

**AS IMPLICAÇÕES DA PROBLEM-BASED LEARNING (PBL) NO ENSINO DA  
TERMODINÂMICA NO ENSINO MÉDIO**

*THE IMPLICATIONS OF PROBLEM-BASED LEARNING (PBL) IN THE TEACHING OF  
THERMODYNAMICS IN HIGH SCHOOL*

*LAS IMPLICACIONES DEL APRENDIZAJE BASADO EN PROBLEMAS (ABP) EN LA ENSEÑANZA DE  
LA TERMODINÂMICA EN LA EDUCACIÓN SECUNDARIA.*

**Graziele Aparecida Correa Ribeiro**

Mestra em Ensino de Ciência e Tecnologia, Centro Universitário Internacional Uninter (UNINTER)

<https://orcid.org/0000-0002-5126-9101>

E-mail: graziele.r@uninter.com

**Thaís Rafaela Hilger**

Doutora em Ensino de Física, Universidade Federal do Paraná (UFPR)

<https://orcid.org/0000-0003-3463-3212>

E-mail: thais.hilger@gmail.com

## RESUMO

Este trabalho teve origem em uma escola pública do Estado do Paraná, na qual uma turma de 28 estudantes do 2º ano do Ensino Médio, no ano de 2022, teve contato com o ensino de Física por meio da aprendizagem baseada em problemas, originalmente intitulada Problem-Based Learning (PBL). O objetivo da pesquisa foi investigar as contribuições da metodologia PBL no processo de aprendizagem dos estudantes em torno da temática da termodinâmica. Para a coleta de dados da pesquisa, foram utilizados os passos da PBL de Jonassen (2010), juntamente com um roteiro de instruções de Barros (2020). Os resultados demonstram uma contribuição significativa na aprendizagem dos estudantes, os quais apresentaram maior interesse e disposição para resolver problemas com situações abertas e reais.

**Palavras-chave:** Problem-Based Learning; ensino de física; termodinâmica.

## ABSTRACT

This study originated in a public school in the State of Paraná, where a high school class in the year 2022 was exposed to the teaching of Physics through problem-based learning (PBL). The research aimed to investigate the contributions of the Problem-Based Learning methodology to the students' learning process regarding the thermodynamic theme. To collect research data, Jonassen's (2010) PBL steps were followed, alongside an instructional script by Barros (2020). The data indicate a significant contribution to the students' learning, as they demonstrated increased interest and willingness to solve problems with real and open-ended scenarios.

**Keywords:** Problem-Based Learning; Teaching Physics; Thermodynamics.

## RESUMEN

Este trabajo tuvo origen en una escuela pública del Estado de Paraná, en el que un grupo de 28 estudiantes de 2º año de la educación secundaria, en el año 2022, tuvo contacto con la enseñanza de Física por medio del aprendizaje basado en problemas, originalmente titulado Aprendizaje Basado en Problemas (ABP). El objetivo de la investigación fue investigar las contribuciones de la metodología PBL en el proceso de aprendizaje de los estudiantes acerca de la temática de la termodinámica. Para la recolección de datos de la investigación, se utilizaron los pasos del ABP de Jonassen (2010), junto con un guion de instrucciones de

Barros (2020). Los resultados demuestran una contribución significativa en el aprendizaje de los estudiantes, quienes presentaron mayor interés y disposición para resolver problemas con situaciones abiertas y reales.

**Palabras clave:** Aprendizaje Basado en Problemas; enseñanza de física; termodinámica.

## INTRODUÇÃO

Após o período de pandemia, ocorrido no ano de 2022, de acordo com Phillipps *et al.* (2022), tornou-se necessário levar para sala de aula situações que problematizam a realidade vivenciada pelos estudantes, e que os coloquem no centro do processo de aprendizagem. O período de aulas remotas contribuiu para a defasagem dos estudantes, afastando-os do conhecimento científico, o que os distancia da visualização da ciência como um todo. De acordo com Morin (2005), o ensino fracionado impede que o estudante compreenda situações reais do seu cotidiano, o que o impossibilita de exercer a sua criticidade.

O ensino de Ciências, especificamente o ensino de Física, é muito questionado pelos estudantes, com perguntas como: “por que aprender isso?”; “onde irei utilizar?”, o que, de acordo com Rosnay (2013), tratam-se de perguntas que, na maioria das vezes, não são respondidas, uma vez que o ensino se pauta no sistema cartesiano e o que se ensina é apresentado longe da realidade do estudante, causando desinteresse e falta de compressão de situações que poderiam ser explorados em diversas vertentes, não somente na aplicação de fórmulas.

Dessa maneira, na maioria das vezes os estudantes coletam dados e fazem aplicações sem entender o motivo de suas ações, o que os coloca em uma situação limitante, pois não compreendem o sentido do processo. De acordo com Jonassen (2000), a maioria das situações que se vivencia são problemas reais, portanto, é imprescindível fazer com que haja a compreensão e resolução dessas situações em torno de uma teoria concreta, para que se possa resolver situações conflituosas que venham a surgir na escola, na casa, na rua. Sendo assim, o objetivo é investigar as contribuições da metodologia da *Problem Basead Learning* (PBL) no ensino de Física, na temática da termodinâmica, em torno da seguinte problemática: de que maneira a PBL pode contribuir na aprendizagem de estudantes de Física em uma perspectiva interdisciplinar?

A temática em torno da termodinâmica se deu por conta das observações dos pesquisadores que, durante as aulas, evidenciaram dificuldades de compreensão de conceitos base dos alunos para o entendimento das leis da termodinâmica, o que os fez buscar novas metodologias que pudessem sanar ou diminuir essas dificuldades. Como metodologia, foi utilizado a PBL, que permite trazer o aluno para o centro do processo cognitivo, desmistificando o ensino convencional que, de acordo com Freire (1991), apenas contribui para um amontoado de informações desconexas da realidade do estudante.

Destaca-se que a resolução de problemas utiliza como base a vertente de Jonassen (2000), que coloca o problema como uma entidade aberta, no qual o estudante desenvolve habilidades de resolução e sistematiza todas as ideias para determinar a solução final, que pode ser encontrada traçando diversos caminhos. A utilização da PBL como resolução aberta de problemas levará o estudante a perpassar a forma disciplinar de enxergar o conceito físico, construindo o conhecimento naquilo que Morin (2013) chama de religação dos saberes.

## **AS MARCAS DEIXADAS PELO SISTEMA NEWTONIANO-CARTESIANO NO ENSINO DE CIÊNCIAS**

O sistema de ensino brasileiro apresenta uma estrutura curricular fragmentada, tratando as áreas de conhecimento como disciplinas isoladas. Para Japiassu (1976), a escola, por sua estrutura disciplinar, desperta pouco interesse nos estudantes, pois ao ser separada em séries e conteúdos disciplinares, distancia-se dos saberes científicos.

Para que se possa compreender a estrutura atual do ensino, deve-se ater no sistema mecanicista proposto por Descartes, que de acordo com Capra (2004, p. 34): “baseou sua concepção de natureza na divisão fundamental de dois domínios independentes e separados- o da mente e o da matéria”. Essa visão simplista da ciência, apresentada de forma dualista, separa o sujeito do objeto e permanece arraigada no sistema de ensino até os dias atuais.

Nesse mesmo sentido, Morin (2000) contribui ao trazer que o sistema mecanicista separou o conhecimento nas grandes áreas, os quais são apresentados na escola. Behrens (2013), complementa ao dizer que a visão linear “fragmentou o saber, repartiu o todo, dividiu os cursos em disciplinas estanques, em período e em séries. Levou as universidades

a se organizarem dividindo a ciência em centros, departamentos, divisões e seções” (Behrens, 2013, p. 22). Essa divisão trazida pelos autores reflete a realidade de toda a estrutura educacional, que ano após ano continua inerte, oferecendo a mesma metodologia de ensino desde o século XX: o ensino convencional.

Morin (2013) traz que essa visão mecanicista da ciência é o que leva ao reducionismo emergente do século XX, momento em que os pesquisadores acreditavam que seria possível conhecer o todo por meio do estudo isolado das partes. Essa visão fragmentada do todo, para Le Moigne (2013), impacta o ensino de ciências e seu processo de aprendizagem.

Para Ardoino (2013), o espaço em que se observa essa maior fragmentação é a escola, em contrapartida, é o espaço que maior oferece meios de explorar situações sistêmicas (interdisciplinares), pois apresenta uma gama grande de pessoas, com diferentes idades e curiosidades, que podem ser exploradas nas mais diversas formas, visando uma crescente liberdade no que tange o sistema mecanicista de ensino. Sobre isso, Correa (2021) reflete que:

quanto maior for à fragmentação dos saberes maior será a nossa incapacidade de pensar nos problemas e enxergar o contexto, acabamos por cair na cegueira, de perpetuar um ciclo de forma inconsciente e irracional. E as nossas escolas e instituições superiores acabam caindo na ignorância ao optarem pela superespecialização, uma vez que ao combaterem e corrigirem essas falhas obedecem a uma ordem natural (Correa, 2021, p. 42).

Nesse sentido, para que haja uma melhoria nesse processo de ensino, é crucial que as práticas e metodologias de ensino sejam repensadas, a fim de que haja uma mudança na visão de mundo do docente e na do educando, naquilo que Capra (1996) chama de “teia da vida”, que é quando todas as partes que foram fragmentadas pelo ensino reducionista são conectadas e estabelecem relações entre si.

## **A PROBLEM BASEAD LEARNING E SUA INFLUÊNCIA NO ENSINO DE CIÊNCIAS**

A *Problem Basead Learning* (PBL) ou aprendizagem baseada em problemas (ABP), como é chamada no Brasil, surgiu como metodologia de ensino no Canadá, na década de 1950, na *McMaster University's Faculty of Health Science* (Barrows, 1980), a fim de tentar sanar as dificuldades de graduandos em medicina, que por estarem imersos em um ensino fragmentado e motivados por teorias obsoletas, apresentavam muita dificuldade de

relacionar teoria com a prática profissional, porém, dispunham de grande motivação ao terem que solucionar problemas reais dos pacientes (Barrows, 1980).

Essa metodologia passou a ser amplamente difundida, chegando na Universidade de Marília (SP) e Universidade Estadual de Londrina (PR), em 1990, ambas faculdades de medicina (Batista *et al.*, 2005), ganhando campo na área de ensino por se fundamentar na resolução de problemas contextualizados, que fazem parte do cotidiano do estudante e estimulam o processo de argumentação e criticidade.

De acordo com Jonassen (2000), a PBL se preocupa com problemas da realidade do estudante, pois constantemente resolve problemas, dando-lhes variadas soluções. Essa metodologia é centrada no problema, diferentemente do que ocorre no ensino convencional, em que os estudantes devem dominar os conteúdos e depois aplicá-los ao problema. Jonassen (2010) define que “a PBL é centrada no estudante, e o conhecimento que ela apresenta deve fazer parte de um contexto relevante. O conhecimento é construído de forma individual e socialmente reconstruído a partir de interações com o ambiente” (Jonassen, 2010, p. 488).

Para Jonassen (2010), a PBL é uma metodologia instrucional, que tem como objetivo a melhoria da aprendizagem do estudante, fortalecendo a sua capacidade de resolver problemas e construir a aprendizagem, dessa maneira, pode-se definir suas principais características da seguinte maneira:

- 1- O problema é focado, de tal forma que os alunos aprendem abordando simulações de um problema autêntico e mal estruturado (com diversos caminhos para a solução);
- 2- As habilidades e conteúdo são desenvolvidos em torno dos problemas, e não como uma lista hierárquica de tópicos, de modo que existe uma relação recíproca entre o conhecimento e o problema;
- 3- A construção do conhecimento é estimulada pelo problema e aplicado em torno dele;
- 4- É centrada no aluno, porque os conteúdos disciplinares não podem ditar a aprendizagem;
- 5- É autodirigida, podendo os alunos individualmente ou em grupos, assumirem a responsabilidade para a geração de problemas e processos por meio da autoavaliação, para acessarem seus próprios materiais de aprendizagem;
- 6- É autorreflexivo, os alunos monitoram sua compreensão e aprendem a ajustar as estratégias de aprendizagem (Jonassen, 2010, p. 489).

Ainda sobre as características da PBL, Jonassen (2010) complementa que é definida por quatro etapas:

**Primeira etapa:** Os alunos em grupo fazem ligação da situação real com o problema, definem aquilo que já sabem, em que hipóteses ou conjecturas podem pensar, para amarrar o problema e compreender as suas dimensões;

**Segunda etapa:** durante o estudo dirigido, cada aluno completa as suas tarefas, estudam os recursos e preparam os relatórios para a discussão em grupo;

**Terceira etapa:** Os alunos compartilham seu aprendizado com o grupo, e discutem o problema, gerando hipóteses adicionais e rejeitam outras, de acordo com a sua aprendizagem;

**Quarta etapa:** No final do período determinado (normalmente uma semana) os alunos concluem e entregam aquilo que aprenderam (Jonassen, 2010, p.491).

Percebe-se que o método ancorado na PBL, pautado nas etapas descritas por Jonassen (2010), favorece a construção do conhecimento por parte do estudante que não tem contato com o conceito fragmentado, mas que tem a possibilidade de construí-lo etapa por etapa, utilizando as múltiplas inteligências dos estudantes. Essas múltiplas inteligências, conforme Gardner (1983), incluem a inteligência linguística, lógica-matemática, espacial, corporal-cinestésica, musical, interpessoal, intrapessoal e naturalista.

Na proposta pedagógica da PBL, essas inteligências dialogam com o processo de ensino-aprendizagem de forma integrada, permitindo que os estudantes contribuam para a resolução do problema com base em suas diferentes habilidades. Por exemplo, a inteligência lógica-matemática é mobilizada na análise e resolução de cálculos, enquanto a interpessoal favorece o trabalho em equipe e o debate de ideias. Dessa forma, a abordagem valoriza a diversidade de formas de pensar e aprender, incentivando o protagonismo e a colaboração no processo de construção do conhecimento.

## A IMPORTÂNCIA DA TERMODINÂMICA NO ENSINO DE FÍSICA

A termodinâmica se configura como uma temática geradora de discussões, a qual se encaixa perfeitamente na classificação da estrutura de problemas da PBL que podem ser discutidos em sala de aula. Rondow Junior e Oliveira (2009) discorrem que a conservação da energia descreve os principais problemas ambientais enfrentados pelo mundo no século XXI.

De fato, ao pensar na Revolução Industrial, no século XIX, tem-se o início do controle da energia, por meio da construção de máquinas térmicas e, conseqüentemente, sobre os meios de produção em larga escala, o que impacta diretamente o meio ambiente. As mudanças climáticas extremas do planeta, devido ao aquecimento global, têm causado

“grande preocupação quanto aos riscos de sua intensificação e aos seus reflexos sobre o clima do planeta” (Xavier; Kerr, 2004, p. 328).

Praia, Gil e Vilches (2007) corroboram ao colocar que o cidadão contemporâneo deve ser capaz de argumentar em torno de questões socio-científicas, com essa relação ampla entre ser humano e ambiente, de forma que seja passível gerar argumentações e reflexões éticas e morais em torno da conscientização do uso e controle de energia. Assim, Sartoreli, Hosoume e Yoshimura (1999) trazem a seguinte colocação sobre a importância da abordagem da termodinâmica em sala de aula:

O estudo e a compreensão dos processos termodinâmicos são de fundamental importância para o entendimento da Física, dado o princípio da irreversibilidade inculcado nesses processos e nas aplicações tecnológicas deles advindas. [...]pela sua complementaridade à mecânica, tem grande relevância na compreensão do mundo tecnológico, em cuja base estão as transformações que envolvem calor (Sartorelli; Hosoume; Yoshimura, 1999, p. 116).

Moreira e Silveira (2006) colocam que os conceitos de calor e temperatura são conceitos-chave dentro da termodinâmica e que não podem ser trabalhados de maneira desconexa com a realidade, complementando os autores supracitados, Rondow Junior e Oliveira (2009) salientam que “objetiva-se que os alunos não só terminem o Ensino Médio capazes de definir o que seja calor, energia, entropia, equilíbrio térmico, como também que sejam capazes de perceber como tais conceitos estão presentes em seu cotidiano” (Rondow Junior; Oliveira, 2009, p.7). É certo que:

A aplicabilidade dos conceitos associados ao estudo da energia e da termodinâmica é muito extensa. Seja para a compreensão de como os processos de aquecimento e resfriamento de ambientes ocorrem ou mesmo para se iniciar um entendimento a respeito da forja de materiais, ou até mesmo no que tange à produção de trabalho mecânico a partir do calor, em qualquer desses casos, vamos nos deparar com problemas e questões relevantes e atuais, que devem envolver o estudante e despertar nele um interesse por toda a problemática abarcada (Rondow Junior; Oliveira, 2009, p.8).

Nesse contexto, a proposta vai de encontro com o que é defendido pela Base Nacional Comum Curricular (Brasil, 2018), que destaca a importância de práticas pedagógicas que articulem o conhecimento científico com a realidade dos estudantes, promovendo o protagonismo juvenil, a capacidade argumentativa e a resolução de problemas complexos. A abordagem da termodinâmica, por meio do método PBL, alinha-se ao desenvolvimento das competências 2 e 6, que visam, respectivamente, a utilização de diferentes linguagens e ferramentas para expressar, comunicar e aplicar conhecimentos

científicos, a compreensão da interdependência entre os fenômenos naturais e sociais para tomar decisões éticas e responsáveis no cotidiano. Dessa forma, a proposta fortalece a interdisciplinaridade e o desenvolvimento de competências socioemocionais e cognitivas, promovendo uma educação científica crítica e reflexiva.

## **METODOLOGIA**

A natureza dessa pesquisa é qualitativa, pois surgiu dos questionamentos dos pesquisadores em torno da importância da temática da termodinâmica no ensino de Física sob a vertente da PBL. Silva e Menezes (2005, p. 20) ressaltam que “a pesquisa qualitativa considera que há uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, isto é, um vínculo indissociável entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito que não pode ser traduzido em números”. Essa perspectiva é essencial para a abordagem PBL, pois valoriza a interação entre os conhecimentos prévios e a construção de novos saberes por meio de problemas contextualizados e da subjetividade do estudante no processo de aprendizagem.

Para analisar os dados, utilizou-se um questionário como instrumento de coleta. Gil (1999) define o questionário como uma técnica de investigação composta por um número mais ou menos elevado de questões, apresentadas por escrito às pessoas, com o objetivo de conhecer opiniões, crenças, sentimentos, interesses, expectativas, situações vivenciadas, entre outros aspectos. A escolha desse instrumento está alinhada à metodologia da PBL, conforme descrita por Jonassen (2010), pois permite coletar dados que refletem as percepções e experiências dos estudantes ao resolverem problemas contextualizados em sala de aula.

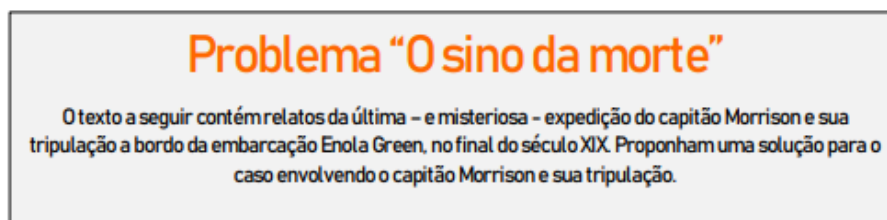
Ressalta-se, portanto, que a estrutura metodológica dessa pesquisa está ancorada na metodologia da PBL, evidenciando a coerência entre a abordagem qualitativa, a utilização do questionário e o foco na interação dinâmica entre sujeito e conhecimento na construção de saberes científicos. Os sujeitos da pesquisa foram 28 estudantes do Ensino Médio, de uma turma de 2º ano, em uma escola pública do Paraná, no ano de 2022. Por meio da investigação, durante dez aulas de 50 minutos, foram constituídos os dados para responder o problema de pesquisa.

Aula 1- leitura e conhecimento do problema: o primeiro passo tomado foi separar a turma em equipes, de acordo com a organização descrita por Jonassen (2010), em que quatro equipes foram formadas, com sete integrantes cada. Após esse momento, foi disponibilizado aos estudantes o problema, que com sua equipe teriam que solucioná-lo; o professor leu em voz alta o problema, e projetou por meio dos *slides* no quadro. Cabe ressaltar que, anterior a essa aplicação, os estudantes já haviam estudado os conceitos de calor, temperatura, Lei Zero, 1ª e 2ª Lei da Termodinâmica.

O problema escolhido está disponibilizado em um roteiro instrucional <sup>2</sup> para professores, desenvolvido em uma dissertação de mestrado profissional em ensino de Física, defendida por Barros (2020), em que o autor discorre sobre a PBL e cita dois roteiros sobre a termodinâmica que podem ser desenvolvidos em turmas de Ensino Médio.

Cada equipe recebeu o artigo<sup>3</sup> (o sino da morte), figura 1, e a problematização foi colocada para que os estudantes discutissem - embasados nos dados explícitos no artigo com suas equipes - para descobrir qual foi a real causa da morte de dois marinheiros, e por qual razão o capitão da tripulação é inocente, não tendo culpa da tragédia que aconteceu no navio.

**Figura 1:** Artigo - O sino da morte



**Fonte:** Barros (2020, p.22).

Esse texto, adaptado por Barros (2020), descreve um fato ocorrido em 1960, quando dois mergulhadores morreram no mar Norte, obedecendo ao que a PBL descreve, que o problema deve sempre emergir de uma situação real. Assim:

Conseguimos sintetizar a estória em um cenário problemático que contemplou os conteúdos relacionados a Primeira Lei da Termodinâmica. O viés histórico do desenvolvimento da Termodinâmica, descrito no texto original, foi abordado de outra forma no problema. Acrescentamos a data de 1850 ao texto para encaixá-lo dentro do período de desenvolvimento da Termodinâmica, especialmente ao que se refere às contribuições de Joule para a consolidação da Primeira Lei, em 1860. Essa relação nos permitiu conduzir a solução através de um olhar histórico da evolução do conceito de energia e das leis que governam as suas transformações (Barros, 2020, p.91).

Após a leitura do artigo, os estudantes receberam um guia de orientação, também disponibilizado no roteiro de Barros (2020), para que preenchessem a aula 1, que pode ser visto no Quadro 1.

**Quadro 1:** roteiro dirigido para aplicação da PBL

Ficha de registro de atividades do grupo tutorial		
AULA 1		
O que se sabe	Hipóteses	O que se precisa saber
AULA 2 e 3		
O que foi aprendido	Conclusões/Novas hipóteses	O que se precisa fazer
AULA 4,5,6		
O que foi aprendido	Conclusões finais	Proposição da solução
AULA 7 e 8		
Debate entre as equipes sobre as soluções finais encontradas		
AULA 9 e 10		
Avaliação da aprendizagem por meio da metodologia da PBL		

Fonte:

Adaptado de Barros (2020).

Cabe ressaltar que a ficha é apenas um modelo, ficando o professor responsável por definir o número de aulas necessárias para a aplicar a problematização e chegar em sua solução. Esse problema obedece a tudo aquilo que a PBL contempla, pois de acordo com Barros (2020):

O problema proposto consiste em investigar a causa da morte dos dois mergulhadores a partir das informações presentes no texto, que podem ser classificadas como fatos e opiniões. O cenário problemático explora outros tipos de conhecimentos, como a geografia local (Mar de Barents), o folclore nórdico (a lenda do Kraken) e conceitos de patologia (insolação). No que tange aos conteúdos específicos de Física, além do período histórico (era das máquinas a vapor e desenvolvimento da termodinâmica), o problema trata sobre pressão atmosférica e pressão hidrostática, transformações gasosas, temperatura e calor, trabalho e calor e formas de transmissão de calor (Barros, 2020, p.76).

Nessa primeira aula, os pesquisadores (professores que aplicaram a pesquisa em sala de aula) não forneceram essas informações aos estudantes, mas levantaram questionamentos: o que são as marcas vermelhas na pele dos marinheiros? Como os sinos funcionam? A pressão e a profundidade influenciam na oxigenação do sangue? O que havia nessa região nessa época? Como é definida a mitologia nórdica da região? Qual a influência das Leis da Termodinâmica nesse processo? E estudantes foram orientados a fazer o preenchimento das fichas.

AULA 2 e 3- levantamento de hipóteses- Os estudantes ficaram responsáveis de na próxima aula se basear nessas perguntas para desenvolver os seguintes objetivos:

- 1- Pesquisar sobre a geografia local; 2. Desmistificar a lenda do Kraken; 3. Pesquisar sobre o funcionamento do sino de mergulho (pressão atmosférica e hidrostática); 4. Estudar o sistema sino de mergulho - bomba de ar; 5. Estudar o contexto histórico da relação entre calor e trabalho- Primeira Lei da Termodinâmica (Barros, 2020, p.81).

Nessa aula, os estudantes foram levados à biblioteca da escola, com o intuito de atingir os objetivos propostos. Jonassen (2010) coloca que essa etapa se configura como sendo um dos maiores meios de interação, pois cada integrante pesquisa um tema e juntos preparam as soluções para discussão, sempre guiados pela orientação do professor. As equipes foram orientadas a pesquisarem sobre os objetivos propostos acima, sintetizando junto às relações encontradas, com a ideia de debater sobre a problemática e a solução do problema, orientados a anotar na ficha guiada as novas hipóteses e o que ainda precisavam descobrir.

AULA 4, 5 e 6- estudo e aprofundamento das etapas colhidas nas aulas 2 e 3. Usando os computadores da biblioteca, os pesquisadores orientaram os estudantes a debaterem os dados encontrados e irem sintetizando aquilo que poderia ser explicado por dados científicos e o que achavam que poderiam ser descartados. Nesse momento, foi aberta a discussão grupal e as dúvidas puderam ser debatidas, visando um melhor encaminhamento da solução, chegando na terceira etapa trazida por Jonassen (2010).

AULA 7 e 8- Apresentação da solução do problema. Cada equipe apresentou a sua solução do problema e houve uma discussão mais profunda da Física envolvida na situação proposta. AULA 9 e 10- Avaliação do método PBL e as relações vivenciadas pelos estudantes. Após toda a caminhada para a solução do problema, chega-se na quarta etapa de Jonassen (2010), em que os estudantes avaliam juntamente com o professor orientador aquilo que aprenderam e como acreditam que a metodologia desenvolvida em sala de aula influenciou o processo de aprendizagem. Para esse momento utiliza-se como base a autoavaliação disponibilizada por Barros (2020), porém, adaptada para a realidade escolar, modificando as perguntas. Abaixo, o Quadro 2 com as perguntas aplicadas no final do processo.

#### **Quadro 2:** Autoavaliação pós aplicação da PBL

<b>Avaliação grupal:</b>
--------------------------

<b>Caro estudante, você e sua equipe deverão escrever como se sentiram durante o processo de aplicação da PBL, e como essa metodologia influenciou na sua aprendizagem</b>
Trazer uma situação real, e fazer perguntas ajudaram você e sua equipe a resolver o problema? De que forma?
Estar trabalhando em equipes te ajudou, e ajudou a sua equipe a traçar caminhos para a solução do problema?
Por que a pesquisa foi importante nesse processo? Como você se sentiu em relação a orientação do professor?
Como você avalia todas as etapas que fizemos até chegar no final do processo?

**Fonte:** Adaptado de Barros (2020).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base nas etapas descritas na metodologia, e pautados nos quatro momentos da PBL descritos por Jonassen (2010), utiliza-se os recursos disponibilizados por Barros (2020), apresentando os resultados da influência da PBL na aprendizagem dos estudantes em torno da temática da termodinâmica em todos os momentos propostos.

Momento 1 - Leitura e conhecimento do problema: percebe-se que nesse momento que houve um grande interesse e curiosidade dos estudantes, pois estavam motivados em descobrir a causa da morte do marinheiro, organizaram-se dentro das quatro equipes e estabeleceram linhas de raciocínio para chegar a uma solução do problema. Cada estudante pesquisou as perguntas chave feitas nesse momento, a fim de que tivessem um direcionamento para começar a investigação.

Todas as equipes partiram dos seus conhecimentos prévios sobre a temática e levantaram hipóteses, como se pode observar na descrição da equipe 1, fragmento de texto retirados do roteiro de anotações:

O que sabemos: Que o mar Barents é uma região muito gelada, será que os mergulhadores morreram de hipotermia?

Nossas hipóteses: O que segurou o navio no mar foi o Kraken, será que foi ele que matou os mergulhadores?

O que precisamos saber mais? O que faz o mar de Barents ser tão gelado, e procurar a história do local. O Kraken existe? (Equipe 1, 2022).

De igual modo, a equipe 2 formulou suas teorias e, partindo das perguntas realizadas nessa aula, traçou objetivos a serem alcançados na próxima aula:

O que aprendemos: Um submarino nuclear russo, o Kursk (K-141), afundou no mar Barents. O Kraken era uma espécie de lula gigante que matava os pescadores da região com seus tentáculos (isso é real?)

Conclusões/ novas hipóteses: A radiação poderia ter afetado os mergulhadores? As marcas vermelhas na pele são de radiação? (Será que foram os tentáculos do Kraken, precisamos pensar)

O que precisamos fazer? Pesquisar sobre a radiação no local, tempo de decaimento radioativo, que material radioativo tinha o submarino? Aprofundar as pesquisas no Kraken, para descartar ou deixar como uma futura hipóteses, embora acreditamos que ele não é real (Equipe 2, 2022).

Nas equipes restantes, as teorias que surgiram foram próximas, o que mostra que o ato de desenvolver atividades grupais faz com que os estudantes compartilhem suas ideias e teorias, propondo hipóteses e soluções, que passo a passo vão se ancorando em novos conceitos e surgindo novos caminhos, como menciona Jonassen (2010), ao colocar que ação grupal permite que um estudante com dificuldade em matemática descubra que é bom em outras áreas do conhecimento e vice-versa. Isso os incentiva, pois como foi observado nesse processo, todas as equipes queriam encontrar a solução do problema e entender o que havia acontecido com os marinheiros.

Momento 2 e 3 - Levantamento de hipóteses e estudo e aprofundamento das etapas colhidas nas aulas 2 e 3: nessas etapas, os estudantes já haviam levantado as suas concepções prévias e aprofundaram suas pesquisas no laboratório da escola. Os temas aprofundados são os objetivos de aprendizagem descritos na aula 2 e 3, em que outras hipóteses mais próximas da solução do problema começaram a emergir:

O que sabemos: O Mar de Barents é a parte do Oceano Glacial Ártico e situa-se no norte da Noruega e da Rússia, naquela região encontramos extração de petróleo. Nossas hipóteses: A rotação das pás, gerou energia que aqueceu a água matando os mergulhadores, o pode ter sido a profundidade, pois quando maior a altura maior a profundidade, então pode ter sido a pressão do sino, ou uma explosão dos poços de petróleo. O que precisamos saber mais? Qual a relação do mergulho e da profundidade do sino? A pressão influencia nesse processo? Qual é a pressão que esses sinos aguentam? Qual a profundidade que os mergulhadores têm que descer para não morrerem? (Equipe 1, 2022).

Pode-se observar que, ao aprofundarem suas pesquisas, outras teorias foram surgindo e os estudantes se questionam se a linha de raciocínio que eles escolheram é válida, ou se estão colhendo informações imprecisas e não factíveis, o que faria com que eles formulassem ideias errôneas, como no caso de acreditar que o Kraken matou os mergulhadores com seus tentáculos gigantes. Desse modo, pode-se observar uma

estrutura mais concisa nas situações descritas pela equipe 4, ao focar no sino e na pressão do mergulho para descobrir se foi a diferença de pressão que matou os mergulhadores.

O que sabemos: O Mar de Barents é gelado, e naquela região ocorre o fenômeno geográfico da água morta, então descartamos o Kraken, o que segurou o navio foi a diferença de densidade das águas, temos que pensar no sino.

Nossas hipóteses: O aumento da pressão do ar no interior do sino aumentou a sua temperatura. O que precisamos saber mais? Descobrir o material das roupas dos mergulhadores, descobrir o motivo do sino ser aberto e não entrar água dentro, descobrir a temperatura do sino, e se essa temperatura ocasionaria as queimaduras dos mergulhadores (Equipe 4, 2022).

Nesse momento, Jonassen (2010) descreve a importância do ensino dirigido, assim, foi apresentado aos estudantes uma simulação do Phet colorado<sup>4</sup>, sobre o estudo e propriedade dos gases, para que pudessem reformular suas hipóteses, pois ainda havia confusão entre os termos calor e temperatura pelos estudantes, por mais que estivessem se aproximando da resposta final. Para a dúvida da pressão e da profundidade, foram orientados a estudar mais sobre a Lei de Stevin, para isso, sugeriu-se um vídeo<sup>5</sup> do YouTube que mostra uma experiência didática sobre o princípio de funcionamento do sino de mergulho e reúne bons trechos de vídeos com mergulhadores fazendo uso desse equipamento para investigar a relação da pressão e profundidade.

Momento 4 - Apresentação da solução do problema: no Quadro 3 apresenta-se a solução do problema de todas as equipes, após os momentos anteriores de discussão e orientação dos professores.

**Quadro 3:** Apresentação da solução problema pelas equipes 1,2 3 e 4

Apresentação das soluções	
Equipe I	A equipe 1 refutou a ideia do Kraken, pois ao pesquisarem sobre o fenômeno da água morta, e internalizaram que o Kraken é apenas uma mitologia, não podendo ter matado os mergulhadores. Como na segunda etapa, propuseram que o calor das pás ou a explosão do petróleo poderiam ser os responsáveis pela morte. Posteriormente, descartaram a relação do petróleo, pois ao pesquisar a geografia do local mais a fundo, perceberam que as reservas de petróleo estavam longe dos fiordes e não poderiam ter causado as queimaduras nos mergulhadores. Defenderam que o calor gerado pelo movimento das pás do navio gerou energia cinética em forma de calor (2ª Lei da Termodinâmica), e que o calor caminhou pelo sino, matando os mergulhadores. Questionados se a mudança de temperatura da água influencia nesse processo, disseram que não, pois o calor, segundo eles, foi transferido pela corrente do sino.

	<p>Embora a resposta esteja fisicamente errada, pois os fios de sustentação do sino estavam imersos na água, impedindo que o calor se propagasse, observa-se uma relação de lógica por parte dos estudantes, observando o processo de construção do conhecimento, aqui, e em todas as outras descrições a terceira etapa da PBL de Jonassen (2010), em que as teorias são refutadas e aprofundadas.</p>
Equipe II	<p>A equipe 2 encontrou na internet uma coletânea de história do Kraken e seus ataques na região da Noruega, bem como o material de estudo fornecido pelo autor do roteiro instrucional, e acabou respondendo as suas dúvidas com uma reportagem da BBC News, sobre a origem do mito e uma palestra com uma cientista, fazendo com que descartassem ser a besta mitológica a responsável pela morte dos marinheiros, pois, de acordo com a palestra e a reportagem, o Kraken teria tentáculos, o que geraria nas vítimas machucados perfurocortantes, não queimaduras. Outro ponto levantado pela equipe é que os marinheiros haviam sofrido queimaduras pela radiação emitida por um submarino russo que afundou na região. Orientados pelos professores, pesquisaram a origem da radiação e sua descoberta, identificando que o fato ocorrido no navio ocorreu antes da descoberta da radioatividade, então, essa não poderia ser o motivo da morte dos marinheiros. Descartando todas as alternativas anteriores, e com as aulas que foram guiadas e os materiais produzidos durante a pesquisa, a equipe concluiu que o que levou a morte dos mergulhadores foi a conservação da energia, expressa pela 1ª Lei da Termodinâmica, dizendo que quando maior a profundidade alcançada pelo sino, e mais oxigênio os mergulhadores precisassem, maior era o grau de agitação térmica das moléculas (temperatura), descrevendo o sino de mergulho como um sistema termodinâmico. Quando questionados sobre a variação da energia interna no mergulho, disseram que quanto maior a profundidade, maior é o grau de agitação térmica das moléculas, compreendendo o que a agitação térmica das moléculas ocasiona o aumento ou diminuição da temperatura de um corpo. Embora ainda não tenham chegado na resposta correta, observa-se que existe abstração de conceitos que corroboram para a descrição de um conceito central, que é a 1ª Lei da Termodinâmica.</p>
Equipe III	<p>Desde o início, foi a equipe que, juntamente com a equipe 1, acreditava que o sino fosse o responsável pela morte dos marinheiros. Essa equipe explicou os tipos de sino de mergulho, os abertos e os fechados, e trouxe a explicação da doença de descompressão, que é quando a mudança brusca de pressão causa bolhas nos vasos sanguíneos. Apresentaram também a profundidade máxima de mergulho do sino, que é de 200 metros, analisaram que o mar de Barents possui profundidade de 230 metros. De início, disseram acreditar que as queimaduras tinham sido ocasionadas porque os marinheiros, ao mergulharem a uma profundidade muito grande, haviam encontrado as reservas de petróleo, mas descartaram por perceber que a data de exploração de petróleo na região da Noruega não bate com as datas do acidente no navio. Ao pesquisarem, encontraram a data do acidente e relacionaram com a data do</p>

	<p>desenvolvimento da termodinâmica e dos trabalhos de Joule (1843-1878), dessa forma, apostaram que a pressão da água manteve o ar preso no interior do sino, descartando as bolhas de ar nos vasos sanguíneos e concluindo que os marinheiros morreram de insolação; porém, segundo a equipe, o calor se conduziu do motor do navio para a corrente do sino, e esse aumento de temperatura fez com que os marinheiros não aguentassem a pressão, já que, de acordo com o artigo, estavam com os olhos esbugalhados. Novamente, vê-se a inserção e refutação de dados, como coloca Jonassen (2010), por mais que a resposta não esteja fisicamente correta, em todas as partes, existe uma lógica-dedutiva que permeia o processo de aprendizagem.</p>
Equipe IV	<p>A equipe 4, foi a equipe que menos se manifestou durante os encontros, mas sempre realizou suas pesquisas, assistiu o material informado pelos professores e sua conclusão foi a fisicamente mais correta em torno da problemática. Segundo a equipe, a relação de calor e temperatura não era muito conhecida na época, tanto que mencionam os trabalhos de Joule e as relações das leis da termodinâmica. Essa equipe foi a única a discutir a relação das temperaturas diferentes da água do mar, e que isso influencia as regiões com diferentes profundidades. Segundo o grupo, conforme o sino foi descendo, encontrou regiões mais profundas, e essa mudança de pressão fez com que a energia cinética aumentasse, aquecendo o metal e atingindo os mergulhadores, chegando à conclusão de que a variação de pressão e temperatura influenciaram o grau de agitação das moléculas, fazendo com que os mergulhadores morressem de insolação e que os trajes de mergulho não foram suficientes para diminuir a temperatura corporal.</p>

**Fonte:** elaborado pelos autores (2022).

Momento 5 - Discussão das soluções apresentadas pelos estudantes: antes de se direcionar a avaliação desse método, cabe ressaltar que foi explicado que a morte dos marinheiros ocorreu devido ao aquecimento do sino de mergulho, causando a insolação; que o capitão do barco não tinha como saber o que aconteceu, pois os estudos sobre o tema ainda eram recentes e não aprofundados; que a data do acidente foi pensada, para que conseguissem relacionar com os importantes experimentos de Joule e o desenvolvimento da termodinâmica.

Salienta-se que foi satisfatório ver que todas as equipes descartaram o Kraken como o causador do acidente e buscaram conceitos científicos para encontrar a solução, por meio das pesquisas que foram orientadas no período de aula. Lembra-se o conceito de calor e temperatura, explicando que o calor se transfere entre corpos com temperaturas diferentes, fazendo com que os alunos refletissem que o barco, cujo motor era antigo e funcionava com uma fornalha, era a fonte quente, e que o sino de mergulho

era a fonte fria, mostrando que o calor não se conduziu pelo sino, como eles pensaram, mas que a energia mecânica ocasionada pelo movimento do barco, que realizou o trabalho (movimento do barco), foi transformado em energia térmica, gerando o aumento de temperatura no interior do sino, já que retira-se calor da fonte quente e rejeita-se parte dele para a fonte fria.

Ressalta-se que esse momento foi de muita discussão, pois os estudantes estavam muito curiosos e ansiosos para saber o que tinham acertado ou errado e como poderiam corrigir o erro conceitual, chegando na última etapa da PBL de Jonassen (2010), que é discutir e analisar tudo o que foi coletado durante a problematização.

Momento 6- avaliação do método PBL pelos estudantes: por meio das respostas dadas pelas equipes, é possível perceber que a PBL auxiliou de forma significativa o processo de aprendizagem, uma vez que o ensino tradicional foi superado, colocando os estudantes diante de uma situação problema que explorou a geografia do local, as questões históricas e de mitologia, as relações de calor e o desenvolvimento da termodinâmica.

Nem todas as equipes chegaram na resposta correta, porém, é possível verificar o processo de aprendizagem no decorrer das pesquisas e os questionamentos. Em relação ao fato de somente uma equipe chegar mais próximo da resolução do problema, Jonassen (2010) explica que os problemas variam em sua forma e estrutura, e que para que todos desenvolvam a capacidade de solucionar problemas com mais de uma caminho para a resolução, é necessário que exista a prática, o que foi o primeiro problema resolvido usando a PBL, então, os resultados foram significativos, podendo ser verificado pelas respostas dadas pelos estudantes, de modo que o processo foi construtivo, auxiliando na consolidação de conceitos e leis que já haviam sido trabalhados anteriormente e que ainda não tinham ficado claros.

Para primeira questão do questionário, tem-se as seguintes respostas, da equipe 2 e 4:

Analisar a situação real, nos fez ter vontade de solucionar o problema, nos sentimos como nas cenas de CSI, pois pensamos em outras situações que poderiam ser explicadas pela condução do calor. E as perguntas norteadoras, fizeram com que conseguíssemos ver relação da física térmica com o problema, a cada pergunta respondida, e comprovada pelas pesquisas, sabíamos que estávamos perto da resposta final (Equipe 2, 2022).

E complementando tem-se:

A situação real nos faz ter uma visão mais ampla da teoria com a prática, por isso é mais interessante resolver problemas assim, achamos bem mais difícil do que aplicar fórmulas, mas é gratificante chegar na resposta final. As perguntas foram guias, para que tivemos nossas hipóteses e pudéssemos testá-las (Equipe 4, 2022).

Para a segunda e terceira questão do questionário, foram selecionados os seguintes recortes, sendo considerados importantes no processo de análise, referentes a equipe 1 e 4:

O professor foi o guia nesse processo, mas ele fez com que colocássemos a mão na massa, e isso é importante porque faz com que tenhamos responsabilidade. As equipes foram importantes, porque cada um pensa de uma forma e, assim, ajudamo-nos para desenvolver as pesquisas (Equipe 1, 2022).

A pesquisa nos possibilitou entender coisas que jamais imaginamos, nos ajudou a sair da física e ir para outros caminhos e teorias. Fazer a atividade em grupo ajuda, porque cada um entende de uma forma, e isso é bom, porque no final todo mundo é ouvido. O professor auxiliou o processo, mas os responsáveis por chegar na resposta foi a equipe, e isso mostra que somos capazes (Equipe 4, 2022).

Para a última pergunta do questionário, escolheu-se o recorte da equipe 1:

Para nossa equipe foi incrível, ano passado as aulas eram online, e não tivemos a oportunidade de desenvolver coisas assim, todas as etapas fizeram com que construíssemos a solução do problema, é como se estivéssemos construindo um bolo, e o resultado, foi a resposta da insolação, não chegamos na resposta certa, mas aprendemos muito mais do que se só tivéssemos resolvido um cálculo, pois estudamos muito mais do que só a física. Espero que façamos mais atividades assim (Equipe 1, 2022).

Por meio de todas as etapas, pode-se perceber que a PBL contribuiu para que os estudantes desenvolvessem habilidades de resolução de problemas abertos (Jonassen, 2010). A aprendizagem foi alcançada, visto que, após todas as etapas realizadas, é evidenciada pelas pesquisas, reflexões, debates e ação grupal entre as equipes. Nota-se que a aprendizagem centrada no estudante fez com que fossem estimulados e estudassem para resolver o problema. A abordagem de situações reais foi bem aceita pelos estudantes, geradora de curiosidade, como Jonassen (2010) descreve que deve ser.

A ação grupal favoreceu, segundo o que os estudantes estabeleceram, para que as múltiplas inteligências fossem abordadas, já que todos os estudantes estavam livres para se envolver no que mais dominavam, o que também é defendido pelo autor acima. A pesquisa é citada pelos estudantes como caminho para se visualizar a resposta do

problema, o que é defendido por Correa (2021), que descreve a pesquisa como braço fundamental da resolução da PBL, pois estimula o estudante a ver os conceitos de forma interdisciplinar. O professor, como tutor, contribuiu para gerar autonomia e desenvolver segurança e autoconhecimento nos estudantes, como defende Jonassen (2010).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo desse trabalho foi investigar as contribuições da metodologia da PBL, no ensino da termodinâmica, em uma vertente interdisciplinar. Para que se pudesse atingir o objetivo e responder a problemática, foi utilizado o roteiro instrucional de Barros (2020), o que permitiu analisar a influência dessa aplicação na educação básica e nos conceitos básicos termodinâmicos.

O problema foi escolhido por fazer parte da temática estudada em sala de aula e por estar dentro da visão de Jonassen (2010), autor utilizado pelos pesquisadores em todas as etapas da aplicação. O problema é considerado aberto, pois pode-se explorar diversas situações, como: calor, temperatura, trabalho, energia, entropia, além de relações geográficas químicas da água, históricas, que permitem abordar a termodinâmica de maneira contextualizada, fugindo do tradicionalismo imposto na educação básica. De acordo com Jonassen (2000), o sucesso da PBL está na escolha do problema, e esse, como verificado, engajou e despertou interesse nos estudantes. A turma participou sempre de forma ativa e corroborou com todas as atividades, consolidando o sucesso da aplicação do problema.

A pesquisa demonstrou que a metodologia PBL, aplicada ao ensino da termodinâmica em uma perspectiva interdisciplinar, contribuiu significativamente para a aprendizagem dos conceitos de termodinâmica. Os resultados evidenciaram que a utilização de problemas contextualizados e abertos promoveu o engajamento e a participação dos estudantes, que, ao se depararem com situações reais, desenvolveram uma compreensão mais ampla e crítica dos conceitos termodinâmicos e de suas aplicações no mundo atual.

Além disso, a abordagem interdisciplinar ao conectar conceitos de Física com temas de outras áreas do conhecimento, como Geografia, Química e História, torna o aprendizado mais relevante e próximo da realidade dos estudantes. Essa integração

favoreceu o desenvolvimento do pensamento crítico e reflexivo, contribuindo para a alfabetização científica e tecnológica, um dos objetivos fundamentais do ensino de Ciências.

Dessa forma, acredita-se que a utilização de problemas pelo método PBL pode ser uma alternativa para professores de ensino de Ciências, que buscam aulas interativas e contextualizadas, com a participação e reflexão crítica de seus estudantes, promovendo mais interação e atingindo a alfabetização científica e tecnológica dos estudantes, que ao entrarem em contato com situações reais conseguem ter uma visão mais ampla e crítica do mundo podendo assim exercer a capacidade de tomada de decisão e desenvolvimento da habilidade de resolução de problemas.

## REFERÊNCIAS

ARDOINO, J. A complexidade. In: MORIN, E. **A Religação dos Saberes: O Desafio do Século XXI**. 11. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2013.

BARROS, B. A. **Aprendizagem Baseada em Problemas: um roteiro para o ensino de termodinâmica na educação básica**. Dissertação (Mestrado em Ciências Fisiológicas) — Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/13093>. Acesso: 25 jan.2022.

BATISTA, N. *et al.* O enfoque problematizador na formação de profissionais da saúde. **Revista Brasileira de Saúde Pública**, São Paulo, v. 39, n. 2, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0034-89102005000200014>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rsp/a/WYhMhX7BPdqhctBBRrQtVjD/>. Acesso em: 22 jan. 2025.

BARROWS, H. S. **Problem-based learning: An approach to medical education**. New York: Springer, 1980.

BEHRENS, M. A. **O paradigma emergente e a prática pedagógica**. 6. ed. Petrópolis: Vozes, 2013.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, 2018. BRASIL. **Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996**. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. Brasília: Presidência da República, 1996. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9394.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9394.htm). Acesso em: 22 jan. 2025.

CAPRA, F. **A teia da vida: uma nova compreensão científica dos sistemas vivos**. São Paulo: Cultrix, 1996.

CAPRA, F. **Ecologia profunda: um novo paradigma**. In: CAPRA, F. *A Teia da Vida*. São Paulo: Cultrix, 2004.

CORREA, G. A. M. **Problemas de física voltados à biologia**: uma contribuição para a formação inicial do professor através da complexidade em problemas propostos pelo Halliday volume II. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciência e Tecnologia) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2021. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/25603>. Acesso em: 12 ago. 2022.

FREIRE, P. **Pedagogia da esperança**: um reencontro com a pedagogia do oprimido. Rio de Janeiro: Editora Paz e Terra, 1991.

PHILLIPPS, A. *et al.* Problemáticas na aprendizagem na pandemia COVID-19: Diretrizes e ferramentas educacionais. **Rev. psicopedag.** São Paulo, v. 39, n. 120, p. 404-411, 2022. DOI: <https://doi.org/10.51207/2179-4057.20220042>. Disponível em: [http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-84862022000300010&lng=pt&nrm=iso](http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84862022000300010&lng=pt&nrm=iso). Acesso em: 06 mar. 2022.

GARDNER, H. **Estruturas da mente**: a teoria das inteligências múltiplas. 18. ed. Porto Alegre: Artmed, 1983.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

JAPIASSU, H. **Interdisciplinaridade e patologia do saber**. Rio de Janeiro: Imago, 1976.

JONASSEN, D. H. **Learning to Solve Problems**: A Handbook for Designing Problem-Solving. Nova York: Laringe Environments, 2010.

JONASSEN, D. H. Toward a Design Theory of Problem Solvin. **Educational Technology Research and Development**, v. 48, p. 63-85, 2000. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02300500>. Acesso em: 02 Feb. 2022.

LE MOIGNE, J. L. Complexidade e sistema. In: MORIN, E. **A Religação dos Saberes**: O Desafio do Século XXI. 11. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2013.

MOREIRA, M. A.; SILVEIRA, B. Possíveis indicadores de invariantes operatórios apresentados por estudantes em conceitos de termodinâmica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 28, n. 4, p. 463-471, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-11172006000400009>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/6YfQSFwm7WvtnXtq85MjJfG/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 22 jan. 2025.

MORIN, E. **A Religação dos Saberes**: O Desafio do Século XXI. 11. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2013.

MORIN, E. **Os sete saberes necessários à educação do futuro**. 2. ed., São Paulo: Cortez, 2000.

MORIN, E. **Introdução ao pensamento complexo**. Porto Alegre: Sulina, 2005.

PRAIA, J.; GIL, P.; VILCHES, A. O papel da natureza da ciência na educação para a cidadania. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 13, n. 2, p. 141-156, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-73132007000200001>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ciedu/a/t9dsTwTyrrbz5qC3y5gCVGb/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 22 jan. 2025.

RONDOW JUNIOR, N. V.; OLIVEIRA, L. M. L. P. R. O. Ensino da Termodinâmica na Perspectiva Sociointeracionista: proposta de um livro paradidático. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS (ENPEC), 7., 2009, Florianópolis. **Anais** [...]. Florianópolis: ENPEC, 2009. Disponível em: <https://fep.if.usp.br/~profis/arquivos/viienpec/VII%20ENPEC%20-%202009/www.foco.fae.ufmg.br/cd/pdfs/838.pdf>. Acesso em: 22 jan. 2025.

ROSNEY, J. *Conceitos e Operadores Transversais*. In: MORIN, E. **A Religação dos Saberes: O Desafio do Século XXI**. 11. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2013.

SARTORELI, J. C.; HOSOUME, Y.; YOSHIMURA, E. M. A lei de resfriamento de Newton: introdução às medidas em Física – parte II. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 21, p. 116-121, 1999. Disponível em: [https://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v21\\_116.pdf](https://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v21_116.pdf). Acesso em: 22 jan. 2025.

SILVA, E. D.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4. ed. Florianópolis: UFSC, 2005. Disponível em: <https://cursos.unipampa.edu.br/cursos/ppgcb/files/2011/03/Metodologia-da-Pesquisa-3a-edicao.pdf>. Acesso em: 22 jan. 2025.

XAVIER, M. E. R.; KERR, A. S. Análise do efeito estufa em estudos paradidáticos e periódicos jornalísticos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, São Paulo, v. 21, n. 3, p. 325-349, dez. 2004. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6423>. Acesso em: 22 jan. 2025.

## NOTAS

2 Disponível em:

[https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/13093/Disserta%3a7%3a3o\\_%20BrunoBarros.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/13093/Disserta%3a7%3a3o_%20BrunoBarros.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 19 jul. 2022.

3 Disponível em:

[https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/13093/Produto\\_BrunoBarros.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/13093/Produto_BrunoBarros.pdf?sequence=2&isAllowed=y). Acesso em: 19 jul. 2022.

4 O PHET Colorado é um site de simulações interativas de conteúdos relativos à Ciência (Biologia, Física e Química e Matemático). Disponível em: [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/](https://phet.colorado.edu/pt_BR/). Acesso em: 17 jul. 2022.

5 O vídeo está disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=DgMrp9dAf6w&t=203s>. Acesso em: 17 jul. 2022.

## CONTRIBUIÇÃO DAS/DOS AUTORES/AS

As autoras participaram de forma coletiva e conjunta em todas as etapas da pesquisa, incluindo a recuperação bibliográfica e a produção escrita.

Recebido em: 11/09/2024

Parecer em: 10/10/2024

Aprovado em: 20/12/2024