

A FÍSICA DO AQUECIMENTO GLOBAL: UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA SOBRE CONCEITOS TERMODINÂMICOS NO EJATEC

*The Physics of global warming: a potentially meaningful teaching unit on thermodynamic concepts
in EJATEC*

José Ismael de Carvalho Godinho [jose.ismael@discente.ufma.br]

Eduardo Moraes Diniz [eduardo.diniz@ufma.br]

Universidade Federal do Maranhão

Ave. dos Portugueses, 1966, Cidade Universitária Dom Delgado, São Luís – MA

Recebido em: 03/03/2026

Aceito em: 04/09/2026

Resumo

Diante da intensificação da crise climática e da necessidade de um ensino de Física que articule rigor conceitual e relevância social, este trabalho apresenta a elaboração, aplicação e análise de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) sobre conceitos de Termodinâmica, tomando o aquecimento global como temática sociocientífica central. A proposta fundamenta-se na Teoria da Aprendizagem Significativa, de David Ausubel, e na pedagogia dialógica de Paulo Freire, integrando aprendizagem conceitual e formação crítica. A UEPS foi desenvolvida com estudantes da Educação de Jovens e Adultos integrada à Educação Profissional (EJATEC), em uma escola pública de São Luís (MA), por meio de atividades problematizadoras e discussões dialógicas. Foram abordados conceitos como calor, temperatura, entropia e leis da Termodinâmica, articulados a discussões sobre efeito estufa, balanço energético da Terra e consumo de energia. A análise dos dados indica avanços na organização conceitual dos estudantes e no desenvolvimento da consciência crítica acerca da dimensão antrópica do aquecimento global, evidenciando o potencial da articulação entre aprendizagem significativa e educação dialógica para o ensino de Ciências no contexto da EJATEC.

Palavras-chave: Ensino de Física; Termodinâmica; Aquecimento global; UEPS; EJATEC.

Abstract

In the context of the intensification of the climate crisis and the need for Physics teaching approaches that combine conceptual rigor with social relevance, this study presents the design, implementation, and analysis of a Potentially Meaningful Teaching Unit (PMTU/UEPS) focused on Thermodynamics concepts, using global warming as a central socioscientific issue. The proposal is grounded in David Ausubel's Meaningful Learning Theory and Paulo Freire's dialogic pedagogy, integrating conceptual learning and critical education. The teaching unit was developed with students from Youth and Adult Education integrated with Professional Education (EJATEC) in a public school in São Luís, Maranhão, Brazil, through problem-based activities and dialogic discussions. Concepts such as heat, temperature, entropy, and the laws of Thermodynamics were articulated with discussions on the greenhouse effect, Earth's energy balance, and energy consumption. Data analysis indicates improvements in students' conceptual organization and in the development of critical awareness regarding the anthropogenic dimension of global warming, highlighting the potential of articulating meaningful learning and dialogic education for Science teaching in the EJATEC context.

Keywords: Physics Teaching; Thermodynamics; Global Warming; PMTU; EJATEC.

1 Introdução

O cenário climático contemporâneo apresenta evidências de mudanças significativas, amplamente atribuídas ao aquecimento global de origem antropogênica (IPCC, 2021). No Brasil, a intensificação desse fenômeno manifestou-se de forma contundente por meio de eventos extremos, como as secas severas na região amazônica e no Pantanal (Nobre & Borma, 2013; IPCC, 2021), além de inundações atípicas no Rio Grande do Sul. Apesar do consenso científico e dos dados empíricos disponíveis, persistem lacunas informativas e negacionismos acerca das causas físico-químicas subjacentes ao fenômeno.

Nesse contexto, o ensino de Física deve transcender a abordagem puramente instrumental e a transmissão passiva de conteúdos (Moreira, 2017). É necessário que a educação científica promova uma formação crítica e conectada às realidades socioambientais, em consonância com as diretrizes da Base Nacional Comum Curricular, que enfatiza a formação científica articulada à cidadania e à compreensão crítica de problemas contemporâneos (Brasil, 2018). A integração de conceitos fundamentais – como as leis da termodinâmica, a entropia e o balanço térmico (Nussenzveig, 2014; Tipler & Mosca, 2009) – ao estudo de problemas como a poluição e o efeito estufa permite uma abordagem interdisciplinar que reforça a compreensão técnica e a conscientização ambiental.

Este trabalho apresenta o desenvolvimento e a aplicação de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), fundamentada na Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de David Ausubel (Moreira & Masini, 1982) e na pedagogia dialógica de Paulo Freire (Freire, 1987). A valorização dos subsunçores (conhecimentos prévios) (Moreira & Masini, 1982) e a problematização da realidade são eixos centrais desta proposta, que também utiliza sequências didáticas inovadoras (Bazhuni et al., 2021). A intervenção foi realizada em turmas da Educação de Jovens e Adultos Integrada à Educação Profissional (EJATEC), em São Luís – MA, com o objetivo de proporcionar uma compreensão rigorosa da relação entre Física e preservação ambiental.

2 Fundamentação teórica pedagógica

2.1 A Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel

A base cognitiva desta proposta reside na Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS). Segundo Moreira (2011), a TAS postula que o aprendizado ocorre quando uma nova informação interage de forma não arbitrária e substantiva com conceitos especificamente relevantes já existentes na estrutura cognitiva do estudante, denominados subsunçores. Para que essa interação resulte em conhecimento estável, o material educativo deve ser “potencialmente significativo”, permitindo que o aluno ancore os novos conceitos científicos em sua base de conhecimentos prévios (Moreira & Masini, 1982). No ensino de Termodinâmica, essa abordagem evita a simples memorização de fórmulas, promovendo a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora dos conceitos de calor, energia e trabalho.

2.2 A Pedagogia Dialógica e a Educação como prática da liberdade

Complementando a base cognitiva, a fundamentação ética e metodológica deste trabalho apoia-se em Paulo Freire. A educação é compreendida como um ato dialógico que visa à superação da “educação bancária”, na qual o conhecimento é apenas depositado no aluno. Na pedagogia freiriana, o processo educativo parte da investigação de “temas geradores” – situações-limite da realidade do estudante que demandam reflexão e ação (Freire, 1987).

Ao transpor o conteúdo de Física para a problemática da “Ebulição Global”, promove-se o que Freire define como a “leitura do mundo” que precede a “leitura da palavra” (Freire, 1996). No contexto da EJATEC, essa abordagem permite que o estudante perceba a Física como um instrumento

de leitura crítica da realidade (Freire, 1987), capaz de instrumentalizá-lo para intervir em sua comunidade frente aos impactos climáticos, em consonância com a BNCC, que propõe o desenvolvimento do pensamento científico, crítico e ético voltado à compreensão e intervenção responsável na realidade socioambiental (Brasil, 2018). A docência, portanto, exige rigorosidade metódica e respeito aos saberes dos educandos (Freire, 1996), estabelecendo uma ponte entre o senso comum e o conhecimento científico.

2.3 Interdisciplinaridade e Física Ambiental

A articulação entre os aportes de Ausubel e Freire sustenta uma prática interdisciplinar onde a Física dialoga com a Ecologia e a Sociologia. De acordo com Tipler & Mosca (2009), as leis da termodinâmica fornecem o arcabouço para compreender o fluxo de energia e o equilíbrio térmico planetário. Entretanto, essa compreensão técnica só se torna plena quando inserida no debate sobre o modelo de desenvolvimento e seus impactos climáticos (IPCC, 2021). Como destaca Zabala (1998), a prática educativa deve visar ao desenvolvimento integral, capacitando o sujeito para atuar de forma consciente e responsável diante dos desafios globais da contemporaneidade.

3 Fundamentação teórica física: Termodinâmica e a dinâmica térmica planetária

A análise física do aquecimento global requer a compreensão da atmosfera como um sistema termodinâmico complexo, onde fluxos de energia e transformações de estado definem o equilíbrio climático (Peixoto & Oort, 1992). Nesta seção, aprofundam-se os conceitos de temperatura, calorimetria e as leis que regem as trocas energéticas.

3.1. Natureza da temperatura e energia interna

Do ponto de vista da mecânica estatística, a temperatura T de um sistema em equilíbrio não é uma grandeza fundamental, mas uma medida da energia cinética média $\langle E_c \rangle$ por grau de liberdade das partículas que o compõem (Halliday; Resnick & Walker, 2016; Nussenzveig, 2014). Para um gás ideal, a relação é expressa por (Tipler & Mosca, 2009):

$$\langle E_c \rangle = \frac{3}{2} k_B T \quad (1)$$

onde k_B é a constante de Boltzmann. No contexto atmosférico, a temperatura reflete a agitação molecular de gases como N_2 , O_2 e CO_2 . A soma de todas as energias cinéticas e potenciais de interação dessas moléculas constitui a energia interna U do sistema. O aquecimento global, portanto, caracteriza-se pelo aumento líquido da energia interna da baixa atmosfera e dos oceanos, resultante de um desequilíbrio no balanço radiativo.

3.2 Calorimetria e capacidade térmica dos reservatórios

A calorimetria estuda a quantificação da energia térmica transferida entre sistemas. No sistema climático, o conceito de calor específico c é vital para compreender por que diferentes regiões do planeta reagem de forma distinta ao aporte de energia. A quantidade de calor ΔQ necessária para variar a temperatura T de uma massa m é dada pela equação fundamental da calorimetria (Halliday; Resnick & Walker, 2016):

$$\Delta Q = mc\Delta T \quad (2)$$

A água possui um calor específico alto, aproximadamente 4186 J/(kg K) , o que torna os oceanos os maiores reguladores térmicos do planeta, atuando como imensos reservatórios de calor que mitigam variações abruptas de temperatura (Halliday; Resnick & Walker, 2016). Contudo, a absorção contínua de energia proveniente do efeito estufa intensificado tem elevado a temperatura

das camadas oceânicas superficiais, afetando a solubilidade de gases e a vida marinha (Nobre & Borma, 2013).

Além do calor sensível, deve-se considerar o calor latente L , associado às mudanças de fase, como a fusão de calotas polares ou a evaporação da água (Tipler & Mosca, 2009):

$$Q = mL \quad (3)$$

Este conceito explica por que grande parte da energia excedente do aquecimento global é consumida no derretimento do gelo das calotas polares sem que haja aumento imediato da temperatura local durante o processo de transição de fase, o que mascara a gravidade do acúmulo energético.

3.3 Radiação do corpo negro e a seletividade atmosférica

A principal forma de troca de energia entre a Terra e o espaço é a radiação térmica. A lei de deslocamento de Wien demonstra que o comprimento de onda de emissão máxima λ_{max} de um corpo é inversamente proporcional à sua temperatura absoluta (Young & Freedman, 2015):

$$\lambda_{max} = \frac{b}{T} \quad (4)$$

onde b é a constante de Wien. Enquanto o Sol (corpo a aproximadamente 5800 K) emite majoritariamente no espectro visível, a Terra (a aproximadamente 288 K) emite no infravermelho. Os gases de efeito estufa funcionam como filtros seletivos: são transparentes à radiação solar incidente, mas opacos à radiação infravermelha terrestre.

A Lei de Stefan-Boltzmann formaliza a potência total irradiada P (Halliday; Resnick & Walker, 2016):

$$P = \sigma \varepsilon AT^4 \quad (5)$$

A intensificação do efeito estufa reduz a emissividade efetiva ε do planeta para o espaço, forçando o aumento da temperatura T para que a Terra possa atingir um novo estado de equilíbrio onde a energia emitida iguale a energia absorvida.

3.4 Entropia e irreversibilidade no Antropoceno

A Segunda Lei da Termodinâmica estabelece que a entropia total S de um sistema isolado tende a aumentar, definindo a seta do tempo e a irreversibilidade dos processos naturais (Callen, 1985; Nussenzveig, 2014). No sistema Terra-atmosfera, a conversão de energia solar de baixa entropia (alta frequência) em calor dissipado de alta entropia (baixa frequência) é o que sustenta a vida e os ciclos climáticos. A variação da entropia dS em relação às trocas de calor é dada por (Nussenzveig, 2014):

$$dS \geq \frac{dQ}{T} \quad (6)$$

As ações antrópicas, ao alterarem a composição química da atmosfera, aceleram a produção de entropia no sistema climático. O aquecimento global pode ser interpretado como uma transição para um estado de maior entropia, onde a maior disponibilidade de energia térmica na atmosfera se traduz em um aumento na frequência e intensidade de eventos climáticos extremos, refletindo a busca do sistema por dissipar o excesso de energia acumulada de forma caótica (Peixoto & Oort, 1992; Prigogine, 1996; IPCC, 2021).

4 Metodologia

A presente investigação adota uma abordagem de natureza qualitativa e intervencionista, configurando-se como uma pesquisa-ação no âmbito do ensino de Física. O objetivo central foi a aplicação e avaliação de uma UEPS, conforme proposta por Moreira (2017), visando o ensino de conceitos termodinâmicos articulados à problemática do aquecimento global.

4.1 Contexto e sujeitos da pesquisa

A intervenção foi realizada em uma escola da rede pública estadual de São Luís, Maranhão, envolvendo uma amostra de 30 estudantes da EJATEC. Este público caracteriza-se por uma diversidade de faixas etárias e experiências de vida, o que reforça a necessidade de uma pedagogia que valorize os saberes prévios (Moreira & Masini, 1982) e promova o diálogo crítico sobre a realidade social (Freire, 1987), em alinhamento com a Base Nacional Comum Curricular, que orienta a educação básica para a contextualização dos conhecimentos científicos e a abordagem de temas contemporâneos relevantes, como as questões ambientais (Brasil, 2018).

4.2 Estrutura da Unidade de Ensino Potencialmente Significativa

A UEPS foi estruturada em oito etapas fundamentais, integrando o rigor científico da Termodinâmica à problematização ambiental:

1. Definição do tópico específico: o tema central foi a “Ebulição Global”, termo utilizado para enfatizar a urgência da crise climática atual.
2. Identificação dos subsunçores: realizou-se uma avaliação diagnóstica para mapear os conhecimentos prévios dos alunos sobre calor, temperatura e mudanças climáticas.
3. Situações de problematização: introdução de situações reais, como os eventos climáticos extremos de 2024 (secas e inundações no Brasil), para gerar o desequilíbrio cognitivo e o interesse dialógico.
4. Apresentação de organizadores prévios: utilização de vídeos explicativos e infográficos sobre o balanço energético da Terra, servindo de ponte entre o senso comum e o saber científico.
5. Desenvolvimento do Conteúdo: abordagem das leis da Termodinâmica, focando nos processos de transferência de energia (condução, convecção e radiação) e na eficiência energética das máquinas térmicas.
6. Atividades de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa: os alunos foram instigados a relacionar o funcionamento de uma máquina térmica com o efeito estufa antropogênico, utilizando simuladores digitais e discussões em grupo.
7. Avaliação formativa e síntese: condução de rodas de conversa freiriananas para sintetizar os conceitos físicos aprendidos e sua aplicação na análise crítica de notícias e políticas ambientais.
8. Avaliação final: aplicação de um questionário pós-teste para mensurar a evolução conceitual e a mudança na percepção socioambiental dos discentes.

4.3 Instrumentos de coleta e análise de dados

Para garantir o rigor da análise, foram utilizados múltiplos instrumentos de coleta: (i) diário de campo do pesquisador, registrando as interações dialógicas; (ii) produções escritas dos alunos durante as atividades; e (iii) questionários pré e pós-intervenção. A análise dos dados seguiu

os preceitos da análise de conteúdo, buscando identificar indicadores de aprendizagem significativa e o desenvolvimento da consciência crítica (Moreira & Masini, 1982; Freire, 1987).

5 Resultados e discussões

Os resultados da aplicação da UEPS indicam avanços relevantes na aprendizagem conceitual em Termodinâmica e no desenvolvimento da consciência crítica dos estudantes da EJATEC (Freire, 1987). A Tabela 1 sintetiza a comparação entre as concepções iniciais e os resultados observados após a intervenção, explicitando os referenciais teóricos mobilizados e o significado educacional de cada eixo analisado.

Tabela 1 – Comparação entre concepções iniciais e resultados pós-aplicação da UEPS, à luz dos referenciais de Ausubel e Freire. O número de estudantes participantes foi 30 (trinta).

Eixo de análise	Situação pré-UEPS	Situação pós-UEPS	Referencial teórico	Significado educacional
Calor e temperatura	Uso indistinto dos termos	Diferenciação conceitual por 87% dos estudantes	Diferenciação progressiva (Moreira & Masini, 1982)	Reorganização conceitual básica
Entropia e irreversibilidade	Conceito ausente ou descontextualizado	Associação a processos irreversíveis e impactos ambientais (80%)	Reconciliação integrativa (Moreira & Masini, 1982)	Articulação de conceitos abstratos
Leis da Termodinâmica e clima	Conteúdo escolar isolado	Aplicação ao efeito estufa e balanço energético (70%)	Aprendizagem relacional	Transferência conceitual
Interpretação do aquecimento global	Visão naturalizante	Explicação baseada no balanço radiativo	Alfabetização científica	Construção de explicações científicas
Responsabilidade humana	Reconhecimento genérico	Reconhecimento crítico do papel antrópico (90%)	Consciência crítica (Freire, 1987)	Superação de leituras ingênuas
Ação socioambiental	Pouca explicitação	Proposição de mudanças cotidianas (75%)	Práxis (Freire, 1987)	Integração entre ciência e ação
Participação discente	Participação passiva	Participação ativa e dialógica (100%)	Educação dialógica	Engajamento e protagonismo

5.1 Aprendizagem conceitual e organização cognitiva

Os resultados referentes à diferenciação entre calor e temperatura indicam que a UEPS favoreceu a reorganização da estrutura cognitiva dos estudantes, superando concepções espontâneas amplamente relatadas na literatura em ensino de Física. Esse avanço caracteriza um processo de

diferenciação progressiva, no qual conceitos inicialmente indiferenciados passaram a adquirir significados específicos e hierarquizados (Moreira & Masini, 1982).

A compreensão do conceito de entropia, associada a processos irreversíveis e impactos ambientais, evidencia a ocorrência de reconciliação integrativa, ao articular diferentes ideias da Termodinâmica em uma explicação coerente do aquecimento global (Moreira & Masini, 1982). Considerando o nível de abstração envolvido, esse resultado reforça a relevância da contextualização e da mediação pedagógica no ensino de Ciências (Moreira, 2011).

5.2 Aplicação conceitual e alfabetização científica

A aplicação das leis da Termodinâmica ao sistema climático indica que a aprendizagem ultrapassou o nível definicional, alcançando uma dimensão explicativa. Tal resultado constitui um indicador de alfabetização científica, na medida em que os estudantes mobilizaram conceitos físicos para interpretar fenômenos reais e socialmente relevantes, em consonância com a BNCC, que compreende a alfabetização científica como a capacidade de analisar, explicar e tomar decisões fundamentadas frente a problemas do mundo contemporâneo (Brasil, 2018).

A temática do aquecimento global, tratada como problema sociocientífico, funcionou como elemento articulador entre os conhecimentos prévios dos estudantes e os conteúdos científicos, favorecendo a atribuição de significado ao aprendizado, conforme os pressupostos da Aprendizagem Significativa.

5.3 Consciência crítica, diálogo e práxis

No eixo formativo-crítico, os dados indicam uma ampliação da consciência sobre a responsabilidade humana no aquecimento global, superando explicações naturalizantes. Esse deslocamento conceitual está alinhado à pedagogia freiriana, ao evidenciar a passagem de uma leitura ingênua para uma leitura crítica da realidade (Freire, 1987).

A proposição de mudanças em hábitos cotidianos relacionados ao consumo de energia indica que a aprendizagem alcançou a dimensão da práxis, compreendida como a articulação entre reflexão e ação. Nesse sentido, a Física passou a ser percebida como um instrumento de compreensão e intervenção na realidade socioambiental.

5.4 Mediação pedagógica e engajamento

A participação ativa dos estudantes nas atividades dialógicas evidencia o papel central da mediação pedagógica na consolidação dos resultados observados. As rodas de conversa favoreceram a explicitação de concepções prévias, a negociação de significados e a construção coletiva do conhecimento, em consonância com a proposta freiriana de educação dialógica.

6 Considerações finais

Os resultados deste estudo indicam que a Unidade de Ensino Potencialmente Significativa desenvolvida contribuiu para a aprendizagem conceitual em Termodinâmica e para o desenvolvimento da consciência crítica de estudantes da EJATEC. A articulação entre conceitos físicos e a temática do aquecimento global favoreceu a atribuição de significado ao conteúdo científico, aproximando-o da realidade vivenciada pelos estudantes.

A integração entre a Teoria da Aprendizagem Significativa e a pedagogia dialógica de Paulo Freire mostrou-se consistente do ponto de vista teórico e produtiva no plano didático, ao possibilitar tanto a reorganização cognitiva quanto a construção de uma leitura crítica da realidade. Nesse contexto, o ensino de Termodinâmica ultrapassou a dimensão técnica, assumindo um papel formativo mais amplo.

Embora o estudo apresente limitações relacionadas ao número de participantes e ao tempo de intervenção, os resultados apontam para o potencial da UEPS como estratégia pedagógica adaptável a outros contextos da Educação de Jovens e Adultos e da educação profissional. Investigações futuras podem aprofundar a análise dos efeitos da proposta em médio e longo prazo, bem como sua aplicação em diferentes realidades escolares.

Conclui-se que abordagens significativas e dialógicas no ensino de Ciências podem contribuir de forma relevante para a formação científica e crítica dos estudantes, especialmente frente a problemáticas sociocientíficas contemporâneas, como a crise climática.

Referências

- Bazhuni, R. F., Almeida, T. de A., Pedretti, S. D. S., Legey, A. P., Cotelli, A. D. E. S., Mól, A. C. de A. & Silva, M. A. (2021). Sequências didáticas permeadas por tecnologias digitais: uma proposta inovadora para a educação infantil. *Revista Carioca de Ciência, Tecnologia e Educação*, 6(1), 53-65.
- Brasil. Ministério da Educação. (2018). *Base Nacional Comum Curricular*. Brasília: MEC.
- Callen, H. B. (1985). *Thermodynamics and an introduction to thermostatistics* (2 ed.). New York: John Wiley & Sons.
- Freire, P. (1987). *Pedagogia do oprimido* (17 ed.). Rio de Janeiro: Paz e Terra.
- Freire, P. (1996). *Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa*. São Paulo: Paz e Terra.
- Halliday, D., Resnick, R. & Walker, J. (2016). *Fundamentos de Física: gravitação, ondas e termodinâmica* (Vol. 2, 10 ed.). Rio de Janeiro: LTC.
- IPCC. (2021). *Climate change 2021: The physical science basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press. Acesso em 23/03/2026, <https://doi.org/10.1017/9781009157896>.
- Moreira, M. A. & Masini, E. A. F. (1982). *Aprendizagem Significativa: a teoria de David Ausubel*. São Paulo: Moraes.
- Moreira, M. A. (2011). *Aprendizagem significativa: a teoria e textos complementares*. São Paulo: Editora Livraria da Física.
- Moreira, M. A. (2017). Grandes desafios para o ensino da Física na educação contemporânea. *Revista do Professor de Física*, 1(1), 1-13.
- Nobre, C. A. & Borma, L. S. (2013). *Secas na Amazônia: causas e consequências*. São Paulo: Editora Oficina de Textos.
- Nussenzveig, H. M. (2014). *Curso de Física Básica: fluidos, oscilações e ondas, calor* (Vol. 2, 5 ed.). São Paulo: Blucher.
- Peixoto, J. P. & Oort, A. H. (1992). *Physics of climate*. New York: American Institute of Physics.
- Prigogine, I. (1996). *O fim das certezas: tempo, caos e as leis da natureza*. São Paulo: Editora Unesp.
- Tipler, P. A. & Mosca, G. (2009). *Física para cientistas e engenheiros* (Vol. 1, 6 ed.). Rio de Janeiro: LTC.
- Young, H. D. & Freedman, R. A. (2015). *Física IV: ótica e física moderna* (14 ed.). São Paulo: Pearson Education do Brasil.

Zabala, A. (1998). *A prática educativa: como ensinar*. Porto Alegre: Artmed.