
Cádmio	230	0,055
Cobre	387	0,0924
Germânio	322	0,077
Ouro	129	0,0308
Ferro	448	0,107
Chumbo	128	0,0305
Silício	703	0,168
Prata	234	0,056
Bronze	380	0,092
Madeira	1700	0,41
Vidro	837	0,200
Gelo (-5,0°C)	2090	0,50
Mármore	860	0,21
Álcool (etílico)	2400	0,58
Mercúrio	140	0,033
Água (15,0°C)	4186	1,00

Fonte: (SERWAY e JEWETT JUNIOR, 2013, p. 592).

Por meio da tabela 1, pode-se observar que a água apresenta o maior calor específico se comparada com as outras substâncias, sendo que o elevado calor específico da água interfere na temperatura ambiente de regiões próximas a grandes volumes de água (SERWAY e JEWETT JUNIOR, 2013).

Dentre os fatores que influenciam o calor específico c estão as forças intermoleculares e as impurezas. Segundo Halliday et al (2009), quanto maior for a força de ligação intermolecular da substância, maior será a energia necessária para o rompimento das ligações e efetiva transformação do material. Geralmente substâncias que possuem ligações de hidrogênio em sua estrutura possuem elevado calor específico. Além disso, as impurezas presentes em materiais diversos podem alterar o valor do calor específico da substância.

3.5 Princípio da Conservação de Energia

Com os estudos acerca dos principais conceitos relacionados ao calor deve-se ainda falar da conservação de energia, que pode ser compreendida dentro dos conceitos de Termodinâmica, que surgiu da necessidade de compreensão do funcionamento das máquinas térmicas visando otimizar o seu uso. Conforme definição de Halliday et al (2009), a Termodinâmica estuda as relações existentes entre o calor e o trabalho mecânico, tendo como princípios a conservação de energia e a transferência espontânea do calor, do sistema de maior temperatura para o de menor temperatura e não no sentido inverso.

A Primeira Lei da Termodinâmica é fundamentada no Princípio da Conservação de Energia que diz que a energia não pode ser criada nem destruída, apenas transformada de uma forma em outra, ou seja, a quantidade de energia total permanece constante (BAUER, WESTFALL e DIAS, 2013). Essa lei é expressa pela equação (7):

$$\Delta U = Q - \tau, \quad (7)$$

onde ΔU é a variação da energia interna, Q é a quantidade de calor e τ é o trabalho.

Isso quer dizer que:

1) quanto ao calor: a) se o calor trocado com o meio for maior do que zero, o sistema recebe calor; b) se o calor trocado com o meio for menor do que zero, o sistema perde calor; c) se não há troca de calor com o meio, ou seja, se ele é igual a zero, o sistema não recebe nem perde calor.

2) quanto ao trabalho: a) Se o trabalho é maior do que zero, o volume de algo exposto ao calor é expandido; b) se o trabalho é menor do que zero, o volume de algo exposto ao calor é reduzido; c) se não há trabalho, ou seja, se ele é igual a zero, o volume de algo exposto ao calor é constante.

3) quanto à variação de energia interna: a) se a variação de energia interna é maior do que zero, há aumento de temperatura; b) se a variação de energia interna é menor do que zero, há diminuição de temperatura; c) se não há variação de energia interna, ou seja, se ela é igual a zero, a temperatura é constante (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2009). Vale ressaltar que essa associação da variação da energia interna com a temperatura é válida somente para os gases ideais.

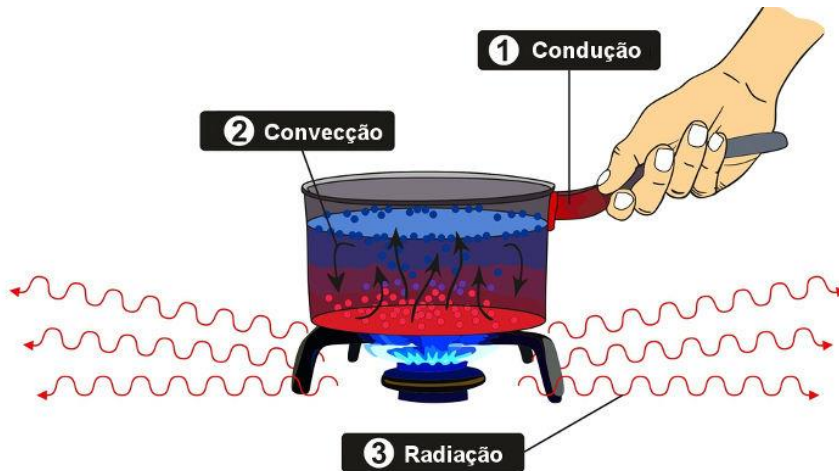
Deste modo, pode-se concluir que a temperatura pode ser aumentada com calor ou com trabalho. Considerando-se, neste contexto, que o princípio de conservação da energia, que pressupõe que a energia não pode ser criada ou destruída, no entanto, pode ser transferida ou convertida de uma forma para outra. Sendo assim, deve-se levar em consideração que a energia térmica é conservada.

3.6 Processos de transferência de calor

Chama-se fluxo de calor o processo de transferência de energia que ocorre exclusivamente em virtude de diferença de temperaturas (SERWAY e JEWETT JUNIOR, 2013). Essa transferência de calor

pode se estabelecer de três maneiras: por irradiação, por condução e por convecção. Os três processos de transferência de calor podem ser observados na Figura 2.

Figura 2: Processos de transferência de calor.



Fonte: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/calor.htm> (acessado em 9 de novembro de 2021).

3.6.1 Irradiação

A irradiação, também denominada de radiação térmica, é uma forma de transferência de calor que ocorre por meio de ondas eletromagnéticas. Como essas ondas podem propagar-se no vácuo, não é necessário que haja contato entre os corpos para haver transferência de energia térmica. Todos os corpos emitem radiações térmicas que são proporcionais à sua temperatura. Quanto maior a temperatura, maior a quantidade de energia térmica que o objeto irradia (NUSSENZVEIG, 2014).

A irradiação consiste de ondas eletromagnéticas viajando com a velocidade da luz. Como a radiação é a única forma de transferência de calor que pode ocorrer no espaço vazio, esta é a forma pela qual o sistema Terra-Atmosfera recebe energia do Sol e libera energia para o espaço.

Halliday e seus colaboradores (2009) definem que a taxa P com que um objeto emite radiação depende da área A da superfície deste objeto e da temperatura T dessa área em kelvin, e é dada por:

$$P = \sigma \cdot \varepsilon \cdot A \cdot T^4, \quad (8)$$

onde $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{W/m}^2 \text{K}^4$ é a constante de Stefan-Boltzmann e ε é a emissividade da superfície do objeto que vale entre 0 e 1 dependendo da sua composição.

3.6.2 Condução

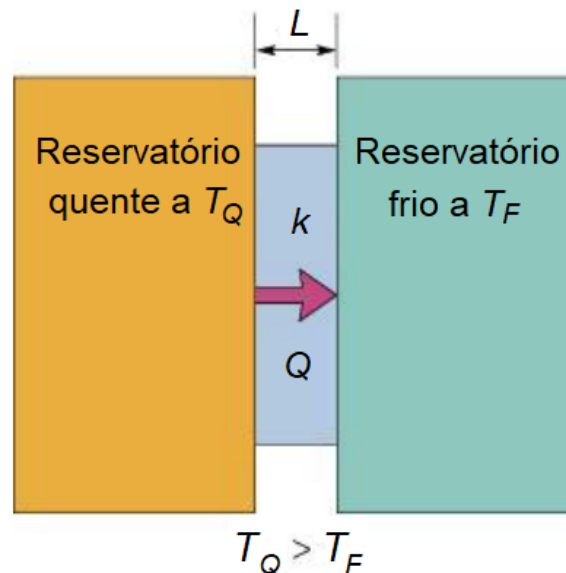
A condução ocorre dentro de uma substância ou entre substâncias que estão em contato físico direto. Na condução, a energia cinética dos átomos e moléculas é transferida por colisões entre átomos e

moléculas vizinhas. O calor flui das temperaturas mais altas (moléculas com maior energia cinética) para as temperaturas mais baixas (moléculas com menor energia cinética).

A capacidade das substâncias para conduzir calor (condutividade) varia consideravelmente (SILVA, 2013). Via de regra, sólidos são melhores condutores que líquidos e líquidos são melhores condutores que gases. Num extremo, metais são excelentes condutores de calor e no outro extremo, o ar é um péssimo condutor de calor (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2009).

Para aprofundar nossa discussão sobre a condução térmica, consideremos uma placa de área A e espessura L cujas faces são mantidas com as temperaturas T_Q e T_F por uma fonte quente e uma fonte fria, conforme a figura 3.

Figura 3: Condução de calor. A energia é transferida em forma de calor de um reservatório à temperatura T_Q para um reservatório mais frio, à temperatura T_F , através de uma placa de espessura L e condutividade térmica k .



Fonte: (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2009, p. 200).

Admitindo que a placa esteja isolada das vizinhanças, de modo que o fluxo de calor entre os reservatórios passe somente através dela, a taxa de transferência de calor dQ/dt que fluirá através da placa será proporcional à sua área e à diferença de temperatura entre os reservatórios de calor, e inversamente proporcional ao seu comprimento. Nussenzveig (2014) define que a condução de calor através de uma espessura infinitésima dx dessa placa durante um tempo dt equivale a:

$$\frac{dQ}{dt} = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx}, \quad (9)$$

onde k é uma constante de proporcionalidade conhecida como condutividade térmica do material. O sinal negativo da equação exprime o fato de que o calor flui de temperaturas mais altas para temperatura mais baixas: assim, se o gradiente de temperatura dT/dx é negativo, a corrente térmica dQ/dt é positiva.

No estado estacionário, a temperatura da barra não depende mais do tempo (T só depende da posição x) e um fluxo de calor uniforme pode ser constatado em todos os pontos da barra. Com isso, dQ/dt não pode depender de x , ou seja, o fluxo de calor por unidade de tempo tem de ser o mesmo através de qualquer secção da barra. Com efeito, se assim não fosse, haveria acumulação (ou rarefação) de calor em determinados pontos, cuja temperatura teria de aumentar (ou diminuir) com o tempo, contrariamente à hipótese (NUSSENZVEIG, 2014). Logo, dT/dx é uma constante:

$$\frac{dT}{dx} = -\frac{T_Q - T_F}{L}. \quad (10)$$

Substituindo dT/dx na equação da taxa de transferência de calor, obtemos:

$$P = \frac{dQ}{dt} = k \cdot A \cdot \frac{T_Q - T_F}{L}, \quad (11)$$

onde P representa a energia térmica transferida por unidade de tempo.

3.6.3 Convecção

A convecção somente ocorre em líquidos e gases. Consiste na transferência de calor dentro de um fluido através de movimentos do próprio fluido. Por exemplo, o calor ganho na camada mais baixa da atmosfera através de radiação ou condução é mais frequentemente transferido por convecção. A convecção ocorre como consequência de diferenças na densidade do ar. Ar quente é menos denso que o ar frio de modo que o ar frio e denso desce e força o ar mais quente e menos denso a subir. O ar mais frio é então aquecido pela superfície e o processo é repetido (NUSSENZVEIG, 2014).

Desta forma, a circulação convectiva do ar transporta calor verticalmente da superfície da Terra para a troposfera, sendo responsável pela redistribuição de calor das regiões equatoriais para os pólos. O calor é também transportado horizontalmente na atmosfera, por movimentos convectivos horizontais, conhecidos por advecção. O termo convecção é usualmente restrito à transferência vertical de calor na atmosfera (NUSSENZVEIG, 2014).

Vale ressaltar que na atmosfera, o aquecimento envolve os três processos, radiação, condução e convecção, que ocorrem simultaneamente.

3.7 Equilíbrio térmico

Viu-se anteriormente que o calor é o fluxo de energia térmica que se estabelece em decorrência do contato entre corpos com temperaturas distintas. Quando as temperaturas desses corpos se igualam,

diz-se que o equilíbrio térmico foi alcançado e, como não há diferença de temperatura entre eles, o calor deixa de fluir. Vale ressaltar que essa condição é atingida espontaneamente, uma vez que corpos com temperaturas diferentes trocam calor entre si até que suas temperaturas se equilibrem. O princípio físico que explica o equilíbrio térmico é chamado Lei Zero da Termodinâmica (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2009).

De acordo com a Lei Zero da Termodinâmica, corpos de diferentes temperaturas e em contato térmico tendem a entrar em equilíbrio térmico. Isso implica que se dois corpos A e B estão em equilíbrio térmico com um corpo C, então os corpos A e B também estão em equilíbrio térmico entre si.

O equilíbrio térmico é expresso matematicamente levando em conta a conservação da energia, isto é, toda a quantidade de calor que um corpo emite é absorvida por suas vizinhanças, se considerarmos que todos os corpos que interagem entre si estejam contidos dentro de um sistema fechado. Portanto, a somatória de todo o calor emitido com o calor absorvido deve ser igual a 0, observe:

$$\sum Q_R + \sum Q_C = 0, \quad (12)$$

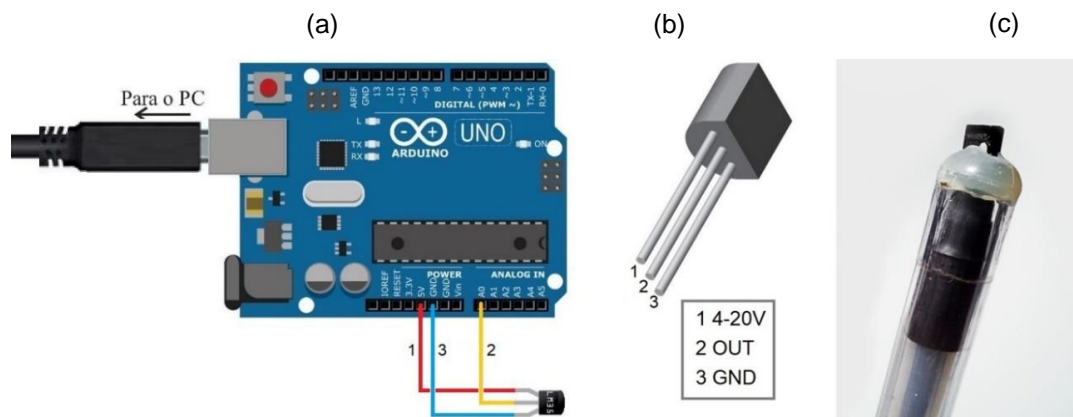
onde Q_R é a quantidade de calor recebido (cal ou J) e Q_C é a quantidade de calor cedido (cal ou J).

O equilíbrio térmico é atingido de acordo com a transferência de energia térmica entre os corpos de diferentes temperaturas.

CAPÍTULO 4: OS EXPERIMENTOS

Em nosso trabalho, utilizamos algumas ferramentas de TIC para desenvolver três experimentos de Termologia, nomeadamente os experimentos A, B e C, que serão descritos nesta seção. A aquisição de dados desses experimentos é automatizada devido à utilização de sensores de temperatura do tipo LM35 que estão conectados à uma placa Arduino que, por sua vez, está conectada a um computador onde os dados sobre a temperatura em função do tempo dos materiais serão armazenados e analisados. As figuras 4 (a) e 4 (b) exibem, respectivamente, a representação esquemática da conexão de um desses sensores à placa e a especificação dos terminais do sensor de temperatura LM35.

Figura 4: (a) Representação esquemática da conexão de um dos sensores à placa Arduino. Em (b) são mostrados os terminais do sensor LM35. Os dois terminais das extremidades são utilizados na alimentação do sensor e o do meio é responsável pela geração do sinal de tensão proporcional à temperatura. (c) Fotografia mostrando o sensor térmico utilizado para o monitoramento da variação da temperatura da água.



Fonte: Compilação do autor.

Conforme pode ser observado na figura 4 (c), os terminais do sensor LM35 que monitora a variação da temperatura da água devem ser devidamente isolados de modo que não entrem em contato com a umidade, pois isto pode trazer danos irreversíveis para esse dispositivo eletrônico. Para desenvolver essa proteção, foi utilizado um conduíte termo retrátil como a primeira camada que reveste os terminais e uma mangueira cristal como a camada mais externa. Para o fechamento da abertura da extremidade da mangueira, que fica na base do sensor térmico, utilizou-se um pouco de cola quente.

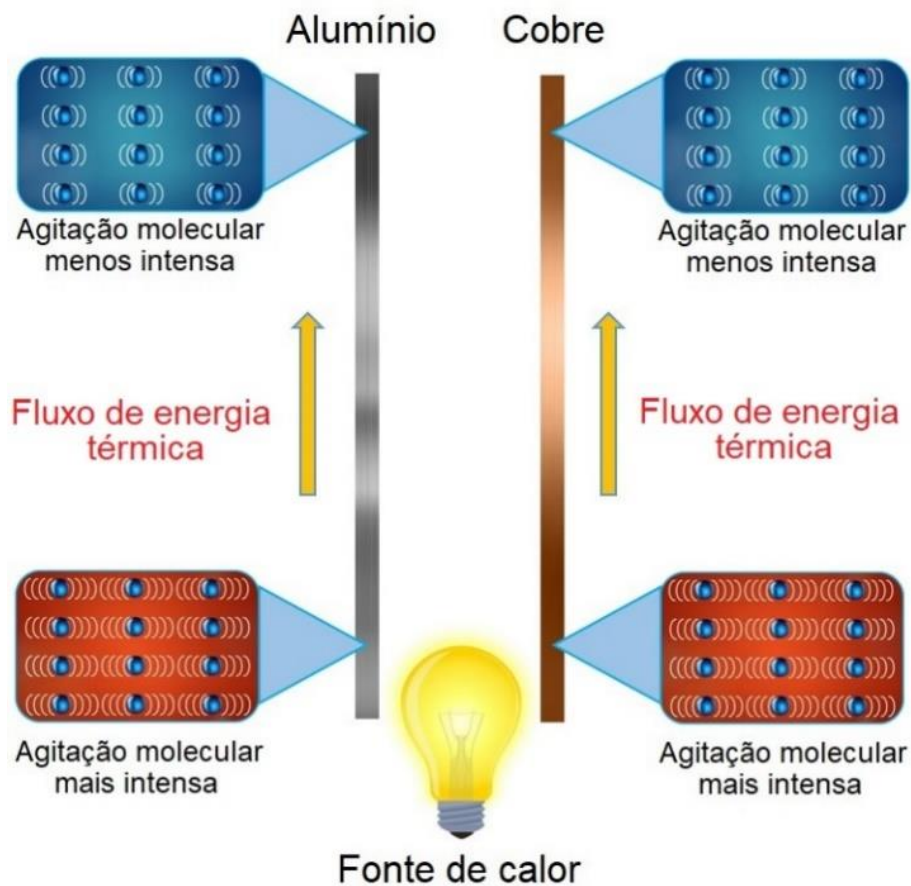
Os roteiros devidamente estruturados de cada um dos experimentos descritos neste capítulo, tanto para o professor quanto para o estudante, são apresentados nos apêndices A e B e constituem parte do produto educacional, que é composto pelos experimentos, roteiros de execução para o docente e roteiros de aplicação em sala de aula.

Ressaltamos que os resultados experimentais serão apresentados no contexto dos “resultados da aplicação”, onde serão apresentadas as curvas de temperatura e as devidas análises dos experimentos ocorridos na sala de aula.

4.1 Experimento A: condução térmica

De acordo com a Segunda Lei da Termodinâmica, o calor sempre se propaga de um ponto com maior temperatura para um ponto de menor temperatura independentemente do processo de propagação de calor. Para ocorrer a condução térmica deve existir um meio material, pois a energia térmica é transmitida de um ponto a outro do material através da agitação molecular e dos choques entre as moléculas. No entanto, é a energia que se propaga; as partes do corpo não se deslocam, havendo apenas agitação molecular, conforme representação esquemática da figura 5.

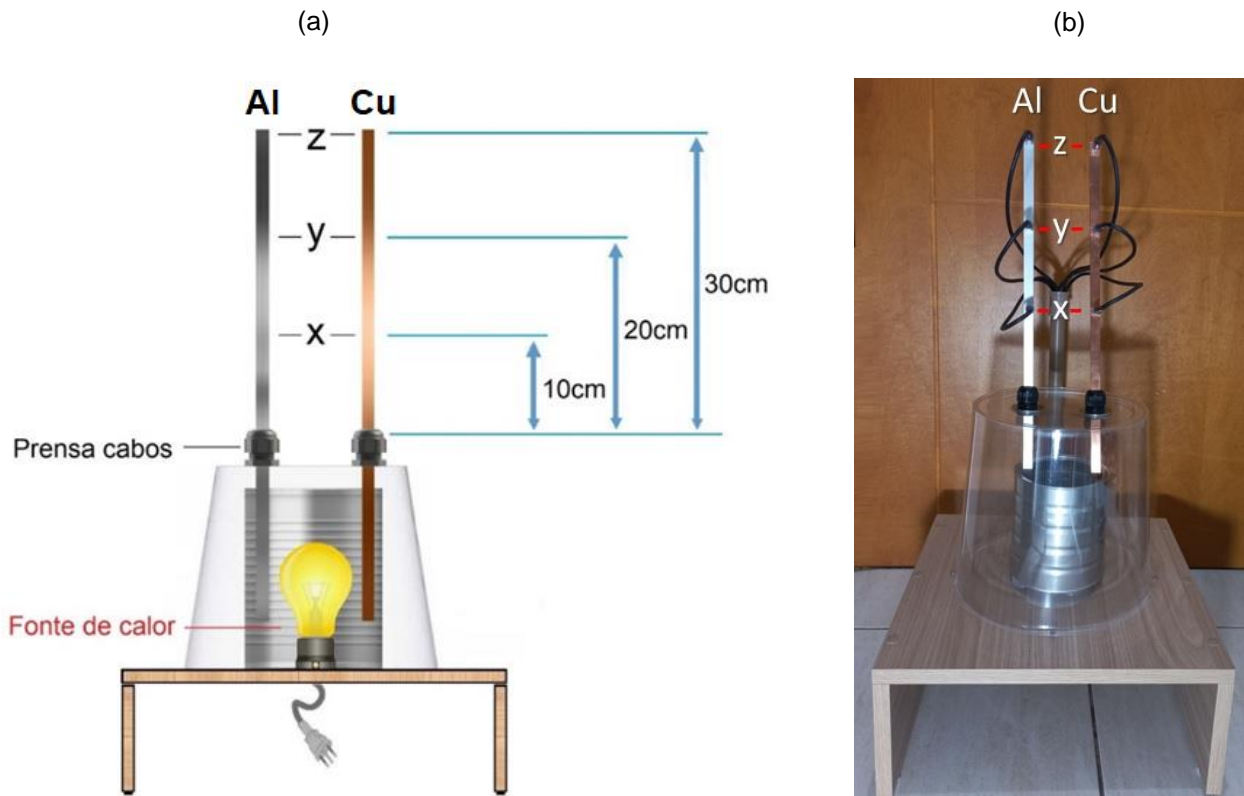
Figura 5: Representação esquemática mostrando a agitação molecular e o sentido do fluxo de energia térmica nas duas barras metálicas.



Fonte: Compilação do autor.

O experimento A visa comparar a condução de calor através de duas barras metálicas com 50cm de comprimento e seção transversal $1/2'' \times 1/8''$, sendo uma delas de alumínio e a outra de cobre. Como fonte de calor utiliza-se uma lâmpada halógena de 70W/110V que está simetricamente posicionada entre as extremidades inferiores das barras metálicas, ambas inicialmente à temperatura ambiente. Cada barra metálica contém três sensores de temperatura fixados nas posições x, y e z, indicadas na representação esquemática da figura 6 (a), que são responsáveis pelo monitoramento das variações das temperaturas em pontos distintos dessas barras. A figura 6 (b) apresenta a foto da configuração do experimento A.

Figura 6: (a) Representação esquemática do experimento A destacando seus elementos e posições. Em (b), a foto mostrando a configuração do experimento.



Fonte: Compilação do autor.

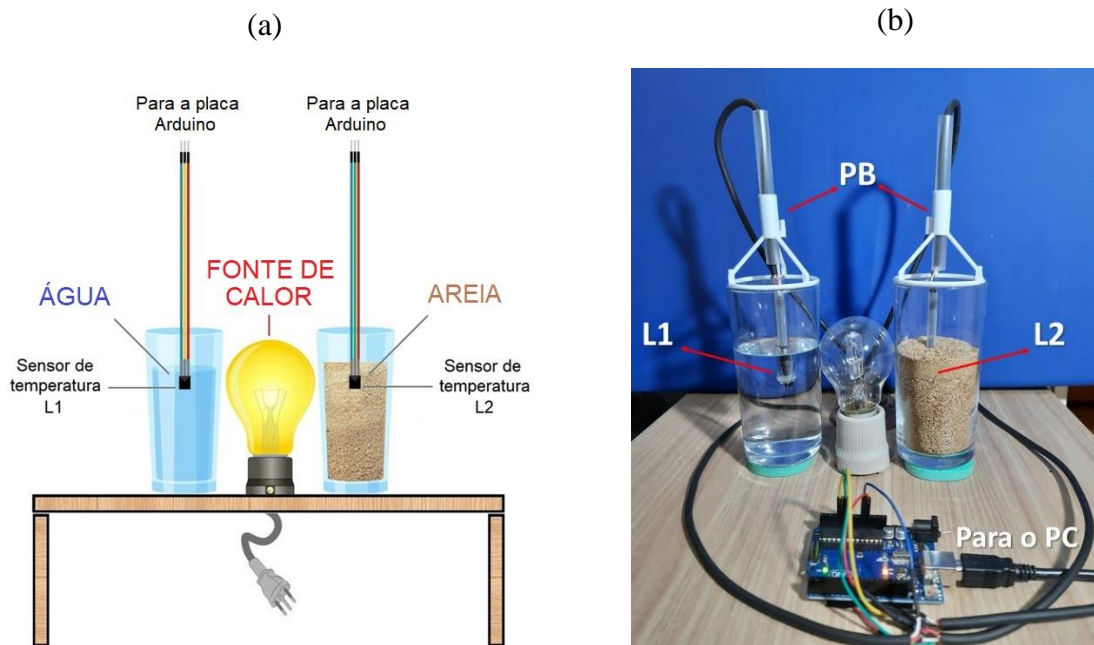
O primeiro passo dessa atividade experimental é iniciar a planilha eletrônica no computador para coletar os dados das temperaturas. Na sequência, a lâmpada halógena é ligada à rede de eletricidade promovendo o aquecimento das barras enquanto o Arduino grava os dados das variações das temperaturas resultantes do monitoramento efetuado pelos sensores térmicos. Após 30 minutos, a lâmpada é desligada e a coleta de dados é encerrada. A aquisição desses dados possibilita a construção das curvas de aquecimento para os diferentes pontos das barras metálicas do alumínio e do cobre permitindo a análise das diferenças de condutibilidade térmica desses materiais.

4.2 Experimento B: curva de aquecimento da água e da areia

O experimento possibilita mostrar, tanto qualitativamente quanto quantitativamente, a diferença entre as variações das temperaturas da água e da areia quando estes materiais são aquecidos simultaneamente pela mesma fonte de calor, e como são resfriados após o desligamento da fonte de calor. Desta forma, pode-se demonstrar aos alunos os comportamentos distintos da dinâmica de aquecimento e resfriamento para água e areia imitando, por exemplo, a condição que leva ao fenômeno que dá origem à brisa da praia que sopra o ar para o mar à noite.

As figuras 7 (a) e 7 (b) exibem, respectivamente, a representação esquemática e a foto da configuração do experimento B. Dois sensores de temperatura, L1 e L2, efetuam o monitoramento das variações de temperatura da água e da areia durante o processo de aquecimento e resfriamento. Para manter esses sensores na posição certa dentro das amostras, usamos dois porta-balões (PB). Como fonte de calor, empregamos uma lâmpada halógena de 70W (110V) simetricamente colocada entre as amostras de água (160g) e areia (260g), ambas inicialmente à temperatura ambiente.

Figura 7: (a) Representação esquemática do experimento destacando seus elementos e posições. Em (b), a foto mostrando a configuração do experimento. L1 e L2 indicam os sensores de temperatura que encontram-se fixados no interior das amostras devido à utilização de dois porta-balões (PB). Na placa Arduino é possível ver as conexões dos cabos apresentadas na figura 1.



Fonte: Compilação do autor.

Primeiramente, a planilha eletrônica deve ser iniciada no computador para coletar os dados das temperaturas. Na sequência a lâmpada é ligada e as temperaturas das amostras começam a aumentar enquanto o Arduino grava os dados. Depois de um dado tempo, a lâmpada é desligada e as temperaturas das amostras começam a diminuir devido à troca de calor com o ambiente. A aquisição desses dados possibilita a construção das curvas de aquecimento e resfriamento da água e areia que permite a análise sobre as taxas de ganho e de perda de energia térmica para esses materiais.

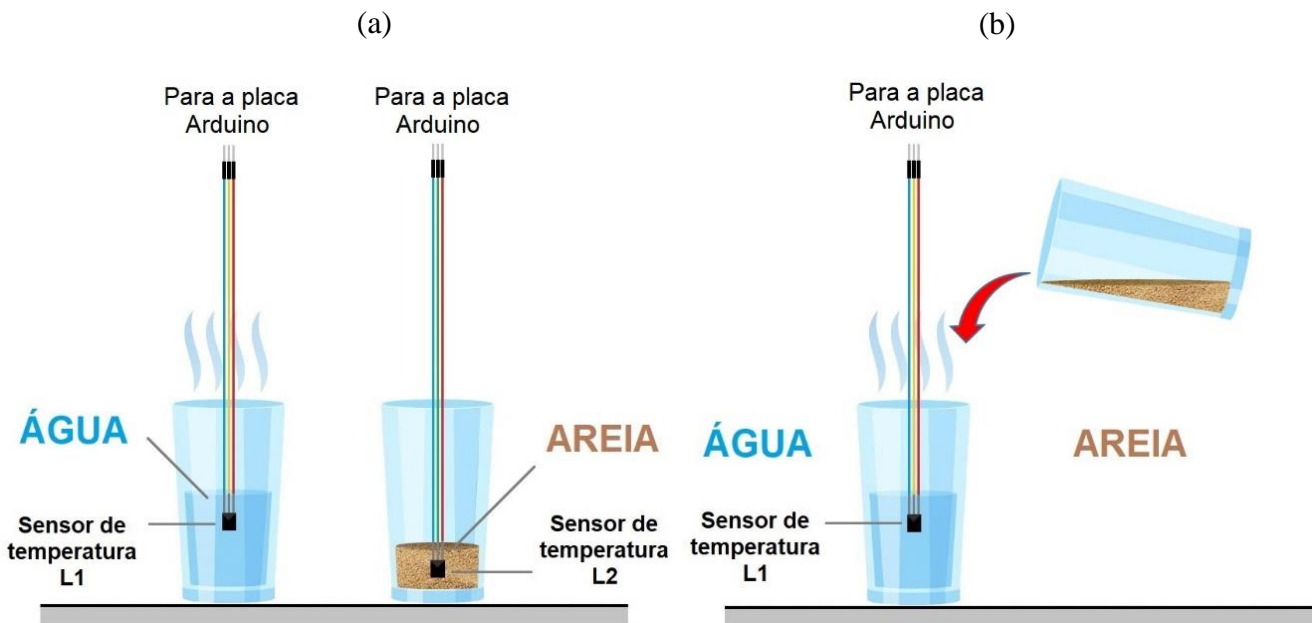
4.3 Experimento C: calor específico

Quando dois ou mais corpos com temperaturas distintas mantêm contato durante certo tempo, eles alcançam a condição de equilíbrio térmico na qual apresentam um mesmo valor de temperatura. Esse é um processo natural que ocorre devido às trocas de calor entre os corpos. O experimento C possibilita a verificação da situação de equilíbrio térmico quando amostras de água e areia com temperaturas diferentes

são misturadas, bem como determinar quantitativamente o calor específico da areia utilizada na atividade experimental.

Para iniciar o experimento, a planilha eletrônica deve ser iniciada no computador para coletar os dados das temperaturas. No passo seguinte, uma amostra de 190 g de água quente (temperatura $\approx 65\text{ }^{\circ}\text{C}$) e outra amostra de 90 g de areia são separadas em copos de vidro distintos. O sensor térmico L1 possibilita que a variação de temperatura da água seja monitorada durante o processo de resfriamento enquanto o sensor térmico L2 afere a temperatura da areia, que se encontra à temperatura ambiente. Quando a temperatura da água já tiver diminuído cerca de $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, a amostra de areia é inserida no mesmo copo que contém a água e a mistura começa a trocar calor até que o equilíbrio térmico entre esses materiais se estabelece. É importante ressaltar que durante esse processo ocorrem trocas de calor com o meio ambiente uma vez que não é usado um calorímetro. Com isso, visamos apresentar uma proposta um pouco mais próxima de um evento real que ocorre na natureza, onde as trocas de calor entre tais elementos acontecem a todo instante. As figuras 8 (a) e 8 (b) destacam, respectivamente, as representações esquemáticas do experimento C e do procedimento de mistura da areia com a água.

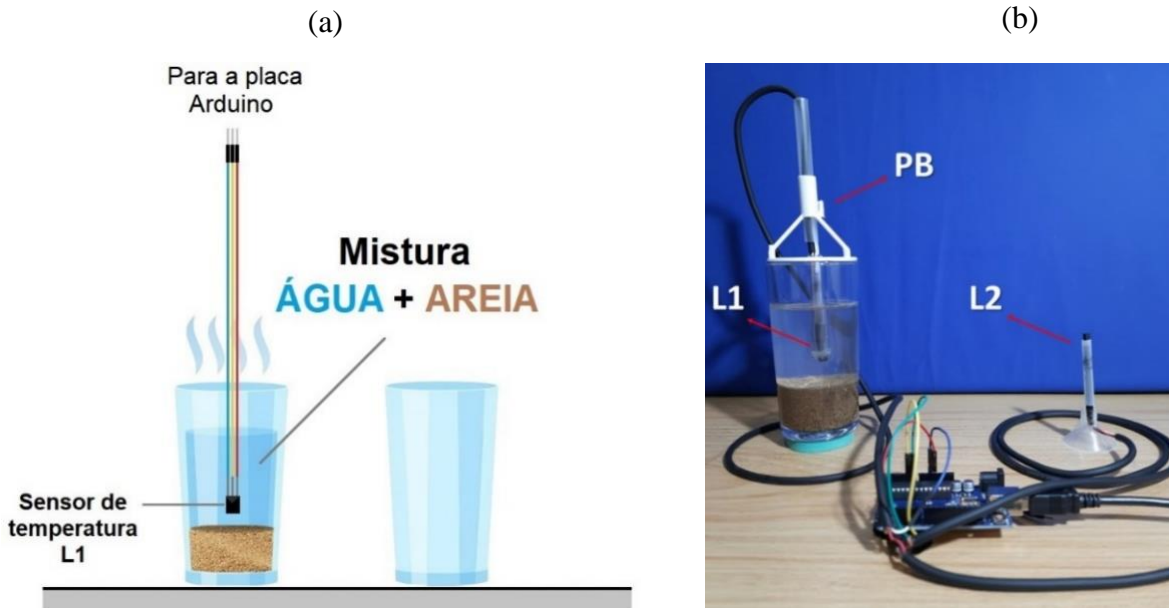
Figura 8: (a) Representação esquemática do experimento destacando seus elementos e posições. Em (b), a representação esquemática da introdução da areia no copo que contém a água.



Fonte: Compilação do autor.

Depois que o equilíbrio térmico entre água e areia é alcançado, a mistura é deixada esfriar cerca de $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ para que a aquisição de dados seja concluída. As figuras 9 (a) e 9 (b) ilustram, respectivamente, a representação esquemática do monitoramento da variação da temperatura da mistura durante o processo da troca de calor entre água e areia e a foto mostrando a configuração do experimento com a amostra de areia na água. Nesse momento da experimentação, o sensor L2 está medindo a temperatura ambiente.

Figura 9: (a) Representação esquemática do monitoramento da temperatura da mistura da água e da areia. Em (b), a foto mostrando a configuração do experimento C com o amostra de areia na água. Neste momento da atividade experimental, o sensor térmico L1 está monitorando a variação de temperatura da mistura da água com a areia.



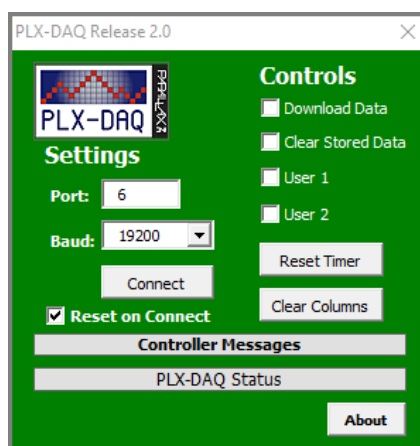
Fonte: Compilação do autor.

A aquisição de dados automatizada deste experimento nos permite obter as informações das temperaturas da água e da areia ao longo da experimentação e da mistura de ambos necessárias ao cálculo do calor específico da areia que será apresentado posteriormente.

4.4 Ferramenta de software do Arduino

A ferramenta que permite a aquisição dos dados diretamente para o Excel possibilitando o acompanhamento dessas informações em tempo real pelo professor e seus estudantes é o Parallax Data Acquisition (PLX-DAQ). Esse software gratuito trabalha com canais de dados dispostos em colunas, o que favorece a elaboração de gráficos e realização de cálculos.

Figura 10: Ferramenta de software do Arduino.



Fonte: Tela de abertura do PLX-DAQ.

CAPÍTULO 5: RESULTADOS DOS EXPERIMENTOS E DE SUAS APLICAÇÕES

Neste capítulo serão discutidos os resultados dos experimentos e de suas aplicações. O desenvolvimento das experimentações do nosso produto educacional ocorreu no segundo bimestre de 2021 no colégio da rede privada de ensino da cidade de Paulínia, localizada no interior de São Paulo. Foi selecionada a turma do segundo ano do ensino médio, que possui um total de 20 alunos. A referida turma foi escolhida porque a Termologia, tema abordado nesse produto, integra os conteúdos vistos nessa série do ensino médio, conforme previsto pela BNCC (2018).

No início de cada aula os alunos receberam o roteiro disponível no apêndice B que contém, entre outras coisas, um questionário diagnóstico acerca dos conceitos básicos da Termologia para que fossem avaliados os conhecimentos prévios sobre o tema proposto pela prática experimental, possibilitando ao professor programar-se para atender os pontos mais frágeis dos saberes dos discentes.

5.1 Resultados do experimento A: condução térmica

O experimento A permitiu comparar a condução de calor em metais distintos: o cobre e o alumínio. Nesse contexto, ressalta-se que um material que transfere facilmente energia por condução é um bom condutor de calor e tem um alto valor de k (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2009). A tabela 2 indicada a seguir apresenta as condutividades térmicas de alguns metais.

Tabela 2 - Algumas Condutividades Térmicas.

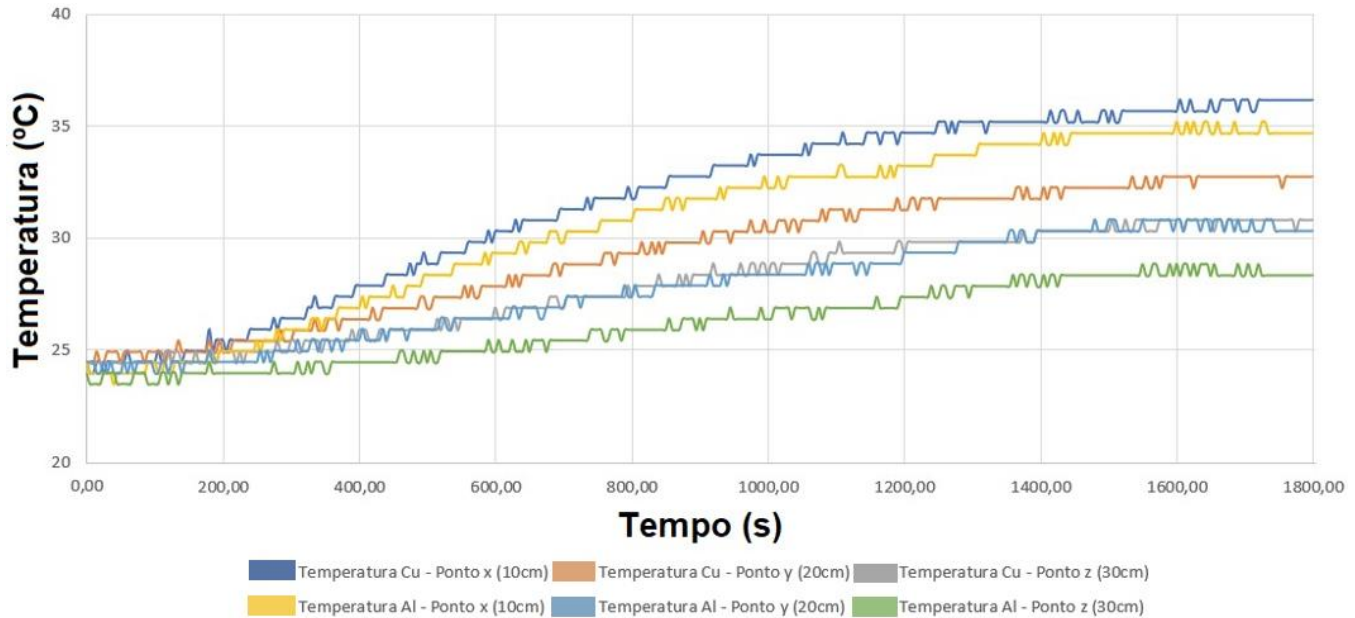
Substância	$k(\text{W/m.K})$
Metais	
Aço inoxidável	14
Chumbo	35
Ferro	67
Latão	109
Alumínio	235
Cobre	401
Prata	428

Fonte: (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2009, p. 200).

Analisando as condutividades térmicas apresentadas na tabela 2, verifica-se que o cobre é melhor condutor térmico que o alumínio. Nossa proposta é constatar experimentalmente a diferença da condução de calor nesses metais a partir da análise de suas curvas de aquecimento obtidas simultaneamente e provocadas pela mesma fonte de calor. A utilização de seis sensores de temperatura conectados à placa

Arduino possibilitou a aquisição automatizada dos dados de temperatura de diferentes pontos das barras metálicas e permitiu a construção das curvas de aquecimento do cobre e alumínio em tempo real, de acordo com a figura 11.

Figura 11: Temperatura versus tempo para o experimento de aquecimento do cobre e do alumínio.



Fonte: Compilação do autor.

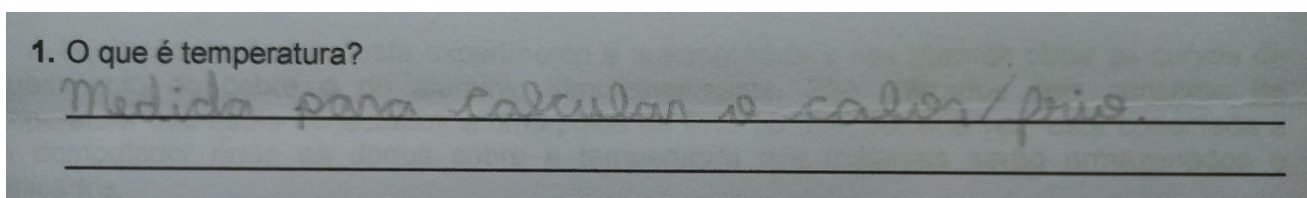
As curvas de aquecimento dos pontos x, y e z dos metais evidenciaram que o cobre aqueceu mais rapidamente que o alumínio, conforme previa a teoria.

5.1.1 Resultados da aplicação do experimento A: condução térmica

No início da aula, os alunos responderam um questionário diagnóstico contido no roteiro que revelou aspectos importantes sobre os conhecimentos prévios deles acerca da temperatura e do calor, que são conceitos importantes relacionados à condução térmica abordada pelo experimento A.

A seguir temos uma resposta de um estudante referente à primeira questão.

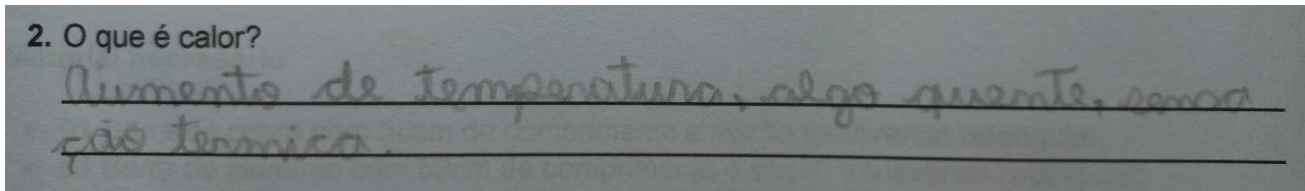
Figura 12: Resposta apresentada por um estudante relacionada à primeira questão, que abordou o conceito da temperatura.



Conforme observado, a resposta desse estudante apresenta uma definição de temperatura que está distante daquela apresentada pela teoria cinética, que relaciona essa grandeza escalar ao grau de agitação das moléculas de um determinado sistema físico. Nenhum dos alunos que participou dessa

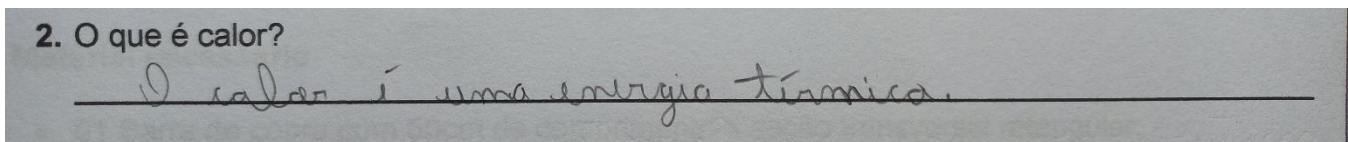
experimentação apresentou uma definição adequada do ponto de vista científico. Com relação à segunda questão, que aborda o conceito de calor, tivemos respostas distantes e outras mais próximas da definição científica. A figura 13 apresenta a resposta de um estudante que ainda não compreendia o conceito de calor adequadamente.

Figura 13: Resposta apresentada por um estudante relacionada à segunda questão, que está mais distante da definição científica.



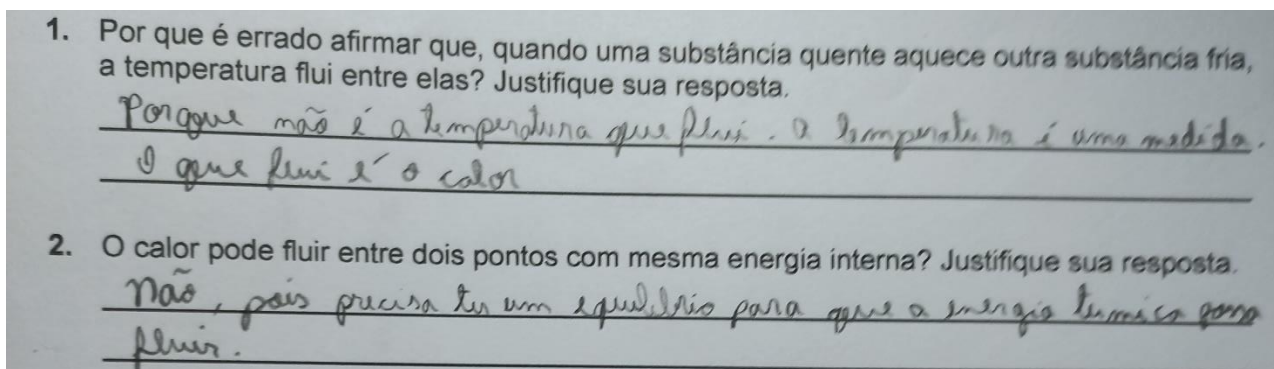
Em contraste, apresentamos a resposta de outro estudante referente à segunda questão que chegou mais perto da definição científica do calor, que pode ser conceituado como energia térmica em trânsito.

Figura 14: Resposta apresentada por um estudante relacionada à segunda questão, que está mais próxima da definição científica.



Na sequência da aula, uma discussão sobre os conceitos da temperatura e do calor foi realizada possibilitando a mediação do conhecimento científico pelo professor, que contou com a colaboração dos alunos mais aptos para auxiliar naquele momento. Concluída essa etapa, o experimento A foi desenvolvido em sala de aula pelo professor em conjunto com os alunos. Essa atividade, que possibilitou a comparação da condução de calor pelo cobre e alumínio através das curvas de aquecimento desses metais, apresentou resultados muito satisfatórios já que todos os alunos que participaram responderam corretamente a maioria das questões pertinentes à análise dos resultados experimentais. A figura 15 apresenta as respostas dadas por um estudante e que comprovam o aprendizado dos conceitos propostos pela experimentação.

Figura 15: Respostas relacionadas à análise dos resultados experimentais apresentadas por um estudante.



3. Por que para se mexer continuamente um alimento de cozimento demorado não se recomenda a utilização de um talher metálico?

Porque o talher vai esquentar e pode queimar a mão. Esses materiais conduzem energia muito rápido e esquentam muito.

4. O que é o fenômeno da condução térmica?

É a forma que o calor é transmitido de um ponto à outro, usando a agitação molecular e choques entre as moléculas.

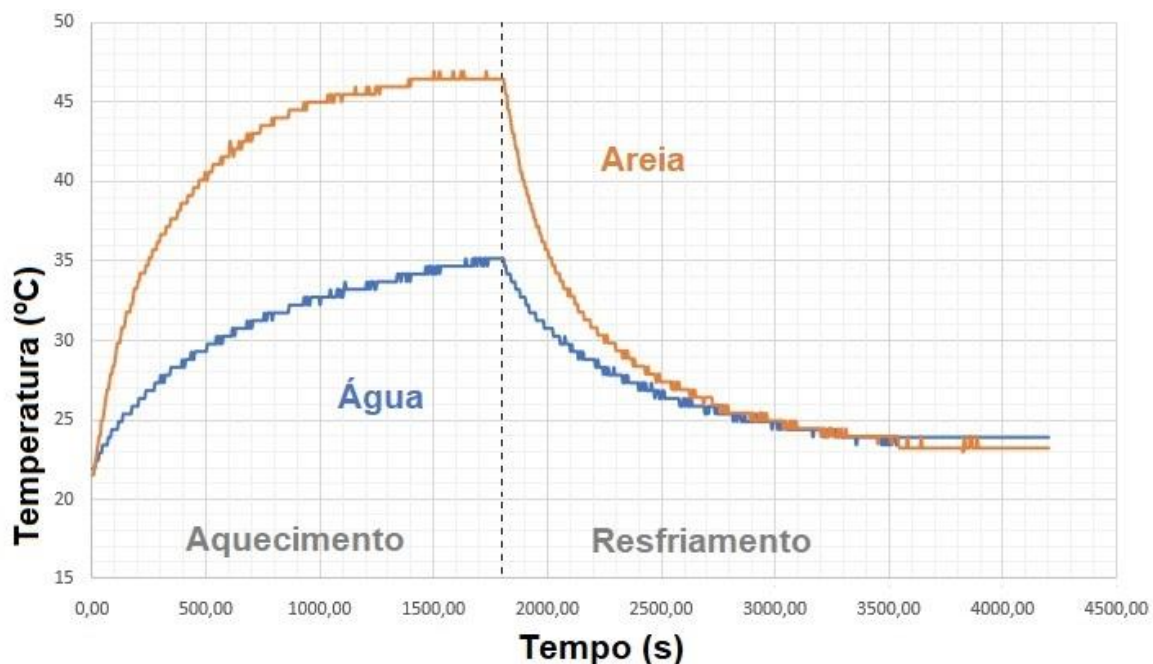
5. Materiais distintos quando são aquecidos ou resfriados simultaneamente por uma mesma fonte de calor sofrem variações de temperaturas iguais ou diferentes? Justifique sua resposta.

Diferentes, pois cada material tem sua propriedade térmica, condução de energia e agitação molecular.

5.2 Resultados do experimento B: curva de aquecimento da água e da areia

O experimento B possibilitou verificar junto aos estudantes, tanto qualitativamente quanto quantitativamente, a diferença entre as variações da temperatura da água e da areia quando estes materiais são aquecidos simultaneamente pela mesma fonte de calor e como são resfriados após o desligamento da fonte de calor. A aquisição automatizada dos dados de temperatura permitiu a construção das curvas de aquecimento da água e areia em tempo real, conforme a figura 16.

Figura 16: Temperatura versus tempo para o experimento de aquecimento e resfriamento da água (azul) e areia (laranja).



Fonte: Compilação do autor.

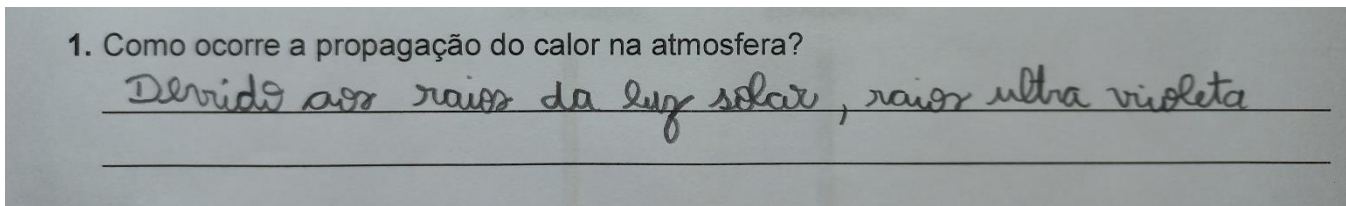
Como é possível constatar a partir das curvas de aquecimento, a areia aquece e esfria mais rapidamente do que água, ou seja, a taxa de ganho e de perda de energia térmica para a areia é maior quando comparada à da água. Após 30 minutos de aquecimento, a temperatura da areia supera a da água em aproximadamente 11°C . Na metade final da figura 10 (após 3500s), a areia esfria mais rápido que a água e já apresentava uma temperatura mais baixa.

5.2.1 Resultados da aplicação do experimento B: curva de aquecimento da água e da areia

No início da aula, os alunos responderam um questionário diagnóstico contido no roteiro que revelou aspectos importantes sobre os conhecimentos prévios deles acerca da propagação de calor na atmosfera e a influência do calor específico da água e da areia na temperatura ambiente, que são temas importantes para introduzir o estudo sobre as curvas de aquecimento da água e da areia abordadas pelo experimento B.

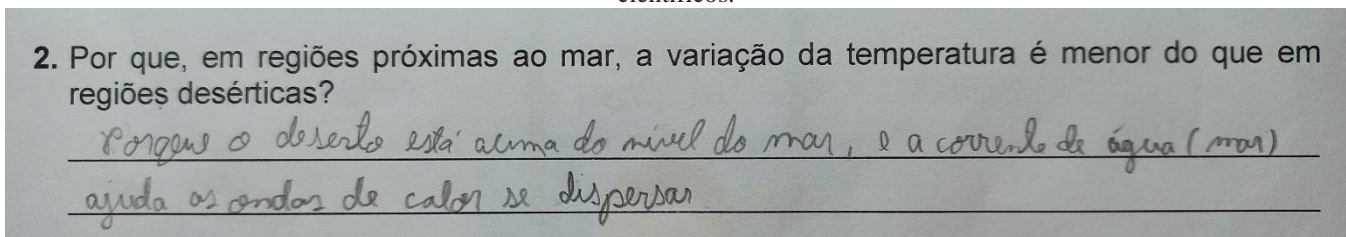
A seguir temos uma resposta de um estudante referente à primeira questão.

Figura 17: Resposta apresentada por um estudante relacionada à primeira questão, que abordou a propagação de calor.



Conforme observado, a resposta desse estudante apresenta uma definição sobre a propagação de calor que está distante daquela apresentada pela literatura científica. Nenhum dos alunos que participou dessa experimentação apresentou uma definição adequada do ponto de vista científico. Com relação à segunda questão, que aborda a influência do calor específico da água e da areia na temperatura ambiente, tivemos respostas distantes e outras mais próximas da definição científica. A figura 18 apresenta a resposta de um estudante que ainda não compreendia a relação entre o calor específico e a temperatura do ambiente.

Figura 18: Resposta apresentada por um estudante relacionada à segunda questão, que está mais distante dos conceitos científicos.



Em contraste, apresentamos a resposta de outro estudante referente à segunda questão que chegou mais perto da definição científica.

Figura 19: Resposta apresentada por um estudante relacionada à segunda questão, que está mais próxima da definição científica.

2. Por que, em regiões próximas ao mar, a variação da temperatura é menor do que em regiões desérticas?

Poris a água do mar ajuda na variação de temperatura, demora para esquentar e demora para esfriar.

Na sequência da aula, uma discussão sobre a propagação de calor na atmosfera e a influência do calor específico da água e da areia na temperatura ambiente foi realizada possibilitando a mediação do conhecimento científico pelo professor, que contou com a colaboração dos alunos mais aptos para auxiliar naquele momento. Concluída essa etapa, o experimento B foi desenvolvido em sala de aula pelo professor em parceria com os alunos. Essa atividade possibilitou mostrar, tanto qualitativamente quanto quantitativamente, a diferença entre as variações das temperaturas da água e da areia quando estes materiais foram aquecidos simultaneamente pela mesma fonte de calor e como resfriaram após o desligamento da fonte de calor. Os resultados obtidos foram muito satisfatórios já que todos os alunos que participaram responderam corretamente às questões pertinentes à análise dos resultados experimentais. A figura 20 apresenta as respostas de um estudante que comprovam o aprendizado dos conceitos propostos pela experimentação.

Figura 20: Respostas apresentadas por um estudante relacionadas à análise dos resultados experimentais.

1. Quando a água e areia foram expostos à mesma fonte de calor, qual material alcançou a maior temperatura?

A areia

2. Quando a fonte de calor foi desligada qual substância reduziu mais rapidamente a temperatura?

A areia

3. De acordo com as dinâmicas de aquecimento e resfriamento da água e da areia observadas qual substância possui maior calor específico? Justifique sua resposta.

A água, pois ela demorou mais tempo para atingir certa temperatura, possuindo maior calor específico.

4. O que é o fenômeno da convecção térmica?

A movimentação de um fluido, fazendo com que o ar frio desça e o quente suba de acordo com suas densidades.

5. Durante o dia a brisa sopra do mar para a praia. Já à noite, essa brisa sopra em sentido contrário, da praia para o mar. Por que isso acontece? Justifique sua resposta.

Devido à convecção térmica e a calor específico, durante o dia o sol aquece a areia mais rápido fazendo com que a massa de ar quente suba e o ar que vem do mar esteja mais frio, e de noite o mar demora mais tempo para perder a temperatura, faz a areia esfriar mais rápido, fazendo com que a massa de ar tenha efeito contrário.

Essa situação de concretização experimental possibilitou a introdução do conceito de calor específico dos materiais, que é amplamente abordado pelo experimento C, justificando a diferença observada no comportamento térmico das amostras em estudo. Ainda discutimos com os estudantes sobre o fenômeno onde o sol aquece a areia da praia mais rapidamente que a água do mar. Consequentemente, o ar acima da areia aquece mais rápido que o ar acima da água e um processo de convecção ocorre na região de areia. A convecção, por sua vez, faz com que o ar acima da areia suba, sendo substituído pelo ar que estava acima da água. Isso dá origem a uma brisa que sopra em direção ao continente. Durante a noite, a areia esfria mais rápido que a água e a brisa sopra na direção oposta.

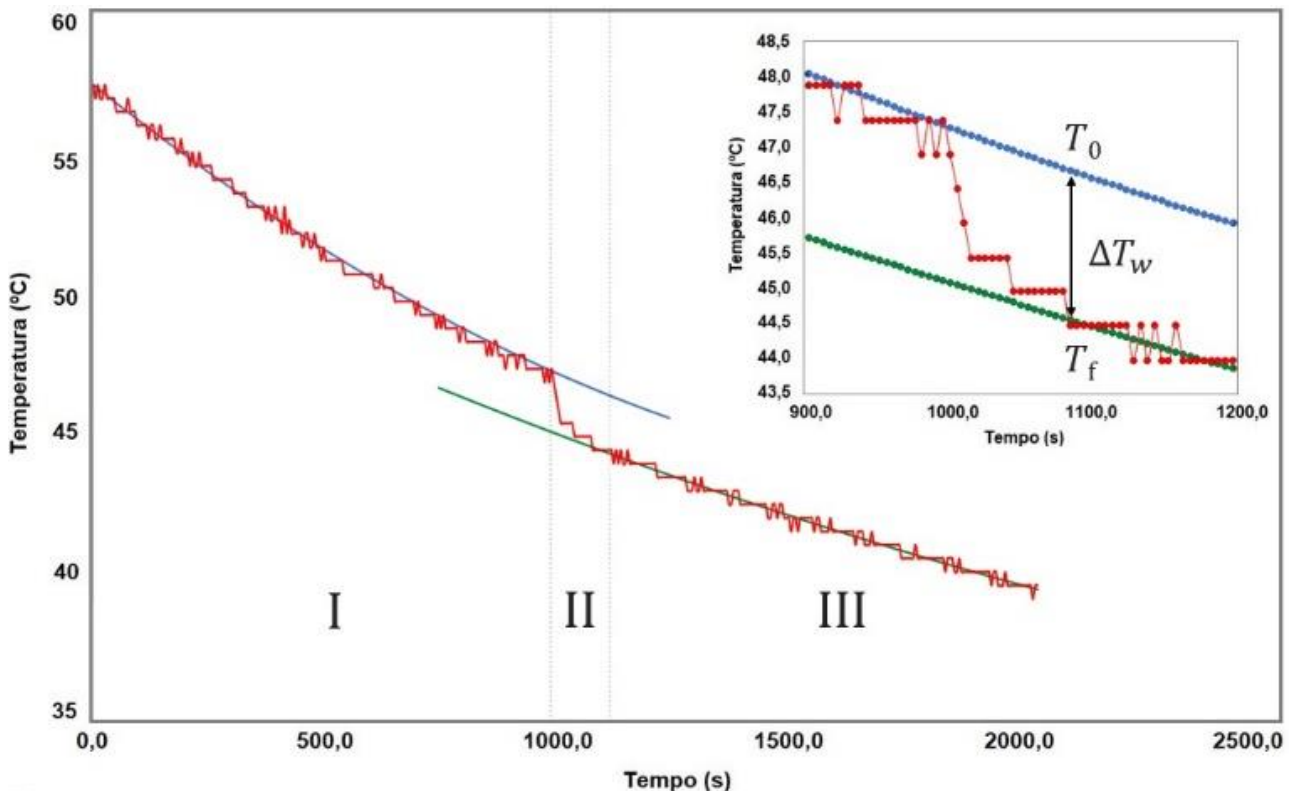
5.3 Resultados do experimento C: calor específico

O desenvolvimento do experimento C permitiu determinar quantitativamente o calor específico de uma amostra de areia sem a utilização de um calorímetro, bem como demonstrar experimentalmente a razão pela qual a areia esquenta mais rápido do que a água quando ambos são aquecidos por uma mesma fonte de calor.

A Figura 21 destaca três regiões distintas do gráfico obtido experimentalmente. A região I mostra os dados quando apenas a água é resfriada devido à interação com o meio ambiente. A região II mostra os dados quando a mistura água-areia está trocando calor em direção ao equilíbrio térmico. Por fim, a região III mostra os dados após o equilíbrio térmico ser alcançado, isto é, quando a mistura está apenas trocando calor com o ambiente.

Para análise de dados, levamos em consideração duas aproximações. A primeira é necessária porque intencionalmente não utilizamos um calorímetro. Nesta aproximação, consideramos que durante o intervalo de tempo em que a mistura de água-areia evolui para o equilíbrio térmico (região II na figura 21), a taxa da troca de calor com o meio ambiente continua a mesma daquela apresentada na região I. A ausência de um calorímetro torna nossa proposta um pouco mais próxima de uma situação realista, onde a troca de calor ocorre não só entre a água e a areia, mas também entre a mistura e o ambiente durante todo o experimento, e recomendamos que os professores explorem esta condição.

Figura 21: Temperatura versus tempo para o processo de resfriamento para a água (I), o equilíbrio térmico para a mistura da água e da areia (II) e o processo de resfriamento da mistura da água e da areia após o equilíbrio térmico (III). Detalhe superior direito mostra uma ampliação da área em torno da região II.



Fonte: Compilação do autor.

A segunda aproximação, que está relacionada com a primeira, permite determinarmos como a temperatura do sistema (região I) evoluiria se a areia não fosse misturada com a água. De modo específico, essa aproximação envolve o ajuste da função exponencial da Lei de Resfriamento de Newton por um polinômio de segundo grau e tem um papel importante para os alunos do ensino médio, tendo em vista que eles geralmente estão mais familiarizados com funções polinomiais de segunda ordem do que com funções exponenciais. Além disso, as planilhas eletrônicas disponíveis para análise de dados geralmente não permitem que o usuário ajuste curvas usando uma função matemática relacionada à Lei de resfriamento de Newton. Assim, essa aproximação tornou nossa proposta adequada para uso em seu formato completo nas escolas secundárias.

Para analisarmos essa variação de temperatura, devemos aplicar a Lei de Resfriamento de Newton que, segundo Zill e Cullen (2001), estabelece que a taxa de variação de temperatura de um corpo em resfriamento é proporcional à diferença entre a temperatura do corpo e a temperatura do meio ambiente:

$$\frac{dT}{dt} = -k \cdot (T - T_m) \quad , \quad (13)$$

onde $T = T(t)$ é a temperatura do corpo em dado instante, T_m é a temperatura constante do meio ambiente

e k é uma constante de proporcionalidade. O sinal negativo dessa constante indica que a temperatura do corpo está diminuindo no decorrer do tempo.

Resolvendo a equação diferencial ordinária descrita pela Lei de Resfriamento de Newton, obtemos:

$$T(t) = (T_0 - T_m) \cdot e^{-k \cdot t} + T_m, \quad (14)$$

onde T_0 é a temperatura inicial do sistema, T_m é a temperatura constante do meio ambiente, k é uma constante de proporcionalidade e t é o tempo em segundos.

A temperatura ambiente no decorrer dessa experimentação era de 26,39 °C enquanto a temperatura da água, que inicialmente era de 57,67 °C, caiu para 47,41 °C após 960 s. Com isso, calculamos o valor de k , cujo resultado foi $k = 0,000414/s$. De posse desses dados experimentais, escrevemos a função exponencial que descreve a variação da temperatura da água (região I):

$$T(t) = 31,28 \cdot e^{-0,000414 \cdot t} + 26,39. \quad (15)$$

Existem diversas maneiras de se aproximar funções por polinômios. Nesse contexto, destacam-se as séries de Taylor que, segundo Stewart (2016), podem ser escritas como:

$$f(x) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{f^{(n)}(0)}{n!} x^n = f(0) + \frac{f'(0)}{1!} x + \frac{f''(0)}{2!} x^2 + \dots \quad (16)$$

Fazendo uso dessa expansão polinomial de Taylor para a função exponencial (15), podemos obter um polinômio que representa a variação da temperatura. Efetuando os cálculos, obtemos $f(0) = 57,7$, $f'(0) = 1,3 \cdot 10^{-2}$, $f''(0) = 5,4 \cdot 10^{-6}$. Neste caso, como a taxa de decaimento da função exponencial é pequena, o polinômio pode ser truncado após o termo de segunda ordem dessa série sem implicar numa mudança significativa do ajuste da curva quando comparamos à lei de resfriamento de Newton.

A linha azul contínua na figura 21 é a representação gráfica do ajuste polinomial de segunda ordem dos dados experimentais da região I, cuja função é a seguinte:

$$T_I(t) = 2,7 \cdot 10^{-6} t^2 - 1,3 \cdot 10^{-2} t + 57,7. \quad (17)$$

Esta função nos permite extrapolar a temperatura até o instante em que o equilíbrio térmico é alcançado entre a água e a areia (T_0 em destaque na figura 21, que seria a temperatura que a água teria nesse instante, devido às trocas de calor com o meio, se a areia não tivesse sido misturada). Isso garante

que a energia térmica perdida para o meio ambiente durante este processo é levada em consideração o que, em outros termos, substitui o calorímetro.

A linha verde contínua é um ajuste polinomial para região III que nos permite determinar a temperatura da mistura da água e da areia no instante em que o equilíbrio térmico entre essas substâncias é alcançado (T_f). A função polinomial de segunda ordem é:

$$T_{III}(t) = 8,55 \cdot 10^{-7}t^2 - 7,98 \cdot 10^{-3}t + 52,22 . \quad (18)$$

T_f e T_0 delimitam as regiões II e III. Para obtermos a função polinomial da equação (18), representada pela curva verde da figura 21, levamos em consideração apenas a parte dos dados do final da curva que mostra visualmente uma pequena constante de decaimento quando comparada àquela da região II. Assim, ao sobrepor esta função de ajuste polinomial para os dados experimentais das regiões II e III, obtemos T_f , isto é, quando as curvas vermelha e verde se interceptam (ver detalhe da figura 21). Isso nos dá o tempo quando o equilíbrio térmico é alcançado, e podemos determinar T_f .

Depois disso, aplicando a conservação de energia para a região II é possível escrever:

$$Q_w + Q_s = 0, \quad (19)$$

onde Q_w é a energia térmica perdida pela água e Q_s é a energia térmica recebida pela areia.

Desenvolvendo a equação (19), obtemos a equação (20) que possibilita a determinação do específico calor da areia (c_s):

$$c_s = - \frac{m_w c_w \Delta T_w}{m_s \Delta T_s}, \quad (20)$$

onde c_w é o calor específico da água, m_w é a massa da água, $\Delta T_w = T_f - T_0$ é a variação de temperatura da água resultante da troca de calor com a areia (conforme indicado no detalhe da figura 21), m_s é a massa da areia e $\Delta T_s = T_f - T_{0s}$ é a variação de temperatura da areia até atingir o equilíbrio térmico com a água (T_{0s} é temperatura inicial da areia).

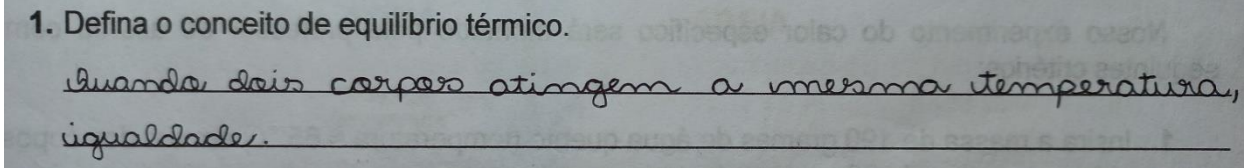
Segundo Rodrigues e seus colaboradores (2017), o calor específico da areia equivale a 800 J/kg.K no SI, o que corresponde a 0,19 cal/g.°C no sistema usual de unidades. Em nosso experimento, utilizamos 190 g de água e 90 g de areia, que estava com temperatura inicial $T_{0s} = 25,6$ °C (temperatura ambiente). Sabendo-se que a temperatura de equilíbrio térmico alcançada foi de 44,97 °C, obtemos o calor específico da amostra de areia $c_s = 0,21$ cal/g.°C, que é um resultado muito próximo do real.

5.3.1 Resultados da aplicação do experimento C: calor específico

No início da aula, os alunos responderam um questionário diagnóstico contido no roteiro que revelou aspectos importantes sobre os conhecimentos prévios deles acerca do conceito de equilíbrio térmico, que é um tema importante relacionado ao procedimento de determinação do calor específico a partir das trocas de calor entre dois corpos abordado pelo experimento C.

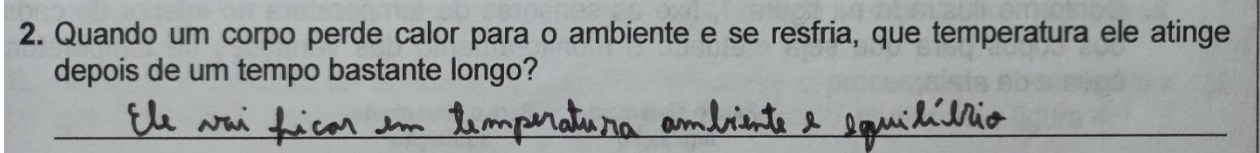
A seguir temos uma resposta de um estudante referente à primeira questão.

Figura 22: Resposta apresentada por um estudante relacionada à primeira questão, que abordou o equilíbrio térmico.



Conforme observado, a resposta desse estudante apresenta uma definição sobre equilíbrio térmico que está próxima daquela apresentada pela literatura científica. A maioria dos alunos que participou dessa experimentação apresentou uma definição adequada do ponto de vista científico. Com relação a segunda questão, que também aborda o equilíbrio térmico sob outra perspectiva, novamente tivemos a maioria das respostas próximas da definição científica. A figura 23 apresenta a resposta de um estudante que demonstrou compreender a ideia do equilíbrio térmico.

Figura 23: Resposta apresentada por um estudante relacionada à segunda questão, que está próxima da definição científica.



Na sequência da aula, uma discussão sobre equilíbrio térmico foi realizada possibilitando a mediação do conhecimento científico pelo professor, que contou com a colaboração dos alunos mais aptos para auxiliar naquele momento. Concluída essa etapa, o experimento C foi desenvolvido em sala de aula pelo professor em parceria com os alunos. Essa atividade permitiu a determinação quantitativa do calor específico de uma amostra de areia. Os resultados obtidos foram muito satisfatórios já que todos os alunos que participaram responderam corretamente as questões pertinentes à análise dos resultados experimentais. A figura 24 apresenta as respostas dadas por um estudante que comprovam o aprendizado dos conceitos propostos pela experimentação.

Figura 24: Respostas apresentadas por um estudante relacionadas à análise dos resultados experimentais.

1. Com base nos dados experimentais, calcule o calor específico da areia.

$$C_s = \frac{m_w \cdot C_w \cdot \Delta T_w}{m_s \cdot \Delta T_s} = \frac{190,1 \cdot 1,95}{90 \cdot 19,37}$$

$$C_s = \frac{m_w \cdot C_w \cdot (T_{fw} - T_{ow})}{m_s \cdot (T_{fs} - T_{os})} \quad C_s = \frac{370,5}{1.743,3} = 0,21$$

$$C_s = \frac{190,1 \cdot (44,97 - 46,92)}{90 \cdot (44,97 - 25,6)} = 0,21$$

2. O valor do calor específico obtido experimentalmente coincide com o que era esperado para areia? Para responder a essa pergunta, compare esse valor com aquele apresentado em seu livro.

Sim, pois o valor esperado era 0,19

3. O desenvolvimento do experimento em sala de aula colaborou com a construção do seu aprendizado sobre o tema da Termologia? Concordo Discordo. Justifique.

A pratica, mostrando ao vivo, passo a passo fica bem mais claro

4. As Tecnologias da Informação e Comunicação são ferramentas que devem ser exploradas no ensino de Física? Concordo Discordo. Justifique.

Algo mais "vivo", graficos, planilhas mostrando resultados. Te ajuda bem mais no ensino e pratica

Essa situação de concretização experimental mostrou experimentalmente a razão pela qual a areia esquenta mais rápido do que a água quando ambos são aquecidos por uma mesma fonte de calor.

CONCLUSÕES

As respostas dos estudantes dadas nos questionários presentes no início de cada um dos roteiros foram muito importantes, pois possibilitaram a demarcação dos pontos de partida das discussões dos conceitos científicos, respeitando as limitações dos conhecimentos prévios deles pertinentes à cada um dos temas da Termologia abordados pelos experimentos A, B e C. Com isso, as abordagens dos diferentes conceitos físicos alcançaram uma maior eficácia que favoreceu a construção dos novos conhecimentos dos discentes.

A combinação de elementos das TIC's de baixo custo, que integram cada uma das experimentações propostas, foram capazes de dar às aulas de Física um caráter inovador que despertou o interesse dos discentes, uma vez que as tecnologias estão muito presentes no cotidiano da maioria das pessoas. Durante todas as atividades experimentais, constatou-se uma grande interação e participação dos estudantes, que fizeram muitas perguntas relevantes que enriqueceram as discussões.

O desenvolvimento das experimentações evidenciou o enorme potencial que a placa de Arduino tem para o ensino da Física devido à sua versatilidade de se enquadrar em diversos contextos de aplicações experimentais que visam a verificação qualitativa ou quantitativa de conceitos científicos ou Leis da Física. No caso específico das nossas aplicações, a referida ferramenta tecnológica possibilitou a aquisição de dados de temperatura de forma automatizada e a construção de gráficos de temperatura em tempo real que promoveu a concretização de algumas propriedades e fenômenos térmicos abstratos.

Por fim, ressaltamos que nosso produto educacional é capaz de apresentar a disciplina de uma forma que pode ser mais atraente, promovendo a reflexão de conceitos científicos a partir de elementos do cotidiano dos estudantes. Conforme mencionado, nosso trabalho apoia-se na realização de atividades experimentais dentro do tema da Termologia utilizando meios tecnológicos que, segundo os Parâmetros Curriculares Nacionais, devem ser estimulados dentro do contexto do ensino de matemática, ciências da natureza e suas tecnologias.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, R. *et al.* Simulação do Efeito Estufa, da intensificação do Efeito Estufa pela presença de CO₂ e do impacto da mudança da cobertura da Terra na temperatura média do meio utilizando o Arduino. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, p. e20200355, 2021.
- ARRUDA, S. D. M.; SILVA, M. R. D.; LABURÚ, C. E. Laboratório didático de Física a partir de uma perspectiva kuhniana. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 6, n. 1, p. 97-106, 2012.
- BATISTA, I. L. O ensino de teorias físicas mediante uma estrutura histórico-filosóficas. **Ciência & Educação**, v. 10, n. 3, p. 461-476, 2004.
- BAUER, W.; WESTFALL, G. D.; DIAS, H. **Física para universitários: relatividade, oscilações, ondas e calor**. [S.l.]: AMGH Editora, 2013.
- BUKSMAN, *et al.* Experimentando con Arduino y Scilab: propagación de calor en una barra metálica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 41, n. 4, p. e20180356, 2019.
- CARVALHO, L. R. M. D.; AMORIM, H. S. D. Observando as marés atmosféricas: uma aplicação da placa Arduino com sensores de pressão barométrica e temperatura. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n. 3, p. 1-7, 2014.
- CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C.; MOLISANI, E. Física com Arduino para iniciantes. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 4, p. 4503-4503-9, 2011.
- DAMASIO, F.; RAICIK, A.; BRUNELLI, S. A física premiada: Márcia Barbosa, a água e a sala de aula. **A física na Escola**, v. 15, n. 2, Outubro. 2017.
- FEYNMAN, R. P.; LEIGHTON, R. B.; SANDS, M. **Lições de Física de Feynman**. Porto Alegre: Bookman, v. 1, 2008.
- GASPAR, A. **Museus e centros de ciências: conceituação e proposta de um referencial teórico**. Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo. [S.l.]. 1993.
- GASPAR, A. **Atividades experimentais no ensino de Física: uma nova visão baseada na teoria de Vigotski**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2014.
- GASPAR, A.; MONTEIRO, I. C. D. C. Atividades experimentais de demonstrações em sala de aula: uma análise segundo o referencial da teoria de Vygotsky. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 10, n. 2, p. 161-178, Agosto. 2005.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física: Gravitação, Ondas e Termodinâmica**. 8. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, v. 2, 2009.
- HEWITT, P. G. **Física conceitual**. 12. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.
- HOWE, A. C. Development of science concepts within a Vygotskian framework. **Science Education**, v. 80, n. 1, p. 35-51, 1996.
- JANGO, A. A.; FARIA, L. B. D.; STORNILOLO, J. P. D. A. O aniversário da escola e a física: conectando ciência à vida de alunos do ensino fundamental. **Revista Eletrônica Ludus Scientiae**, v. 3, n. 1, 2019.
- MENDOZA, E. **Reflections on the motive power of fire by Sadi Carnot**. New York: Dover Publications, 1960.
- MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, Base Nacional Comum Curricular. Brasília. 2018.

MIZUKAMI, M. D. G. N. **Ensino**: as abordagens do processo. São Paulo, SP: Editora Pedagógica e Universitária Ltda, 1986.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica**: Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor. 5. ed. [S.l.]: Blucher, v. 2, 2014.

PÁDUA, A. B. D.; PÁDUA, C. G. D.; MARTINS, R. S. A natureza do calor: passados dois séculos, será que a teoria do calórico ainda é de alguma forma uma ideia atraente ou, até mesmo, útil? **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 30, n. 1, p. 3-18, jan./jun. 2009.

PEDROSO, C. V. Uma década de pesquisa sobre atividades experimentais na educação em ciências: memórias e realidade, XI Congresso Nacional de Educação - EDUCERE, 2019.

PEREIRA, M. V.; MOREIRA, M. C. Atividades prático-experimentais no ensino de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 34, n. 1, p. 265-277, 2017.

PIETROCOLA, M. A matemática como estruturante do conhecimento físico. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 19, n. 1, p. 89-109, agosto. 2002.

REGO, T. C. **Vygotsky**: uma perspectiva histórico-cultural da educação. Petrópolis, RJ: Vozes, 1995.

RODRIGUES, M. K. *et al.* Estudo do potencial térmico de Trocador de Calor Solo-Ar em dois tipos de solos no município de Rio Grande (RS). **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 6, n. 3, p. 489-506, 2017.

SERWAY, R. A.; JEWETT JUNIOR, J. W. **Princípios de Física**: Movimento Ondulatório e Termodinâmica. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

SILVA, A. P. B. Concepções sobre a natureza do calor em diferentes contextos históricos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 30, n. 3, p. 492-537, dez. 2013.

SMITH, E. M. *et al.* Direct Measurement of the Impact of Teaching Experimentation in Physics Labs. **Phys. Rev. X**, v. 10, n. 1, p. 011029, February. 2020. Disponível em: <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevX.10.011029>.

STEWART, J. **Cálculo**. 8ª. ed. São Paulo: Cengage Learning, v. 2, 2016.

TERRAZZAN, E. A. A inserção da Física moderna e contemporânea no Ensino da Física na Escola de Segundo Grau. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 9, n. 3, p. 209-214, dezembro. 1992.

VYGOTSKY, L. S. **A construção do Pensamento e da Linguagem—tradução**. São Paulo: Martin, 2001.

VYGOTSKY, L. S. **Formação social da mente**. São Paulo: Martins Editora, 2007.

VYGOTSKY, L. S. **Pensamento e linguagem**. São Paulo: Martins Fontes, 2008.

WERNER DA ROSA, C. T.; BECKER DA ROSA, Á. A teoria histórico-cultural e o ensino da física. **Revista Iberoamericana de Educación**, v. 34, n. 3, 2004. ISSN 1681-5653.

YOUNG, H. D. **Física II**: Termodinâmica e ondas. São Paulo: Wesley, Addison, 2004.

ZILL, D. G.; CULLEN, M. R. **Equações Diferenciais**. São Paulo: Pearson Makron /books, v. 1, 2001.

APÊNDICE A – TRABALHOS PRODUZIDOS

PINHEIRO JUNIOR, JEFFERSON BUONAFINA; SOARES, ANTONIO AUGUSTO. Studying the specific heat of sand with an Arduino board. *Physics Education*, v.56, p.045016 - , 2021.

SOARES, ANTONIO AUGUSTO; PINHEIRO JUNIOR, JEFFERSON BUONAFINA; MOREIRA, A. P.F.; CHIAVINI, L. C. Polaridade magnética e sensor Hall: uma proposta de experimento para os ensinos fundamental e médio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.43, p.e20210185-1 - e20210185-5, 2021.

PINHEIRO JUNIOR, JEFFERSON BUONAFINA; SOARES, ANTONIO AUGUSTO. Estudando curvas de aquecimento da areia e da água com o Arduino. In: XXIV SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 2021. (Simpósio, Apresentação de Trabalho)

PINHEIRO JUNIOR, JEFFERSON BUONAFINA; SOARES, ANTONIO AUGUSTO. Estudando o calor específico da areia com uma placa de Arduino. In: WORKSHOP ENSINO DE FÍSICA - UFSCAR, 2021. (Simpósio, Apresentação de Trabalho)

APÊNDICE B – PRODUTO EDUCACIONAL

CADERNO PEDAGÓGICO

SUMÁRIO

ROTEIRO DO PROFESSOR: CONDUÇÃO TÉRMICA.....	60
ROTEIRO DO PROFESSOR: CURVA DE AQUECIMENTO.....	66
ROTEIRO DO PROFESSOR: CALOR ESPECÍFICO	71
ROTEIRO DOS ESTUDANTES: CONDUÇÃO TÉRMICA.....	77
ROTEIRO DOS ESTUDANTES: CURVA DE AQUECIMENTO.....	81
ROTEIRO DOS ESTUDANTES: CALOR ESPECÍFICO	85

ROTEIRO DO PROFESSOR: CONDUÇÃO TÉRMICA

1. Objetivos

Ao término desta atividade, o estudante deverá ser capaz de:

- Concluir quais são as condições necessárias para que ocorra a propagação do calor;
- Identificar a condução térmica em situações cotidianas de propagação de calor;
- Compreender que diferentes materiais apresentam diferentes condutibilidades térmicas;

2. Preparação

O estudante deverá responder atentamente as questões a seguir:

1. O que é temperatura?

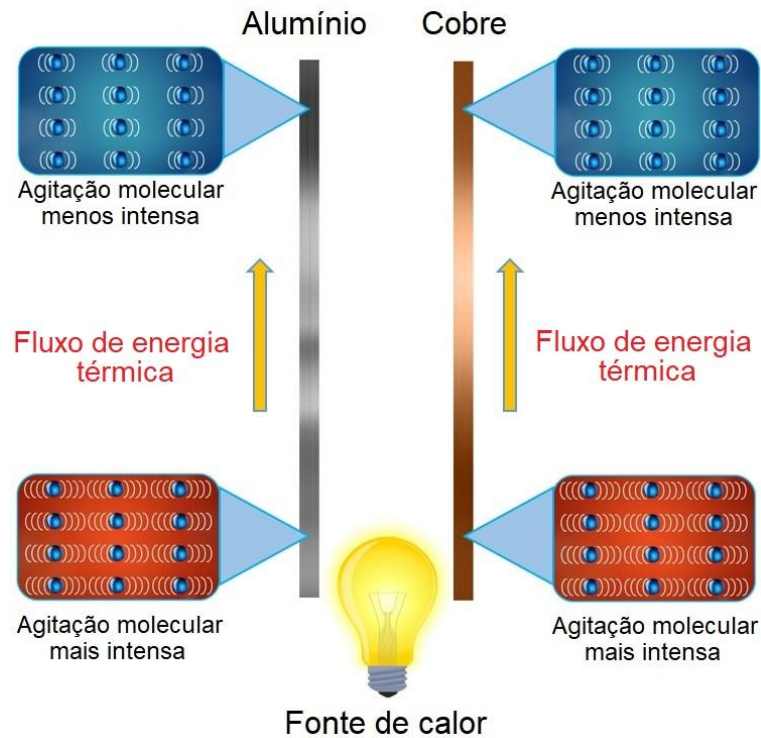
2. O que é calor?

3. Introdução

Propagação de calor é a denominação dada à passagem de energia térmica de um corpo para outro ou de um ponto para outro de um mesmo corpo. Essa transmissão pode se processar de três maneiras distintas: condução, convecção e irradiação. De acordo com a Segunda Lei da Termodinâmica, a energia térmica sempre se propaga de um ponto com maior temperatura para um ponto de menor temperatura independentemente do processo de propagação de calor.

Este experimento aborda a condução térmica, no qual o calor é transmitido de um ponto a outro do material através da agitação molecular e dos choques entre as moléculas, conforme a representação esquemática da figura 1. Assim, para ocorrer a condução, deve existir um meio material. No entanto, é a energia que se propaga; as partes do corpo não se deslocam, havendo apenas agitação molecular.

Figura 1: Representação esquemática mostrando a agitação molecular e o sentido do fluxo de energia térmica.



Fonte: Compilação do autor.

A aquisição de dados deste experimento é automatizada e nos permite obter as curvas de aquecimento do cobre e do alumínio simultaneamente. São utilizados seis sensores de temperatura que estão conectados à uma placa de Arduino que, por sua vez, está conectada a um computador onde os dados sobre a temperatura dos materiais serão armazenados e analisados.

4. Material necessário

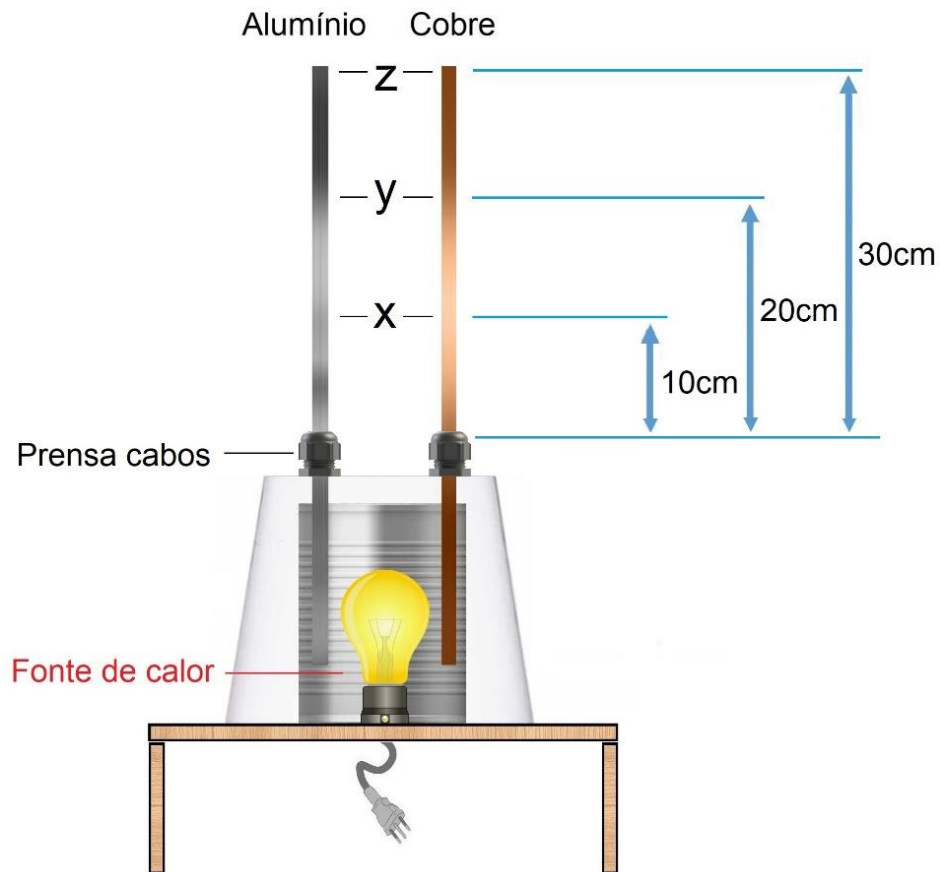
- 01 Barra chata de cobre com 50cm de comprimento e seção transversal 1/2" x 1/8";
- 01 Barra chata de alumínio com 50cm de comprimento e seção transversal 1/2" x 1/8";
- 06 Sensores de temperatura LM35;
- 01 Lâmpada halógena 70W/110V utilizada como fonte de calor;
- 01 Soquete com corpo em porcelana para lâmpada;
- 02 Prensa cabos para fixação das barras metálicas;
- 01 Lata para abrigar a lâmpada;
- 01 Balde acrílico para contenção do ar quente;
- 01 Base em MDF para fixação do experimento de dimensões 35x35 cm
- 01 Placa Arduino com cabo USB.
- 01 Computador.

5. Montagem e funcionamento do experimento

O experimento de condução térmica será montado pelo professor de acordo com as seguintes instruções:

1. Fixe as barras metálicas de alumínio e de cobre conforme indicado na figura 2. Para isso, são utilizados dois conectores do tipo prensa cabos;
2. Cada barra metálica deve conter três sensores de temperatura fixados nas posições x, y e z indicadas na representação esquemática;

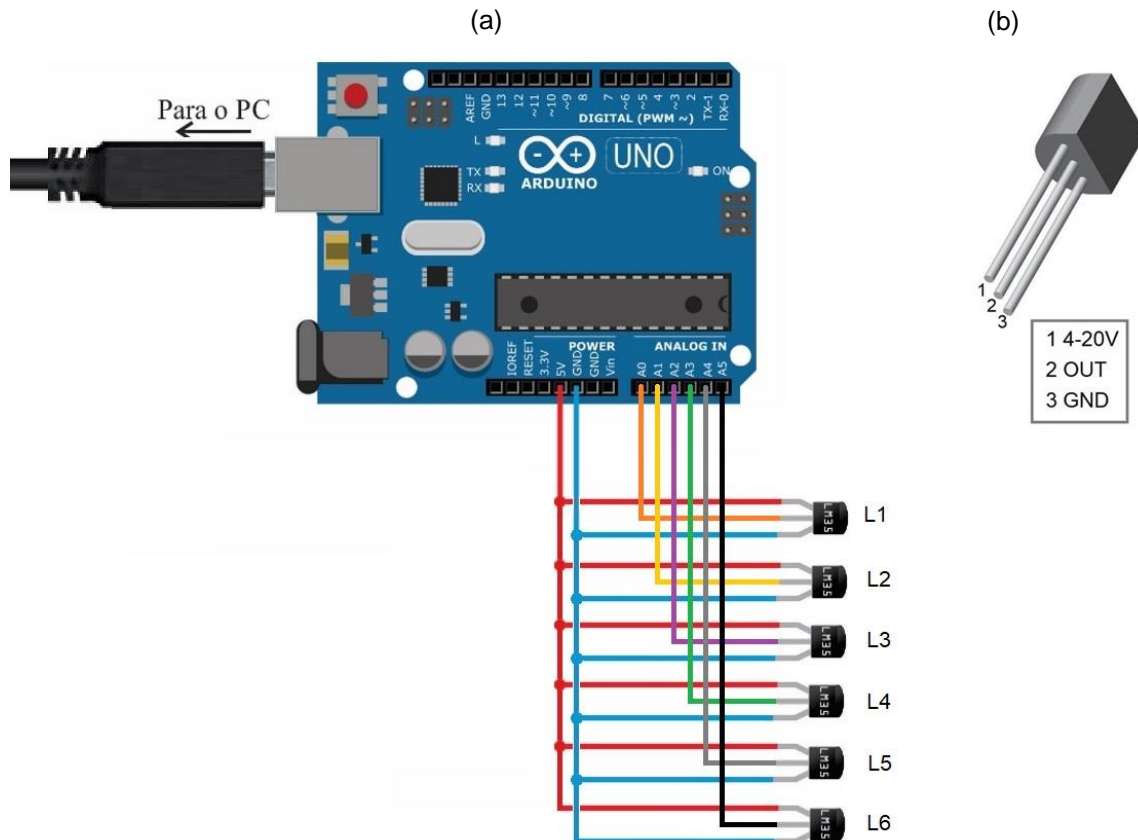
Figura 2: Representação esquemática do experimento destacando seus elementos e posições.



Fonte: Compilação do autor.

3. Cada um dos sensores térmicos deve ser conectado à placa Arduino, que deve ser ligada ao computador através de um cabo USB. As figuras 3 (a) e 3 (b) exibem, respectivamente, a representação esquemática da conexão de um desses sensores à placa e a especificação dos terminais do sensor de temperatura LM35.

Figura 3: (a) Representação esquemática da conexão dos sensores à placa Arduino. Em (b) são mostrados os terminais do sensor LM35. Os dois terminais das extremidades são utilizados na alimentação do sensor e o do meio é responsável pela geração do sinal de tensão proporcional à temperatura.



Fonte: Compilação do autor.

4. Inicie a planilha eletrônica no computador para coletar os dados das temperaturas;
5. Ligue a lâmpada halógena à rede elétrica (110V) dando início à atividade experimental;
6. Monitore o aquecimento das barras metálicas por 30 minutos;
7. Após 30 minutos, desligue a lâmpada e analise as curvas de aquecimento desses materiais.

6. Código para o Arduino

O código que nos permite registrar diretamente os dados experimentais no Excel é apresentado a seguir:

```
//Sensor de temperatura LM35.
```

```
const int S1 = A0, S2 = A1;
```

```
float aux = 10, t = 0.0, Temp1 = 0.0, Temp2 = 0.0, Temp3 = 0.0, Temp4 = 0.0, Temp5 = 0.0, Temp6 = 0.0;
```

```
int LABEL = 1;
```

```
void setup() {
```

```
Serial.begin(19200);
Serial.println("CLEARDATA");
Serial.println("LABEL,Hora,t,Temp1,Temp2, Temp3,Temp4, Temp5,Temp6");
}
void loop() {
  Temp1 = (float(analogRead(S1))*5/(1023))/0.01;
  Temp2 = (float(analogRead(S2))*5/(1023))/0.01;
  Temp3 = (float(analogRead(S3))*5/(1023))/0.01;
  Temp4 = (float(analogRead(S4))*5/(1023))/0.01;
  Temp5 = (float(analogRead(S5))*5/(1023))/0.01;
  Temp6 = (float(analogRead(S6))*5/(1023))/0.01;

  Serial.print("DATA,TIME,");
  Serial.print(t*5);
  Serial.print(", ");
  Serial.print(Temp1);
  Serial.print(", ");
  Serial.print(Temp2);
  Serial.print(", ");
  Serial.print(Temp3);
  Serial.print(", ");
  Serial.print(Temp4);
  Serial.print(", ");
  Serial.print(Temp5);
  Serial.print(", ");
  Serial.print(Temp6);
  Serial.println(", ");
  Serial.println("ROW, SET");
  t++;
  delay(5000);
}
```


7. Análise de resultados

Após a análise das curvas de aquecimento do alumínio e do cobre obtidos com a execução da atividade experimental, o estudante deverá responder atentamente as questões a seguir:

1. Por que é errado afirmar que, quando uma substância quente aquece outra substância fria, a temperatura flui entre elas? Justifique sua resposta.

2. O calor pode fluir entre dois pontos com mesma energia interna? Justifique sua resposta.

3. Por que para se mexer continuamente um alimento de cozimento demorado não se recomenda a utilização de um talher metálico?

4. O que é o fenômeno da condução térmica?

5. Materiais distintos quando são aquecidos ou resfriados simultaneamente por uma mesma fonte de calor sofrem variações de temperaturas iguais ou diferentes? Justifique sua resposta.

8. Conclusões

ROTEIRO DO PROFESSOR: CURVA DE AQUECIMENTO

1. Objetivos

Ao término desta atividade, o estudante deverá ser capaz de:

- Compreender as diferentes dinâmicas de aquecimento e resfriamento da água e da areia;
- Identificar e compreender a importância do calor específico da água e da areia na formação das brisas marítimas.

2. Preparação

O estudante deverá responder atentamente as questões a seguir:

1. Como ocorre a propagação do calor na atmosfera?

2. Por que, em regiões próximas ao mar, a variação da temperatura é menor do que em regiões desérticas?

3. Introdução

As propriedades térmicas da matéria e as trocas de calor estão relacionadas a diversos fenômenos climáticos do cotidiano. O calor específico é uma importante propriedade térmica que determina a quantidade de calor necessária para elevar em 1°C a temperatura de uma unidade de massa de um corpo. Dessa forma, quanto mais elevado for o calor específico de um material, mais elevada será a quantidade de calor necessária para produzir variação de temperatura. O experimento proposto nos possibilitará analisar as diferentes dinâmicas de aquecimento e resfriamento da água e da areia e compreender a importância do calor específico desses materiais na formação das brisas marítimas.

A aquisição de dados deste experimento é automatizada e nos permite obter as curvas de aquecimento e resfriamento da água e da areia simultaneamente. São utilizados dois sensores de temperatura que estão conectados à uma placa de Arduino que, por sua vez, está conectada a um computador onde os dados sobre a temperatura dos materiais serão armazenados e analisados.

4. Material necessário

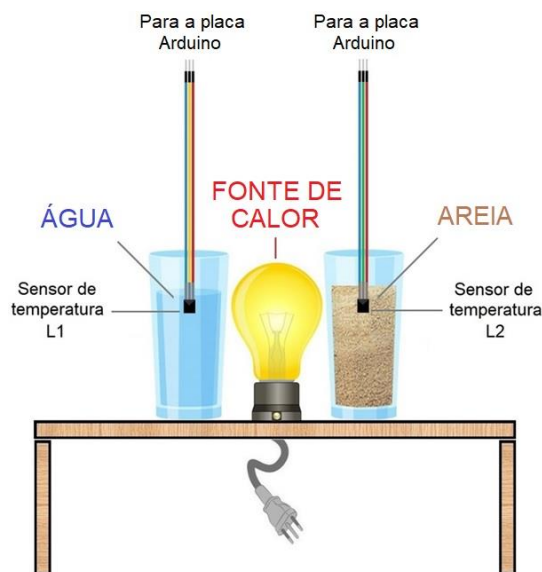
- 01 Copo de vidro de 250 ml contendo uma amostra de 160 g de água;
- 01 Copo de vidro de 250 ml contendo uma amostra de 260 g de areia do tipo lavada (facilita a remoção de resíduos preexistentes);
- Cola quente;
- 02 Sensores de temperatura LM35;
- 01 Mangueira cristal com diâmetro de 5/16” e comprimento de 8 cm;
- 01 Conduíte termo retrátil com diâmetro de 8 mm e comprimento de 3 cm;
- 01 Lâmpada halógena de 70W/110V utilizada como fonte de calor;
- 01 Soquete com corpo em porcelana para lâmpada;
- 01 Base em MDF para fixação do experimento de dimensão 35x35 cm;
- 01 Placa Arduino com cabo USB;
- 01 Computador.

5. Montagem e funcionamento do experimento

Nosso experimento de curva de aquecimento será montado pelo professor de acordo com as seguintes instruções:

1. Posicione os copos contendo as amostras de água e areia em posições simétricas em relação à fonte de calor conforme indicado na figura 1;
2. Conforme ilustrado na figura 1, fixe os sensores de temperatura no interior de cada um dos copos para que seja efetuado o monitoramento das variações de temperatura da água e da areia durante o processo de aquecimento e resfriamento;

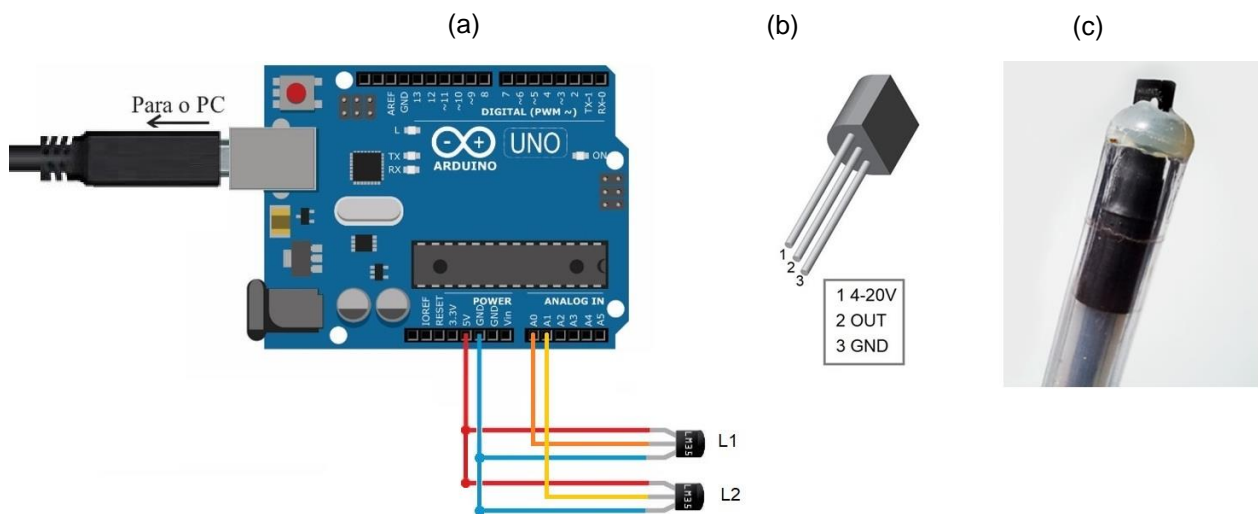
Figura 1: Representação esquemática do experimento destacando seus elementos e posições.



Fonte: Compilação do autor.

3. Cada um dos sensores térmicos deve ser conectado à placa Arduino, que deve ser ligada ao computador através de um cabo USB. As figuras 2 (a) e 2 (b) exibem, respectivamente, a representação esquemática da conexão de um desses sensores à placa e a especificação dos terminais do sensor de temperatura LM35.

Figura 2: (a) Representação esquemática da conexão dos sensores à placa Arduino. Em (b) são mostrados os terminais do sensor LM35. Os dois terminais das extremidades são utilizados na alimentação do sensor e o do meio é responsável pela geração do sinal de tensão proporcional à temperatura. (c) Fotografia mostrando o sensor térmico L1 utilizado para o monitoramento da variação da temperatura da água.



Fonte: Compilação do autor

Conforme pode ser observado na figura 2(c), os terminais do LM35 devem ser devidamente isolados de modo que não entrem em contato com a água, pois isto pode trazer danos irreversíveis para o dispositivo. Para desenvolver essa proteção, foi utilizado o conduíte termo retrátil como a primeira camada que reveste os terminais e a mangueira cristal como a camada mais externa. Para o fechamento da abertura da extremidade da mangueira, que fica na base do sensor térmico, utilizou-se um pouco de cola quente.

4. Inicie a planilha eletrônica no computador para coletar os dados das temperaturas;
5. Ligue a lâmpada halógena à rede elétrica (110V) dando início à atividade experimental;
6. Monitore o aquecimento das substâncias por 30 minutos;
7. Após 30 minutos, desligue a lâmpada e acompanhe o processo de resfriamento das substâncias.

6. Código para o Arduino

O código que nos permite registrar diretamente os dados experimentais no Excel é apresentado a seguir:

```
//Sensor de temperatura LM35.
```

```
const int S1 = A0, S2 = A1;
float aux = 10, t = 0.0, Temp1 = 0.0, Temp2 = 0.0;
int LABEL = 1;
void setup() {
  Serial.begin(19200);
  Serial.println("CLEARDATA");
  Serial.println("LABEL,Hora,t,Temp1,Temp2");
}
void loop() {
  Temp1 = (float(analogRead(S1))*5/(1023))/0.01;
  Temp2 = (float(analogRead(S2))*5/(1023))/0.01;
  Serial.print ("DATA,TIME,");
  Serial.print(t*5);
  Serial.print(", ");
  Serial.print(Temp1);
  Serial.print(", ");
  Serial.print(Temp2);
  Serial.println(", ");
  Serial.println("ROW, SET");
  t++;
  delay(5000);
}
```

7. Análise de resultados

Após analisar as curvas de aquecimento e resfriamento da água e da areia obtidas com a execução da atividade experimental, o estudante deverá responder atentamente as questões a seguir:

1. Quando a água e areia foram expostos à mesma fonte de calor, qual material alcançou a maior temperatura?

2. Quando a fonte de calor foi desligada qual substância reduziu mais rapidamente a temperatura?

3. De acordo com as dinâmicas de aquecimento e resfriamento da água e da areia observadas qual substância possui maior calor específico? Justifique sua resposta.

4. O que é o fenômeno da convecção térmica?

5. Durante o dia a brisa sopra do mar para a praia. Já à noite, essa brisa sopra em sentido contrário, da praia para o mar. Por que isso acontece? Justifique sua resposta.

8. Conclusões

ROTEIRO DO PROFESSOR: CALOR ESPECÍFICO

1. Objetivos

Ao término desta atividade, o estudante deverá ser capaz de:

- Compreender a razão pela qual a areia esquenta mais rápido do que a água;
- Reconhecer uma situação de equilíbrio térmico a partir de dados experimentais;
- Determinar quantitativamente o calor específico de uma amostra de areia.

2. Preparação

O estudante deverá responder atentamente as questões a seguir:

1. Defina o conceito de equilíbrio térmico.

2. Quando um corpo perde calor para o ambiente e se resfria, que temperatura ele atinge depois de um tempo bastante longo?

3. Introdução

Quando dois ou mais corpos com temperaturas distintas mantêm contato durante certo tempo, eles alcançam a condição de equilíbrio térmico na qual apresentam um mesmo valor de temperatura. Esse é um processo natural que ocorre devido às trocas de calor entre os corpos. O experimento proposto nos possibilitará verificar a situação de equilíbrio térmico quando amostras de água e areia com temperaturas diferentes são misturadas, bem como determinar quantitativamente o calor específico da areia utilizada na atividade experimental.

Aplicando a conservação de energia para o processo de trocas de calor, é possível escrever:

$$Q_w + Q_s = 0, \quad (1)$$

onde Q_w é a energia térmica perdida pela água e Q_s é a energia térmica recebida pela areia.

Determinamos o específico calor da areia (c_s) usando:

$$c_s = - \frac{m_w \cdot c_w \cdot \Delta T_w}{m_s \cdot \Delta T_s}, \quad (2)$$

onde c_w é o calor específico da água, $\Delta T_w = T_f - T_0$ é a variação de temperatura da água durante a troca de calor com a areia e $\Delta T_s = T_f - T_{0s}$ é a variação de temperatura da areia até atingir o equilíbrio térmico com a água (T_{0s} é temperatura inicial da areia).

A aquisição de dados deste experimento é automatizada e nos permite obter as informações das temperaturas da água e da areia ao longo da experimentação e da mistura de ambos. São utilizados dois sensores de temperatura que estão conectados à uma placa Arduino que, por sua vez, está conectada a um computador onde os dados sobre a temperatura dos materiais serão armazenados e analisados.

4. Material necessário

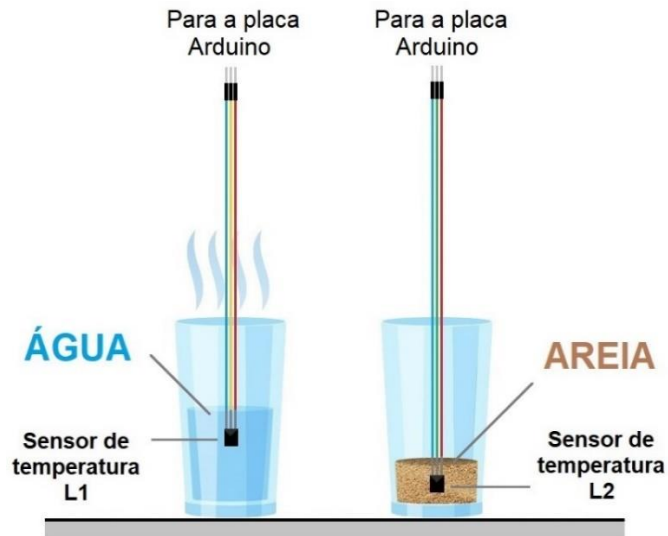
- 01 Copo de vidro de 250 ml contendo uma amostra de 190 g de água quente a uma temperatura aproximada de 65 °C;
- 01 Copo de vidro de 250 ml contendo uma amostra de 90 g de areia do tipo lavada (facilita a remoção de resíduos preexistentes);
- Cola quente;
- 02 Sensores de temperatura LM35;
- 01 Mangueira cristal com diâmetro de 5/16" e comprimento de 8 cm;
- 01 Conduite termo retrátil com diâmetro de 8 mm e comprimento de 3 cm;
- 01 Placa Arduino com cabo USB;
- 01 Computador.

5. Montagem e funcionamento do experimento

Nosso experimento do calor específico será montado pelo professor de acordo com as seguintes instruções:

1. Insira a massa de 190 gramas de água quente (temperatura ≈ 65 °C) em um dos copos de vidro e a massa de 90 gramas de areia no outro copo;
2. Conforme ilustrado na figura 1, fixe os sensores de temperatura no interior de cada um dos copos para que seja efetuado o monitoramento das variações de temperatura da água e da areia;

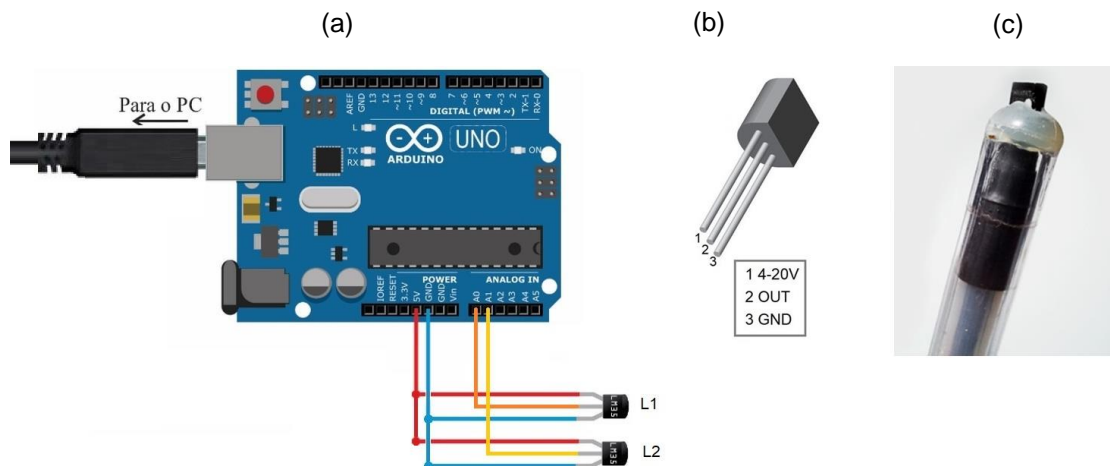
Figura 1: Representação esquemática do experimento destacando seus elementos e posições.



Fonte: Compilação do autor.

3. Cada um dos sensores térmicos deve ser conectado à placa Arduino, que deve ser ligada ao computador através de um cabo USB. As figuras 2 (a) e 2 (b) exibem, respectivamente, a representação esquemática da conexão de um desses sensores à placa e a especificação dos terminais do sensor de temperatura LM35.

Figura 2: (a) Representação esquemática da conexão de um dos sensores à placa Arduino. Em (b) são mostrados os terminais do sensor LM35. Os dois terminais das extremidades são utilizados na alimentação do sensor e o do meio é responsável pela geração do sinal de tensão proporcional à temperatura. (c) Fotografia mostrando o sensor térmico L1 utilizado para o monitoramento da variação da temperatura da água.



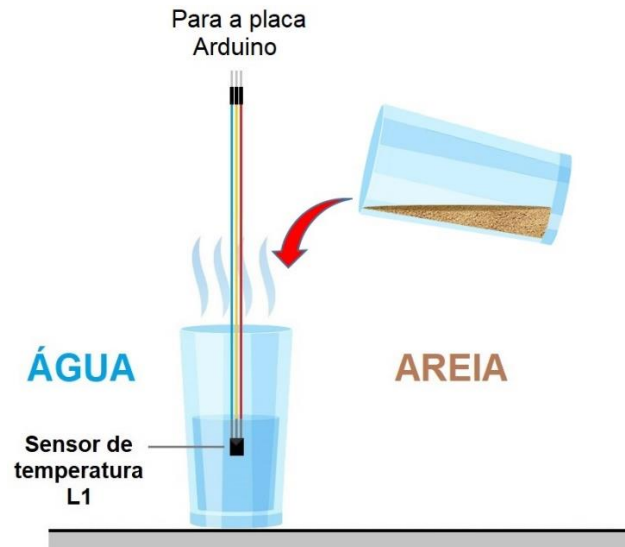
Fonte: Compilação do autor

Conforme pode ser observado na figura 2(c), os terminais do LM35 devem ser devidamente isolados de modo que não entrem em contato com a água, pois isto pode trazer danos irreversíveis para o dispositivo. Para desenvolver essa proteção, foi utilizado o conduíte termo retrátil como a primeira camada que reveste os terminais e a mangueira cristal como a camada mais externa. Para

o fechamento da abertura da extremidade da mangueira, que fica na base do sensor térmico, utilizou-se um pouco de cola quente.

4. Inicie a planilha eletrônica no computador para coletar os dados das temperaturas;
5. Aguarde a temperatura da água diminuir cerca de 10°C e introduza a massa de areia no copo que contem a água, conforme figura 3.

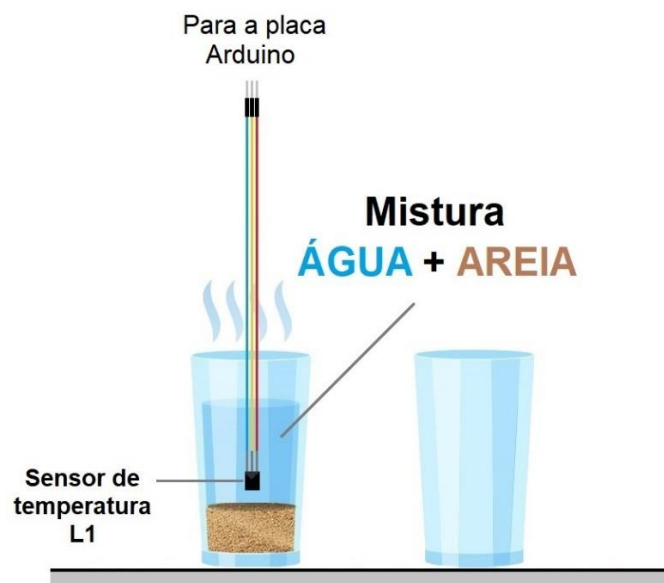
Figura 3: Representação esquemática da introdução da areia no copo que contem a água.



Fonte: Compilação do autor

6. Monitore a variação da temperatura da mistura durante o processo da troca de calor até que o equilíbrio térmico entre água e areia seja estabelecido, conforme a figura 4;

Figura 4: Representação esquemática do monitoramento da temperatura da mistura da água e da areia.



Fonte: Compilação do autor

7. Alcançado o equilíbrio térmico, aguarde a mistura esfriar cerca de 5°C e conclua a aquisição de dados.

6. Código para o Arduino

O código que nos permite registrar diretamente os dados experimentais no Excel é apresentado a seguir:

//Sensor de temperatura LM35.

```

const int S1 = A0, S2 = A1;
float aux = 10, t = 0.0, Temp1 = 0.0, Temp2 = 0.0;
int LABEL = 1;
void setup() {
  Serial.begin(19200);
  Serial.println("CLEARDATA");
  Serial.println("LABEL,Hora,t,Temp1,Temp2");
}
void loop() {
  Temp1 = (float(analogRead(S1))*5/(1023))/0.01;
  Temp2 = (float(analogRead(S2))*5/(1023))/0.01;
  Serial.print ("DATA,TIME,");
  Serial.print(t*5);
  Serial.print(", ");
  Serial.print(Temp1);
  Serial.print(", ");
  Serial.print(Temp2);
  Serial.println(", ");
  Serial.println("ROW, SET");
  t++;
  delay(5000);
}

```

7. Análise de resultados

Após analisar a curva de resfriamento da água obtida com a execução da atividade experimental, o estudante deverá responder atentamente as questões a seguir:

1. Com base nos dados experimentais, calcule o calor específico da areia.

2. O valor do calor específico obtido experimentalmente coincide com o que era esperado para areia? Para responder a essa pergunta, compare esse valor com aquele apresentado em seu livro.

3. O desenvolvimento do experimento em sala de aula colaborou com a construção do seu aprendizado sobre o tema da Termologia? () Concordo () Discordo. Justifique.

4. As Tecnologias da Informação e Comunicação são ferramentas que devem ser exploradas no ensino de Física? () Concordo () Discordo. Justifique.

8. Conclusões

ROTEIRO DOS ESTUDANTES: CONDUÇÃO TÉRMICA

1. Objetivos

Ao término desta atividade, você deverá ser capaz de:

- Concluir quais são as condições necessárias para que ocorra a propagação do calor;
- Identificar a condução térmica em situações cotidianas de propagação de calor;
- Compreender que diferentes materiais apresentam diferentes condutibilidades térmicas;

2. Preparação

Responda atentamente as questões a seguir:

1. O que é temperatura?

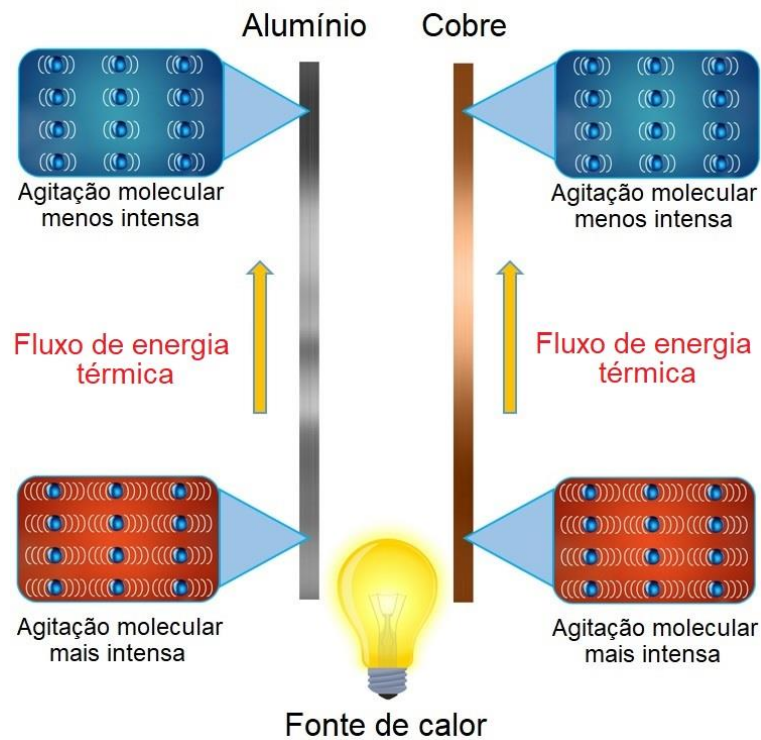
2. O que é calor?

3. Introdução

Propagação de calor é a denominação dada à passagem de energia térmica de um corpo para outro ou de um ponto para outro de um mesmo corpo. Essa transmissão pode se processar de três maneiras distintas: condução, convecção e irradiação. De acordo com a Segunda Lei da Termodinâmica, a energia térmica sempre se propaga de um ponto com maior temperatura para um ponto de menor temperatura independentemente do processo de propagação de calor.

Este experimento aborda a condução térmica, no qual o calor é transmitido de um ponto à outro do material através da agitação molecular e dos choques entre as moléculas, conforme a representação esquemática da figura 1. Assim, para ocorrer a condução, deve existir um meio material. No entanto, é a energia que se propaga; as partes do corpo não se deslocam, havendo apenas agitação molecular.

Figura 1: Representação esquemática mostrando a agitação molecular e o sentido do fluxo de energia térmica.



A aquisição de dados deste experimento é automatizada e nos permite obter as curvas de aquecimento do cobre e do alumínio simultaneamente. São utilizados seis sensores de temperatura que estão conectados à uma placa de Arduino que, por sua vez, está conectada a um computador onde os dados sobre a temperatura dos materiais serão armazenados e analisados.

4. Material necessário

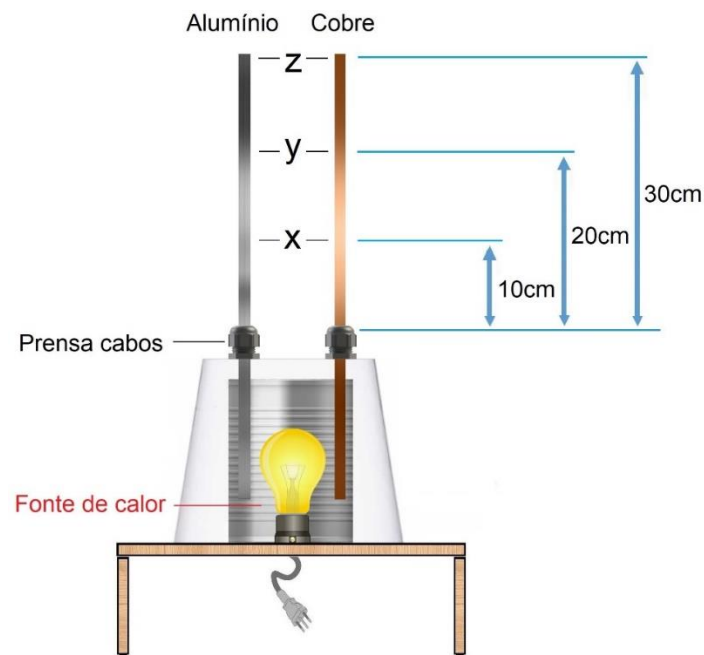
- 01 Barra de cobre com 50cm de comprimento e seção transversal retangular;
- 01 Barra de alumínio com 50cm de comprimento e seção transversal retangular;
- 01 Lâmpada halógena de 70W/110V utilizada como fonte de calor;
- 01 Estrutura para fixação das barras
- 01 Sistema de aquisição de dados;
- 01 Computador.

5. Montagem e funcionamento do experimento

Nosso experimento de condução térmica será montado pelo professor de acordo com as seguintes instruções:

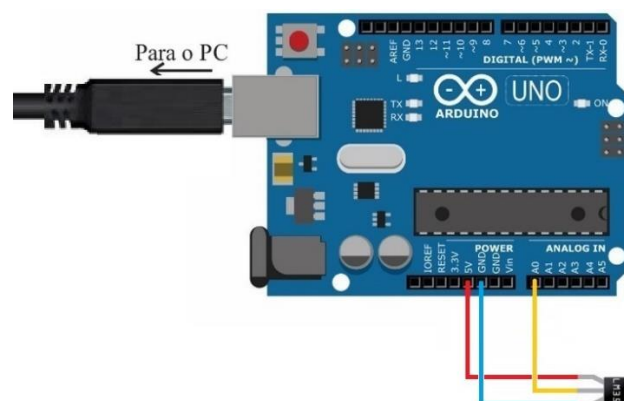
1. Fixe as barras metálicas de alumínio e de cobre conforme indicado na figura 2. Para isso, são utilizados dois conectores do tipo prensa cabos;
2. Cada barra metálica deverá conter três sensores de temperatura fixados nas posições x, y e z indicadas na representação esquemática;

Figura 2: Representação esquemática do experimento destacando seus elementos e posições.



3. Cada um dos sensores deve ser conectado ao dispositivo de aquisição, que deve ser ligado ao computador através de um cabo USB. A figura 3 destaca a conexão de um desses sensores.

Figura 3: Representação esquemática da conexão de um dos sensores ao dispositivo de aquisição.



4. Inicie a planilha eletrônica no computador para coletar os dados das temperaturas;
5. Ligue a lâmpada halógena à rede elétrica (110V) dando início à atividade experimental;

6. Monitore o aquecimento das barras metálicas por 30 minutos;
7. Após 30 minutos, desligue a lâmpada e analise as curvas de aquecimento desses materiais.

6. Análise de resultados

Após analisar as curvas de aquecimento do alumínio e do cobre obtidos com a execução da atividade experimental, responda atentamente as questões a seguir:

1. Por que é errado afirmar que, quando uma substância quente aquece outra substância fria, a temperatura flui entre elas? Justifique sua resposta.

2. O calor pode fluir entre dois pontos com mesma energia interna? Justifique sua resposta.

3. Por que para se mexer continuamente um alimento de cozimento demorado não se recomenda a utilização de um talher metálico?

4. O que é o fenômeno da condução térmica?

5. Materiais distintos quando são aquecidos ou resfriados simultaneamente por uma mesma fonte de calor sofrem variações de temperaturas iguais ou diferentes? Justifique sua resposta.

7. Conclusões

ROTEIRO DOS ESTUDANTES: CURVA DE AQUECIMENTO

1. Objetivos

Ao término desta atividade, você deverá ser capaz de:

- Compreender as diferentes dinâmicas de aquecimento e resfriamento da água e da areia;
- Identificar e compreender a importância do calor específico da água e da areia na formação das brisas marítimas.

2. Preparação

Responda atentamente as questões a seguir:

1. Como ocorre a propagação do calor na atmosfera?

2. Por que, em regiões próximas ao mar, a variação da temperatura é menor do que em regiões desérticas?

3. Introdução

As propriedades térmicas da matéria e as trocas de calor estão relacionadas a diversos fenômenos climáticos do cotidiano. O calor específico é uma importante propriedade térmica que determina a quantidade de calor necessária para elevar em 1°C a temperatura de uma unidade de massa de um corpo. Dessa forma, quanto mais elevado for o calor específico de um material, mais elevada será a quantidade de calor necessária à sua variação de temperatura. O experimento proposto nos possibilitará analisar as diferentes dinâmicas de aquecimento e resfriamento da água e da areia e compreender a importância do calor específico desses materiais na formação das brisas marítimas.

A aquisição de dados deste experimento é automatizada e nos permite obter as curvas de aquecimento e resfriamento da água e da areia simultaneamente. São utilizados dois sensores de temperatura que estão conectados à uma placa de Arduino que, por sua vez, está conectada a um computador onde os dados sobre a temperatura dos materiais serão armazenados e analisados.

4. Material necessário

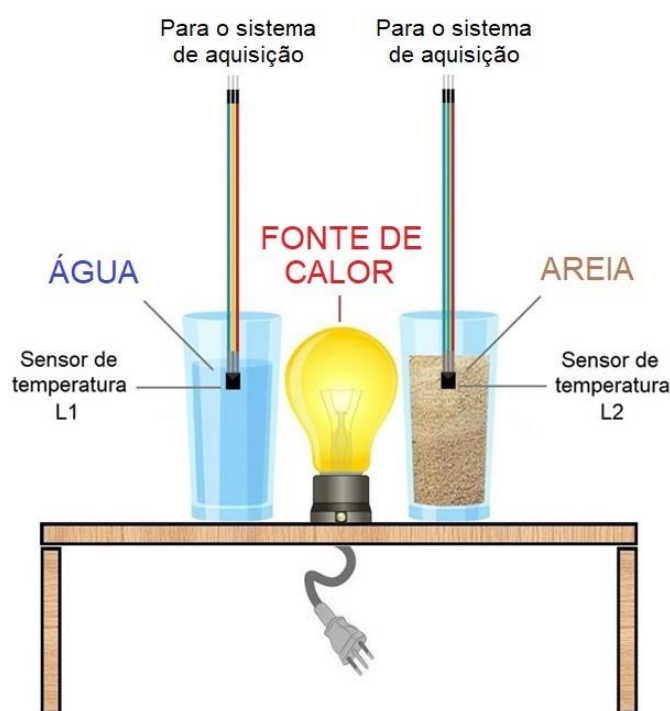
- 01 Copo de vidro de 250 ml contendo uma amostra de 160 g de água;
- 01 Copo de vidro de 250 ml contendo uma amostra de 260 g de areia;
- 01 Lâmpada halógena de 70W/110V utilizada como fonte de calor;
- 01 Sistema de aquisição de dados;
- 01 Computador.

5. Montagem e funcionamento do experimento

Nosso experimento de curva de aquecimento será montado pelo professor de acordo com os seguintes critérios:

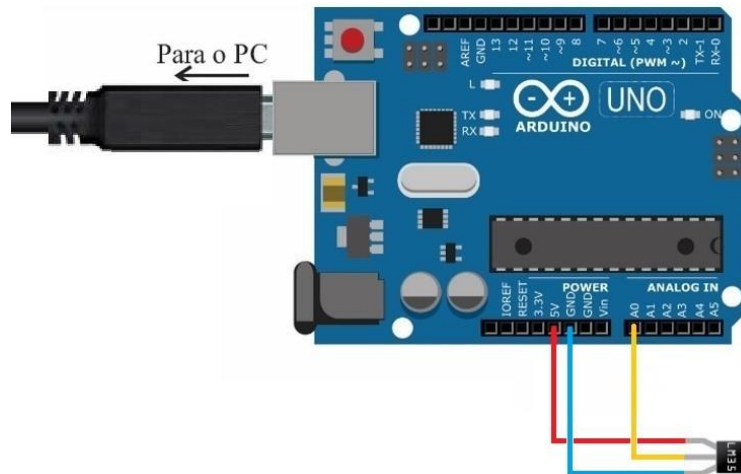
1. Posicione os copos contendo as amostras de água e areia em posições simétricas em relação à fonte de calor conforme indicado na figura 1;
2. Conforme ilustrado na figura 1, fixe os sensores de temperatura no interior de cada um dos copos para que seja efetuado o monitoramento das variações de temperatura da água e da areia durante o processo de aquecimento e resfriamento;

Figura 1: Representação esquemática do experimento destacando seus elementos e posições.



3. Cada um dos sensores deve ser conectado ao dispositivo de aquisição, que deve ser ligado ao computador através de um cabo USB. A figura 2 destaca a conexão de um desses sensores.

Figura 2: Representação esquemática da conexão de um dos sensores ao dispositivo de aquisição.



4. Inicie a planilha eletrônica no computador para coletar os dados das temperaturas;
5. Ligue a lâmpada halógena à rede elétrica (110V) dando início à atividade experimental;
6. Monitore o aquecimento das substâncias por 30 minutos;
7. Após 30 minutos, desligue a lâmpada e acompanhe o processo de resfriamento das substâncias.

6. Análise de resultados

Após analisar as curvas de aquecimento e resfriamento da água e da areia obtidas com a execução da atividade experimental, responda atentamente as questões a seguir:

1. Quando a água e areia foram expostos à mesma fonte de calor, qual material alcançou a maior temperatura?

2. Quando a fonte de calor foi desligada qual substância reduziu mais rapidamente a temperatura?

3. De acordo com as dinâmicas de aquecimento e resfriamento da água e da areia observadas qual substância possui maior calor específico? Justifique sua resposta.

4. O que é o fenômeno da convecção térmica?

5. Durante o dia a brisa sopra do mar para a praia. Já à noite, essa brisa sopra em sentido contrário, da praia para o mar. Por que isso acontece? Justifique sua resposta.

7. Conclusões

ROTEIRO DOS ESTUDANTES: CALOR ESPECÍFICO

1. Objetivos

Ao término desta atividade, você deverá ser capaz de:

- Compreender a razão pela qual a areia esquentar mais rápido do que a água;
- Reconhecer uma situação de equilíbrio térmico a partir de dados experimentais;
- Determinar quantitativamente o calor específico de uma amostra de areia.

2. Preparação

Responda atentamente as questões a seguir:

1. Defina o conceito de equilíbrio térmico.

2. Quando um corpo perde calor para o ambiente e se resfria, que temperatura ele atinge depois de um tempo bastante longo?

3. Introdução

Quando dois ou mais corpos com temperaturas distintas mantêm contato durante certo tempo, eles alcançam a condição de equilíbrio térmico na qual apresentam um mesmo valor de temperatura. Esse é um processo natural que ocorre devido às trocas de calor entre os corpos. O experimento proposto nos possibilitará verificar a situação de equilíbrio térmico quando amostras de água e areia com temperaturas diferentes são misturadas, bem como determinar quantitativamente o calor específico da areia utilizada na atividade experimental.

Aplicando a conservação de energia para o processo de trocas de calor, é possível escrever:

$$Q_w + Q_s = 0, \quad (1)$$

onde Q_w é a energia térmica perdida pela água e Q_s é a energia térmica recebida pela areia.

Determinamos o calor específico da areia (c_s) usando:

$$c_s = - \frac{m_w \cdot c_w \cdot \Delta T_w}{m_s \cdot \Delta T_s}, \quad (2)$$

onde c_w é o calor específico da água, $\Delta T_w = T_f - T_0$ é a variação de temperatura da água durante a troca de calor com a areia e $\Delta T_s = T_f - T_{0s}$ é a variação de temperatura da areia até atingir o equilíbrio térmico com a água (T_{0s} é temperatura inicial da areia).

A aquisição de dados deste experimento é automatizada e nos permite obter as informações das temperaturas da água e da areia ao longo da experimentação e da mistura de ambos. São utilizados dois sensores de temperatura que estão conectados à uma placa Arduino que, por sua vez, está conectada a um computador onde os dados sobre a temperatura dos materiais serão armazenados e analisados.

4. Material necessário

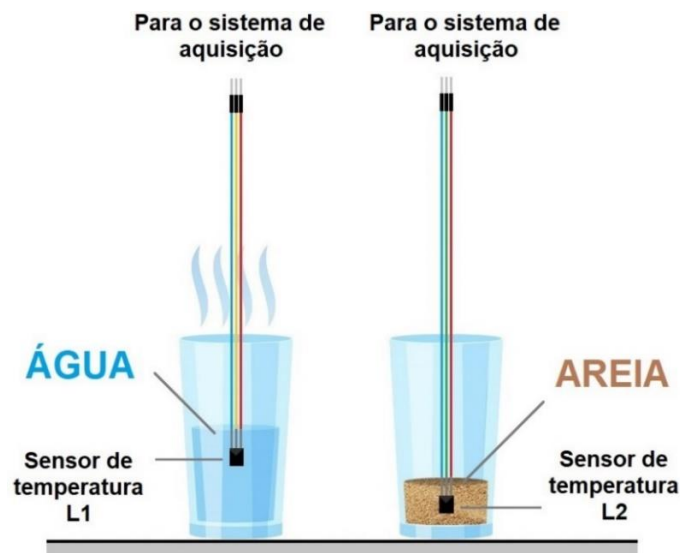
- 01 Copo de vidro de 250 ml contendo uma amostra de 190 g de água quente;
- 01 Copo de vidro de 250 ml contendo uma amostra de 90 g de areia do tipo lavada;
- 01 sistema de aquisição de dados;
- 01 computador.

5. Montagem e funcionamento do experimento

Nosso experimento do calor específico será montado pelo professor de acordo com as seguintes instruções:

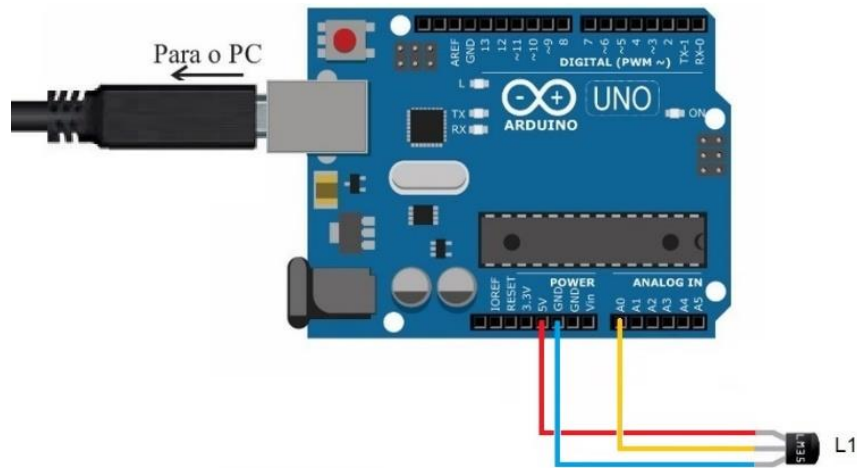
1. Insira a massa de 190 gramas de água quente (temperatura $\approx 65\text{ }^\circ\text{C}$) em um dos copos de vidro e a massa de 90 gramas de areia no outro copo;
2. Conforme ilustrado na figura 1, fixe os sensores de temperatura no interior de cada um dos copos para que seja efetuado o monitoramento das variações de temperatura da água e da areia;

Figura 1: Representação esquemática do experimento destacando seus elementos e posições.



3. Cada um dos sensores deve ser conectado ao dispositivo de aquisição, que deve ser ligado ao computador através de um cabo USB. A figura 2 destaca a conexão de um dos sensores.

Figura 2: Representação esquemática da conexão de um sensor ao dispositivo de aquisição.



4. Inicie a planilha eletrônica no computador para coletar os dados das temperaturas;
5. Aguarde a temperatura da água diminuir cerca de 10°C e introduza a massa de areia no copo que contem a água, conforme figura 3.

Figura 3: Representação esquemática da introdução da areia no copo que contem a água.



6. Monitore a variação da temperatura da mistura durante o processo da troca de calor até que o equilíbrio térmico entre água e areia seja estabelecido, conforme a figura 4;

Figura 4: Representação esquemática do monitoramento da temperatura da mistura da água e da areia.



7. Alcançado o equilíbrio térmico, aguarde a mistura esfriar cerca de 5°C e conclua a aquisição de dados.

6. Análise de resultados

Após analisar a curva de resfriamento da água obtida com a execução da atividade experimental, responda atentamente as questões a seguir:

1. Com base nos dados experimentais, calcule o calor específico da areia.

2. O valor do calor específico obtido experimentalmente coincide com o que era esperado para a areia? Para responder a essa pergunta, compare esse valor com aquele apresentado em seu livro.

3. O desenvolvimento do experimento em sala de aula colaborou com a construção do seu aprendizado sobre o tema da Termologia? () Concordo () Discordo. Justifique.

-
4. As Tecnologias da Informação e Comunicação são ferramentas que devem ser exploradas no ensino de Física? () Concordo () Discordo. Justifique.

7. Conclusões
