

Lei do resfriamento de Newton: experimento com Arduino em aula remota

doi.org/10.35819/scientiatec.v9i1.5187

Tiago Admiral

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense (IFF)
(tdesteffani@gmail.com)

Resumo: Os desafios das atividades remotas, em tempos de pandemia, atingem todas as áreas de conhecimento, mas em especial, as atividades experimentais da física. A manipulação de equipamentos e a observação dos fenômenos sempre foram características motivadoras para aos alunos, porém diante da realidade de atividades por videoconferência essas características da experimentação podem ficar prejudicadas. Este artigo traz um relato de experiência de uma aula experimental sobre a lei do resfriamento de Newton, realizada de forma remota, com uma turma de doze licenciandos em física. A coleta de dados foi realizada eletronicamente pela plataforma de desenvolvimento de projetos eletrônicos Arduino, e os dados foram compartilhados em tempo real com os alunos. Esses puderam observar o fenômeno do resfriamento, bem como os dados de temperatura, em tempo real, e a análise dos dados foi feita pelos próprios alunos usando papel monolog, disponibilizado em meio digital pelo professor. Os dados coletados mostraram que os alunos tiveram, além de boa aceitação à prática, excelentes resultados de aprendizado.

Palavras Chave: Ensino de física; Ensino remoto; Arduino.

Newton's law of cooling: an Arduino-based experiment in an online classroom

Abstract: The challenges of online classes, in times of pandemic, affect all areas of knowledge but, in particular, the experimental activities of physics. The manipulation of equipment and observation of the phenomena have always been motivating characteristics for students. However, given the reality of activities by videoconference, these characteristics of experimentation may be affected. This article presents a report of an experimental class on Newton's Law of Cooling, carried out remotely, with a class of twelve undergraduate physics students. Data collection was performed electronically by the programmable circuit board Arduino, and the data were shared in real time with the students. The latter could observe the cooling phenomenon, as well as the temperature data, in real time. The data analysis was performed by the students using mono-log paper, made available digitally by the teacher. The data collected showed that the students had, in addition to good acceptance of the practice, excellent learning results.

Key words: Physics teaching; remote teaching; Arduino.

INTRODUÇÃO

A necessidade de aprimorar as estratégias de ensino, adaptando-as ao uso de novas tecnologias (MONTEIRO, 2016; LARA, 2013), tem sido um assunto recorrente no Ensino de Ciências, em especial no Ensino de Física. Situações atípicas, como o enfrentamento da pandemia pelo novo SARS COVID-19, têm levantado debates sobre estratégias de ensino remoto, suas possibilidades e limitações.

As atividades experimentais, característica fundamental no Ensino de Física, também precisam acompanhar essa adaptação sem, no entanto, perder sua essência. Entre os tipos de atividade experimental podemos destacar as atividades demonstrativas, que são aquelas que não requerem necessariamente a interação direta do aluno com o experimento, e também as atividades experimentais quantitativas, que requerem coleta de dados e, em geral, precisam da interação do aluno com o experimento (ARAÚJO e ABIB, 2003). O segundo tipo de atividade apresenta um desafio, em particular, para a realidade do ensino à distância, que é a limitação óbvia da impossibilidade da presença do aluno para realizar a coleta de dados.

Para contornar essa situação, a abordagem de nosso trabalho foi utilizar uma coleta de dados automatizada, de forma que os dados do experimento ficassem registrados em mídia digital. Mais especificamente, utilizamos uma placa Arduino UNO, com um sensor de temperatura tipo sonda DS18B20, para obter, em intervalos regulares, os valores da temperatura de um corpo em resfriamento. A informação visual dos dados, dessa forma, pôde ser compartilhada com os alunos durante a video-chamada, juntamente com o vídeo disponível na câmera do professor mostrando o sistema em tempo real.

Essa opção se mostrou válida pois não apenas tornou possível o compartilhamento dos dados com os alunos, mas ofereceu também a possibilidade de orientá-los no tratamento desses dados, exatamente como seria feito numa sala de aula presencial. Com um enfoque na característica da modelagem (HEIDEMANN, 2016), os alunos puderam traçar a curva característica do experimento sem sair de casa, com um papel mono-log disponibilizado pelo professor, em arquivo digital.

A estratégia de ensino utilizada se baseou também na aprendizagem significativa de Ausubel (1980), que afirma ser extremamente importante levar em consideração o conhecimento que o aluno já tem, o que ele chama de conhecimento *subsunçor*.

Uma busca na literatura mostrou que o tema, “lei do resfriamento de Newton”, já foi abordado em alguns trabalhos (SARTORELLI, 1999; HEIDEMANN, 2013;

DIEFENTHÄLER, 2016 e PEREIRA, 2018), cada um com uma abordagem um pouco diferente. Outros dois trabalhos encontrados (CORRALLO, 2015; FILHO, J. A, 2020) usam também o Arduino, de maneira semelhante a este artigo.

Entretanto, um dos trabalhos (CORRALLO, 2015) realizou apenas medições de temperatura em frascos de cores distintas para averiguar a influência da cor do corpo no resfriamento. No trabalho também foi mostrado o gráfico linearizado do resfriamento de cada objeto estudado.

Já o segundo trabalho (FILHO, J. A, 2020), embora tenha realizado o experimento em sala de aula, não utilizou os dados de forma remota para realizar uma modelagem da curva de resfriamento com os alunos.

Os demais trabalhos que mencionam a lei de resfriamento de Newton, que encontramos na revisão de literatura, fazem uso do conceito para aplicação em outras áreas, como engenharia, e não são aplicados diretamente em sala de aula.

REFERENCIAL TEÓRICO

A lei de Resfriamento de Newton

A lei de resfriamento, publicada em 1701 no artigo intitulado “*Scala Graduum Caloris*”, estabelece uma relação entre a temperatura instantânea de um objeto, sua temperatura inicial e o tempo. Inicialmente a lei do resfriamento não foi formulada como a conhecemos hoje, na ocasião o artigo descrevia um método para medir temperatura de até 100°C, o que não era possível com os termômetros disponíveis na época (SOUZA, 2017).

Pouco tempo depois o próprio Newton concluiu que a taxa com a qual um corpo perde calor é diretamente proporcional à diferença de temperatura entre o corpo e o ambiente. Essa nova formulação, como conhecemos hoje, pode ser expressa pela equação a seguir (HALLIDAY, 2016):

$$\frac{dT(t)}{dt} = -k(T - T_a) \quad (1)$$

Na fórmula, $T(t)$ é a função que descreve a variação da temperatura com o tempo, k é uma constante de proporcionalidade, que depende de fatores como cor e forma do corpo, e T_a é a temperatura do ambiente, e T é a temperatura inicial do corpo. A equação (1) é uma EDO (Equação Diferencial Ordinária) separável, e pode ser escrita da seguinte maneira:

$$\frac{1}{(T-T_a)} dT(t) = -kdt \quad (2)$$

Integrando os dois membros da equação (2), temos:

$$\ln(T - T_a) = -kt + C \quad (3)$$

Aplicando a função exponencial aos dois membros da equação (3), teremos:

$$T - T_a = e^{-kt+C} \quad (4)$$

Supondo que T_o seja temperatura inicial do corpo, para $t = 0$, pode-se reescrever a igualdade anterior na forma:

$$T(t) = T_a + (T_o - T_a)e^{-kt} \quad (5)$$

A equação (5) é utilizada para modelar o resfriamento de um corpo. Vale ressaltar que essa relação é adequada para a modelagem de resfriamento considerando prioritariamente a perda de calor por convecção e condução direta. Para os casos em que parte significativa do calor é transferido por radiação térmica essa relação não é válida; o mesmo vale para sistemas de resfriamento que sofrem mudanças de fase, como evaporação, por exemplo.

A aprendizagem de acordo com Ausubel

As teorias da aprendizagem explicam a forma pela qual nós aprendemos novos conhecimentos e os relacionamos com conhecimentos já existentes (MOREIRA, 2001). Entre as teorias cognitivistas destacamos a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel. Para ele, o fator isolado mais importante para que um novo conhecimento seja integrado à estrutura cognitiva do indivíduo, é o que o indivíduo já sabe.

De acordo com Ausubel et al. (1980) nós aprendemos a partir do que já sabemos, de forma que incorporamos o novo conhecimento ao pré-existente, de forma mais elaborada e reorganizada. Por essa razão Ausubel acredita que durante o processo de aprendizagem a estrutura cognitiva sofre uma constante reestruturação.

Moreira (2017) explica que o conhecimento novo interage com uma estrutura específica da estrutura cognitiva do indivíduo, seu conhecimento prévio, chamado por Ausubel de *subsunçor*. Ainda de acordo com Moreira (2017), essa interação não

é arbitrária, mas ocorre em duas etapas distintas, a *diferenciação progressiva* e a *reconciliação integradora*.

A diferenciação progressiva ocorre quando um novo conhecimento, ou conceito, é comparado à um conhecimento pré-existente (subsunçor) e o indivíduo consegue realizar a diferenciação entre esse conceito novo e o pré-existente, classificando esses conhecimentos (ou conceitos) em sua estrutura cognitiva de forma a reconhecer suas similaridades e diferenças (MOREIRA, 2017). Podemos entender a diferenciação progressiva como:

"o processo de atribuição de novos significados a um dado subsunçor (um conceito ou uma proposição, por exemplo) resultante da sucessiva utilização desse subsunçor para dar significado a novos conhecimentos. Lembremos que a aprendizagem significativa decorre da interação não-arbitrária e não-literal de novos conhecimentos com conhecimentos prévios (subsunçores) especificamente relevantes. Através de sucessivas interações um dado subsunçor vai, progressivamente, adquirindo novos significados, vai ficando mais rico, mais refinado, mais diferenciado, e mais capaz de servir de ancoradouro para novas aprendizagens significativas" (MOREIRA, 2010, p.5).

A reconciliação integradora por sua vez ocorre de forma simultânea à diferenciação progressiva de forma a completar o processo de ressignificação do novo conhecimento, que se relaciona com o subsunçor de maneira não arbitrária e não literal. Isso significa que a relação do subsunçor com o novo conhecimento deve possuir uma relação lógica, de diferenciação ou generalização. Podemos definir a reconciliação integradora como: "um processo da dinâmica da estrutura cognitiva, simultâneo ao da diferenciação progressiva, que consiste em eliminar diferenças aparentes, resolver inconsistências, integrar significados, fazer superordenações" (MOREIRA, 2010, p.6).

A combinação desses mecanismos, apoiada no conhecimento subsunçor, é para Ausubel a chave para a construção do conhecimento significativo. Significativo, pois esse conhecimento estabelece uma clara relação entre os demais conhecimentos existentes na estrutura cognitiva do indivíduo, não se tratando apenas de uma informação isolada.

É importante ressaltar, entretanto, que o conhecimento prévio, embora seja considerado a variável isolada mais importante para o aprendizado, não deve ser confundida com uma garantia de facilitação da aprendizagem (BRASIL, 2018). Isso porque a forma como ocorrem os processos de diferenciação progressiva e

reconciliação integradora afetam a forma como vamos integrar o novo conhecimento à nossa estrutura cognitiva, e também como vamos relacioná-lo com o subsunçor.

Portanto é fundamental que o professor exerça o papel de mediador do processo de aprendizagem para garantir que esse processo caminhe de acordo com o desejado. Ou seja, que o novo conhecimento seja compreendido de forma significativa pelo aluno. Uma maneira de ajudar o professor nessa postura é utilizar-se de metodologias de ensino investigativas, que ajudem a proporcionar autonomia do aluno.

METODOLOGIA

A aula prática foi aplicada a alunos do curso de física do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, em Abril de 2021, em uma turma com doze alunos, aqui identificados em ordem alfabética de chamada, de A1 até A12. O número reduzido de alunos facilita bastante a aplicação, visto que é possível dedicar mais tempo às dúvidas individuais. A metodologia está subdividida em duas partes: a parte experimental em si e a descrição das atividades realizadas com os alunos.

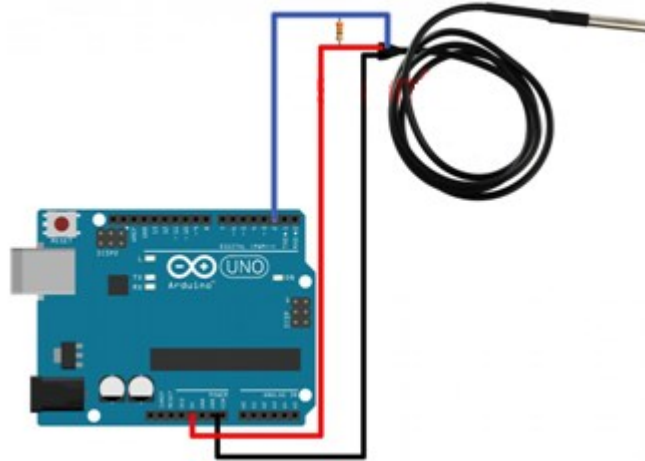
Procedimento experimental

Para realizar o experimento nos utilizamos dos seguintes materiais:

- 01 Arduino UNO (ou outra versão qualquer);
- 01 resistor de 4,7k Ω ;
- 01 sensor de temperatura (DS18B20).

Os alunos que participaram do experimento utilizaram: papel mono-log, régua, lápis e calculadora.

O sensor DS18B20 apresenta três fios; o vermelho, positivo de alimentação, deve ser ligado no pino 5,0V do Arduino, o fio preto é o negativo e deve ser ligado ao pino Gnd do Arduino, por fim o fio que sobrar (geralmente na cor amarela) deve ser ligado ao pino digital 7 do Arduino. O esquema de ligação simplificado está exemplificado na Figura 1:

Figura 1. Esquema de ligação do sensor DS18B20

Fonte: https://www.usinainfo.com.br/1009999-thickbox_default/sensor-de-temperatura-ds18b20-a-prova-d-agua.jpg

Na Figura 1 é possível ver também que o resistor de $4,7k\Omega$ deve ser conectado em paralelo, com o fio vermelho (5v) e o amarelo (Sinal), de forma a reduzir a voltagem de saída do sensor, para certas faixas de temperatura.

Feitas as conexões com o Arduino, a configuração do *hardware* estará completa; para finalizar a parte do *software*, devemos abrir o ambiente de programação do Arduino (IDE). O ambiente de programação é o *software*, gratuito, no qual os comandos devem ser inseridos para que o Arduino funcione conforme comandos específicos. Em nosso caso basta abrir esse *software* e copiar o código mostrado na Figura 2:

Figura 2. Programação do sensor DS18B20.

Lei do resfriamento de Newton: experimento com Arduino em aula remota

```
#include <OneWire.h> //Inclui biblioteca de leitura
#include <DallasTemperature.h> //Biblioteca do sensor

#define DS18B20 7 //Definição do pino do sensor

OneWire ourWire(DS18B20); //Configura instância de comunicação
DallasTemperature sensors(&ourWire); //Interliga as bibliotecas

void setup() { //Comandos só ocorrem uma vez ao ligar o sistema
  Serial.begin(9600); //Taxa de informação, início da serial
  sensors.begin(); //Inicialização do sensor
  delay(1000); //Aguarda 1 segundo para inicializações
}

void loop() {
  sensors.requestTemperatures(); //Pede a temperatura
  Serial.print(sensors.getTempCByIndex(0)); //Imprime valor na serial
  delay(500); //Aguarda 500 milisegundos
}
```

Fonte: O autor

Após copiar o código, mostrado na Figura 2, no software, devemos enviar o código para o Arduino (clicando no botão “carregar”) e o sistema passará a exibir os valores de temperatura medidos pelo sensor, com precisão de décimos de graus, em intervalos de 0,5s. Esses valores serão exibidos no monitor serial em tempo real e utilizados para a modelagem da Lei do resfriamento.

Atividades realizadas

A estratégia adotada na aula foi utilizar a *webcam* para apresentar aos alunos o aparato de coleta de dados; posteriormente foi realizado um levantamento das ideias prévias dos alunos sobre o que esperavam da curva de resfriamento. A seguir foi apresentada a base teórica da Lei do resfriamento, demonstrando a equação (5) a partir da equação (1). Isso foi feito de forma expositiva, enquanto o sensor já media a temperatura do resfriamento do corpo.

Para o tratamento dos dados, os alunos tinham recebido previamente um arquivo de imagem que deveriam imprimir para a aula, a saber uma folha A4 na escala mono-log. O papel mono-log consiste em um sistema de eixos perpendiculares, dos quais aquele horizontal é dividido de maneira uniforme, conforme o habitual modo linear, enquanto o eixo vertical apresenta uma escala logarítmica. Dessa forma, ao traçar o gráfico de uma função similar à (5), obtemos uma reta, cujo coeficiente linear é dado por $-k$.

Assim, utilizando pares ordenados (t, T) obtidos graças ao Arduino, o aluno deveria conseguir traçar o gráfico de uma reta no papel mono-log e calcular seu coeficiente angular, para determinação de k . Os outros parâmetros, T_o e T_a , foram fornecidos pelo Arduino e pelo termômetro na sala, respectivamente. Após a conclusão do gráfico os alunos deveriam enviar digitalizações dos diagramas que construíram.

Essa metodologia permitiu que o aluno visualizasse os dados do experimento, e os analisasse em casa, sem a necessidade do contato presencial com o experimento, trabalhando apenas com os valores obtidos de forma remota.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Resultados experimentais

Antes de começar a atividade propriamente dita, foi necessário realizar medidas para obter os parâmetros da equação (5), de modo a compará-los com os resultados dos alunos. O teste foi realizado com o mesmo recipiente utilizado na aula prática, a saber, uma caneca na cor preta (visível na Figura 3). A sala foi mantida na mesma temperatura, com o auxílio de um equipamento de ar condicionado, aproximadamente 25°C , e foi utilizada a mesma quantidade de água, $(250 \pm 1)\text{ml}$. a Figura 3 a seguir mostra o ambiente de testes.

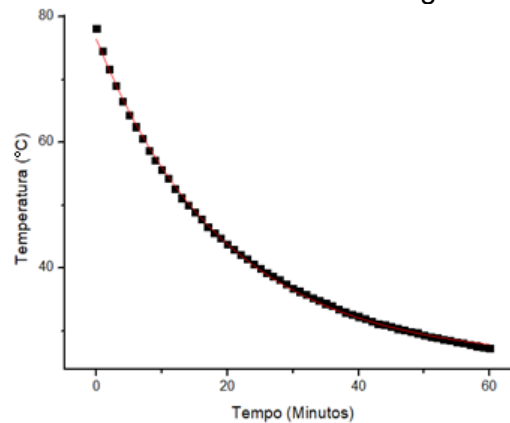
Figura 3. À esquerda o Arduino Uno ligado ao sensor DS18B20, ao lado a caneca com água aquecida e o a ponta do sensor mergulhada no líquido.



Fonte: O autor

Foi realizada a coleta de dados do resfriamento do sistema, em um intervalo total de uma hora, com aquisição de dados a cada 500ms. Os dados do monitor serial deram origem ao gráfico mostrado na Figura 4:

Figura 4. Gráfico do resfriamento da água na caneca.



Fonte: O autor

No teste, a temperatura inicial da água na caneca resultou ser 77,12°C, e a temperatura do ambiente, medida com um termômetro colocado sobre a mesa relativamente próximo à caneca, 25,2°C.

Para a obtenção dos parâmetros da equação (5), utilizou-se um *software* (*Origin 8.5*) para modelar a curva do gráfico mostrado na Figura 4 por meio de uma função matemática. A função sugerida pelo *software* é representada pela equação 6:

$$y = y_0 + A_1 e^{-x/t_1} \quad (6)$$

Para esse modelo de função o *software* ajustou os parâmetros retornando os valores $y_0 = (25,50 \pm 0,18)$, $A_1 = (50,93 \pm 0,20)$ e $t_1 = (19,55 \pm 0,22)$. Comparando as equações (5) e (6), temos então que, para nosso sistema de resfriamento, a equação modelada é da forma:

$$T(t) = 25,5 + 50,93e^{-0,051t} \quad (7)$$

Como se vê y_0 corresponde à temperatura ambiente e o parâmetro A_1 à diferença entre a temperatura inicial do sistema e a temperatura ambiente; no teste tivemos $(77,12 - 25,2)^\circ\text{C} = 51,92^\circ\text{C}$, valor muito próximo daquele obtido pelo ajuste. Já $\frac{1}{t_1}$ corresponde ao parâmetro k presente na lei do resfriamento (veja-se a equação (5)), e depende das características do corpo; fatores como cor (que afeta a emissividade), massa, área de contato, entre outros, influenciam o valor desse parâmetro.

Resultados da aprendizagem

Utilizando a *webcam*, o professor mostrou aos discentes o aparato de coleta de dados e explicou brevemente seu funcionamento; em seguida colocou a água, já aquecida, e o sensor posicionado dentro do sistema. Ao abrir o monitor serial do Arduino, com a tela compartilhada, os alunos puderam acompanhar a medição de temperatura em tempo real.

Antes de iniciar o tratamento teórico foi perguntado aos alunos como esperavam que a curva (*Temperatura X Tempo*) se comportaria. Os alunos demonstraram uma boa ideia da compreensão do fenômeno, afirmando, em geral, que o gráfico seria com certeza decrescente.

Entretanto, ao serem questionados sobre a forma do decrescimento, mais especificamente sobre o tipo de função que que melhor modelaria o fenômeno, os alunos mostraram-se. Um deles, A3, afirmou que se trataria de uma reta, conforme a transcrição a seguir:

"A3: Acho que vai ser decrescente linear, uma reta[...]"

A afirmação de A3 está de acordo com a ideia de Ausubel (1980) segundo a qual, tendo como referência nossa experiência, criamos em nossa estrutura cognitiva modelos que descrevem, aproximativamente, os fenômenos que observamos. Entretanto, apenas quando confrontados com mais informações conseguimos realizar a diferenciação progressiva, para ajustar aos modelos pré-existentes regras mais precisas de funcionamento.

Outros três alunos se pronunciaram de forma similar a A3 (A1, A9 e A11). Dois outros (A5 e A8) fizeram previsões mais próximas daquilo que ocorre de fato como pode ser visto na fala da aluna A8:

"A8: Vai diminuir mais no início...[inaudível]...depois fica mais linear, mas no início é tipo exponencial[...]"

Em sua fala, a aluna A8 descreve seu raciocínio, expondo simultaneamente o que ela entende que acontecerá e o que pensou para supor esse modelo. Embora não esteja estritamente correto, o raciocínio inicial é realmente idêntico à origem da equação de resfriamento (equação 1) proposta por Newton. De forma que a taxa

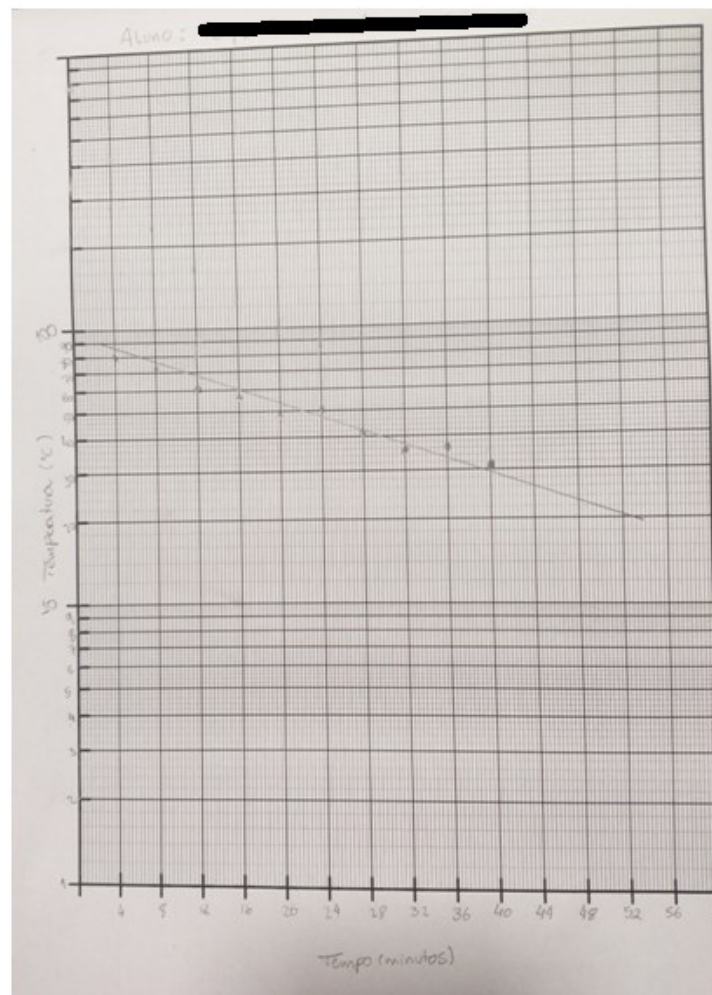
com que se dá a transferência de calor depende da diferença entre a temperatura do corpo e do ambiente.

Após esse momento, o professor deixou o sistema realizar a leitura da temperatura, enquanto explicava a lei do resfriamento, seu surgimento, sua demonstração analítica e abordou uma discussão sobre os limites de sua validade. Posteriormente os alunos também foram orientados sobre a utilização do papel mono-log.

O papel mono-log, do qual falamos na seção 3.2, é particularmente útil para analisar uma função exponencial, pois permite transformá-la em uma reta. Com efeito, conforme explicado anteriormente, o eixo vertical acomoda uma escala logarítmica, enquanto o horizontal encontra-se uma escala linear. As divisões verticais são chamadas de "décadas" e a marcação de pontos nesse tipo de papel resultará justamente em uma reta, se a função for exponencial. Na realidade essa é uma distorção de proporção proposital, pois aplicando as propriedades de logaritmo, podemos estimar com boa precisão os parâmetros da equação exponencial a partir de elementos da reta obtida.

Após uma hora de aula, os dados foram compartilhados com os alunos em formato de tabela, para que esses pudessem elaborar os gráficos e calcular o coeficiente angular (k), para enfim realizar a comparação com o parâmetro obtido antecipadamente. Os alunos precisaram de um tempo médio de 13 minutos para elaborarem os gráficos, e obtiveram valores de coeficiente angular relativamente próximos ao esperado. Um dos gráficos dos alunos é mostrado na Figura 5:

Figura 5. gráfico feito por A5, escala do papel mono-log.



Fonte: O autor

Assim como no diagrama representado na Figura 5, os gráficos dos outros alunos também apresentaram falta de alguns elementos, como a barra de erros, critérios para a escolha da melhor reta, entre outros. Entretanto, todos conseguiram esboçar a reta, e estimar o coeficiente angular, representando o parâmetro k da equação. A média dos erros obtidos pelos dados dos alunos, para k , foi de $\pm 8,6\%$.

Tão importante quanto o resultado experimental, foi evidentemente o resultado de aprendizagem, que pôde ser apreciado nas perguntas finais aos alunos. Aqueles que antes afirmaram que o comportamento seria linear, por exemplo compreenderam que a diferença de temperatura afeta a taxa de calor transferida, o que foi constatado tanto visualmente, enquanto observavam os dados do experimento, quanto durante a demonstração da equação do resfriamento. O que ficou também reforçado pela análise da equação (5), que confirma que a curva de resfriamento deve ser exponencial.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observando os objetivos do trabalho, de proporcionar o aprendizado teórico do resfriamento dos corpos, associado à uma demonstração do aspecto fenomenológico. Percebemos que os gráficos mostrados pelos alunos, associados aos depoimentos dos mesmos, indicaram que houve aprendizagem significativa em relação ao tema.

Podemos afirmar isso pois foi possível acompanhar o processo de diferenciação progressiva, e reconciliação integradora, à medida que os alunos começaram a pensar no conceito do resfriamento de forma mais estruturada, como pôde ser observado nos relatos dos alunos. O que é diferente de uma aceitação passiva de uma informação.

Quanto à atividade experimental em si, os alunos mostraram bastante entusiasmo na participação, o que pode ser notado pelo grande engajamento em responder às perguntas e no decorrer da própria aula. A utilização da eletrônica, em especial do Arduino, proporcionou um perceptível aumento no interesse dos discentes pela observação do fenômeno, provavelmente por terem acesso em tempo real à medição, enquanto acontecia a variação da temperatura da água.

Por fim, entendemos que o momento de ensino à distância possui seus próprios desafios, mas acreditamos que práticas que busquem propiciar uma maior participação dos alunos, sem deixar de lado o formalismo necessário ao tratamento dos temas, são exemplos de práticas bem sucedidas no ensino de física.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, M. S. T., ABIB, M. L. V. dos S. **Atividades Experimentais no Ensino de Física: Diferentes Enfoques, Diferentes Finalidades.** Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 25, no. 2, Junho, 2003.
- AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; e HANESIAN, H. **Psicologia Educacional.** 2. ed. Rio de Janeiro: Interamericana. Tradução ao português de Eva Nick et al. de Educational psychology: a cognitive view (1968). 1980.
- BRASIL. **Ministério da Educação.** Base Nacional Comum Curricular. Brasília, 2018.
- CORRALLO, M. V. JUNQUEIRA, A. C. **A lei de esfriamento de Newton utilizando a automatização da tomada dos dados por meio do Arduino.** XXI simpósio nacional de ensino de física – SNEF 2015.

- DIEFENTHÄLER, A. T. **Determinação da curva de resfriamento da água em ampolas de garrafas térmicas**. revista Mundi engenharia, tecnologia e gestão. Curitiba, PR, v. 1, n. 2, 21, jul./dez., 2016.
- FILHO, J. A. et. al. **O ensino de física e a lei do resfriamento de Newton no cálculo do calor específico de metais**. Revista do professor de física, v. 4, n. 3, p. 73-83, Brasília, 2020.
- HALLIDAY, D. RESNICK, R., WALKER, J. **Fundamentos de Física - Vol. 2-** Gravitação, Ondas e Termodinâmica, 10ª edição. LTC, 06/2016. Vital Book file.
- HEIDEMANN, A. L. et. al. um ciclo de modelagem sobre a lei de resfriamento de Newton. XX simpósio nacional de ensino de física – SNEF 2013.
- HEIDEMANN, L. A. et. al. **Atividades experimentais com enfoque no processo de modelagem científica: Uma alternativa para a ressignificação das aulas de laboratório em cursos de graduação em física**. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 38, nº 1, 1504 (2016)
- LARA, A. L. **Ensino de física mediado por tecnologias de informação e comunicação: um relato de experiência**. XX Simpósio Nacional de Ensino de Física – SNEF 2013 – São Paulo, SP.
- MONTEIRO, M A. A. **O uso de tecnologias móveis no ensino de física: uma avaliação de seu impacto sobre a aprendizagem dos alunos**. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências. Vol. 16, No1, 2016
- MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**. In: MOREIRA, A. M. Teorias de Aprendizagem. São Paulo: E.P.U., 2. ed., p. 159-173, 2017.
- MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F. S. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Centauro, 2001.
- MOREIRA, M. A. **O QUE É AFINAL APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA?**. Aula inaugural, Universidade Federal do Mato Grosso, 2010.
- PEREIRA, I. M. N. BARBOZA, C. M. **Teoria e prática na lei de resfriamento de Newton ensino da matemática em debate**, São Paulo, v. 5, n. 1, p. 45 – 53, 2018.
- SARTORELLI, J. C. et. al. **A Lei de Esfriamento de Newton Introdução às Medidas em Física - Parte II**. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 21, no. 1, Março, 1999.
- SOUZA, L. F. **Um experimento sobre a dilatação térmica e a lei de resfriamento**. 2017. 26.f. Monografia de Conclusão de Curso – Licenciatura em Física -departamento de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.