



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

Jadson da Fonseca e Silva

O Ensino do Comportamento dos Gases a partir dos Três Momentos Pedagógicos:
Uma Abordagem Experimental e Conceitual no Ensino Médio

MOSSORÓ

2026

Jadson da Fonseca e Silva

**O Ensino do Comportamento dos Gases a partir dos Três Momentos Pedagógicos:
Uma Abordagem Experimental e Conceitual no Ensino Médio**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal Rural do Semi-Árido no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Jusciane da Costa e Silva

Co-orientador: Subênia Karine de Medeiros

MOSSORÓ

2026

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

S586e Silva, Jadson da Fonseca e .
O ENSINO DO COMPORTAMENTO DOS GASES A PARTIR
DOS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS: UMA ABORDAGEM
EXPERIMENTAL E CONCEITUAL NO ENSINO MÉDIO / Jadson
da Fonseca e Silva. - 2026.
101 f. : il.

Orientador: Jusciane da Costa e Silva.
Coorientador: Subênia Karine de Medeiros.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em
Física, 2026.

1. ensino de física. 2. estudo dos gases. 3.
três momentos pedagógicos. 4. mudança conceitual.
I. Silva, Jusciane da Costa e, orient. II.
Medeiros, Subênia Karine de, co-orient. III.
Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo) autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

Jadson da Fonseca e Silva

O Ensino do Comportamento dos Gases a Partir dos Três Momentos Pedagógicos:
Uma Abordagem Experimental e Conceitual no Ensino Médio

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal Rural do Semi-Árido no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Defendida em: 20 / 02 / 2026.

BANCA EXAMINADORA

Jusciane da Costa e Silva, Prof^ª. Dra. (UFERSA)
Presidente

Erlania Lima de Oliveira, Prof^ª. Dra. (UFERSA)
Membro Examinador

Antônio Marques dos Santos, Prof. Dr. (IFRN)
Membro Examinador

Gustavo de Oliveira Gurgel Rebouças, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

Naiara Cipriano Oliveira, Prof^ª Dra. (URCA)
Membro Examinador

DEDICATÓRIA

Dedico esta dissertação à minha mãe, que desde cedo me contou histórias das dificuldades enfrentadas na infância sempre marcada pela ida a escola como um bálsamo diante de tudo. Elas me ensinaram a valorizar os estudos mais que qualquer outra coisa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha esposa que suportou e me ajudou a suportar as dificuldades nesse período.

Agradeço à CAPES, pelo apoio financeiro por meio da bolsa concedida.

Agradeço a todos os professores do mestrado por tudo que me ensinaram.

Agradeço aos meus colegas, pelo apoio e parceria.

RESUMO

Este trabalho investiga a aplicação de uma sequência didática fundamentada nos Três Momentos Pedagógicos no ensino do comportamento dos gases no Ensino Médio, estruturada a partir da problematização de fenômenos relacionados às transformações gasosas presentes no cotidiano dos estudantes. A proposta pedagógica articula momentos de problematização, organização do conhecimento científico e aplicação do conhecimento, utilizando atividades experimentais, simuladores computacionais e recursos digitais acessíveis, como Arduino e sensores eletrônicos. A pesquisa foi desenvolvida em uma escola pública estadual do Rio Grande do Norte com estudantes da 1ª série do Ensino Médio, contando com a participação de aproximadamente 25 alunos. Adotou-se uma abordagem qualitativa e interpretativa, estruturada por meio de um delineamento pré-teste/intervenção/pós-teste, complementado pela análise das produções discentes e dos registros realizados durante a implementação do produto educacional. Os resultados indicam que os estudantes mobilizam concepções intuitivas consistentes sobre os fenômenos estudados, mas apresentam dificuldades em articulá-las com modelos científicos formais, especialmente em situações que envolvem procedimentos matemáticos e interpretação de representações gráficas. Ao longo da intervenção, observou-se maior engajamento dos alunos e avanços na compreensão qualitativa dos fenômenos, ainda que o processo de aprendizagem tenha se manifestado de forma não linear, com oscilações e instabilidades conceituais características de processos de mudança conceitual. Esses achados reforçam a compreensão da aprendizagem científica como um processo gradual de reorganização conceitual, no qual diferentes modos de explicação coexistem de maneira contextual.

Palavras-chave: ensino de física, estudo dos gases, três momentos pedagógicos, mudança conceitual.

ABSTRACT

This study investigates the application of a teaching sequence based on the Three Pedagogical Moments in teaching the behavior of gases in high school, structured around the exploration of phenomena related to gaseous transformations encountered in students' daily lives. The pedagogical proposal integrates moments of problem-posing, organization of scientific knowledge, and application of knowledge, using experimental activities, computer simulators, and accessible digital resources, such as Arduino and electronic sensors. The research was conducted at a public state high school in Rio Grande do Norte with students in the 10th grade, involving approximately 25 students. A qualitative and interpretive approach was adopted, structured through a pre-test/intervention/post-test design, complemented by the analysis of student work and records made during the implementation of the educational product. The results indicate that students draw on consistent intuitive conceptions of the phenomena studied, but have difficulty linking them to formal scientific models, especially in situations involving mathematical procedures and the interpretation of graphical representations. Throughout the intervention, greater student engagement and advances in the qualitative understanding of the phenomena were observed, even though the learning process unfolded in a nonlinear manner, with conceptual fluctuations and instabilities characteristic of processes of conceptual change. These findings reinforce the understanding of scientific learning as a gradual process of conceptual reorganization, in which different modes of explanation coexist in a contextual manner.

Keywords: Physics teaching, Study of gases, Three Pedagogical Moments, conceptual change.

Índice de Ilustrações

Figura 1 - Sistema cilindro-pistão para ilustrar processos quase-estáticos	41
Figura 2 - Expansão isotérmica	43
Figura 3 - Esquema da transformação isobárica.....	46
Figura 4 - Esquema da transformação isocórica.....	47
Figura 5 - Relação pV de diferentes gases em função da pressão	50
Figura 6 - Atividade 1	60
Figura 7 - Problema 1 do pré-teste	70
Figura 8 - Problema 2 do pré-teste	71
Figura 9 - Problema 3 do Pré-teste	73
Figura 10 - Problema 4 do pré-teste	74
Figura 11 - Problema 5 do pré-teste	75
Figura 12 - Problema 6 do pré-teste	76
Figura 13 - Níveis atingidos pelos estudantes no pré-teste	76
Figura 14 - Introdução ao estudo dos gases.....	82
Figura 15 – Estabelecendo as relações entre as variáveis de estado com auxílio do simulador PhET.....	88
Figura 16 - Atividade 4.1) Transformação isocórica.....	89
Figura 17 - Atividade 4.2) Transformação isobárica.....	89
Figura 18 - Atividade 4.3) Transformações isotérmica.....	89
Figura 19 - Apresentando o Arduino Uno	90
Figura 20 - Montagem da prática com LED de forma física e no Tinkercad.....	91
Figura 21 - Análise gráfica a partir do plotter serial do Arduino	93
Figura 22 - Níveis atingidos pelos estudantes no pós-teste	93

Sumário

INTRODUÇÃO	11
FUNDAMENTOS PEDAGÓGICOS.....	14
2.1 A CRISE DO ENSINO DE CIÊNCIAS E NECESSIDADE DE REORGANIZAÇÃO DA PRÁTICA PEDAGÓGICA.....	14
2.2 PAULO FREIRE E OS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS.....	17
2.2.1 A Pedagogia de Paulo Freire	17
2.1.2 Crítica a educação bancária	18
2.1.3 O Diálogo e problematização	19
2.1.4 Implicações da pedagogia freireana para o ensino de Ciências.....	20
2.1.5 Articulação entre pedagogia freireana e os Três Momentos Pedagógicos	22
2.3 OS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS	23
2.3.1 Origem dos Três Momentos Pedagógicos.....	23
2.3.2 Estrutura dos Três Momentos Pedagógicos.....	24
2.3.3 Intencionalidade didática dos Três Momentos Pedagógicos.....	26
2.3.4 Os Três Momentos Pedagógicos no ensino de Física	27
2.3.5 Os Três Momentos Pedagógicos como base de um produto educacional.....	28
2.4 TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS E A MUDANÇA CONCEITUAL.....	30
2.4.1 Mudança conceitual no ensino de Ciências.....	30
2.4.2 Os Três Momentos Pedagógicos como estrutura promotora da mudança conceitual.....	32
2.4.3 Articulação entre os Três Momentos Pedagógicos e a Aprendizagem Significativa.....	34
2.5 SÍNTESE INTEGRADORA DOS FUNDAMENTOS PEDAGÓGICOS.....	35
TRANSFORMAÇÕES GASOSAS.....	38
3.1 SISTEMA TERMODINÂMICO E VARIÁVEIS DE ESTADO	38
3.2 PRESSÃO: DEFINIÇÃO MECÂNICA E INTERPRETAÇÃO TERMODINÂMICA.....	39
3.3 RELAÇÕES EMPÍRICAS ENTRE PRESSÃO, VOLUME E TEMPERATURA	41
3.4 VOLUME, TRABALHO E PROCESSOS ISOTÉRMICOS.....	42
3.5 TEMPERATURA, ENERGIA INTERNA E A PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA.....	44
3.6 TRANSFORMAÇÕES ISOBÁRICAS.....	45
3.7 TRANSFORMAÇÕES ISOCÓRICAS.....	47
3.8 EQUAÇÃO DE ESTADO DOS GASES IDEAIS.....	48
3.9 QUANTIDADE DE MATÉRIA E MOL	50
3.10 TEORIA CINÉTICA DOS GASES	52
METODOLOGIA.....	53
4.1 TIPO DE PESQUISA E DELINEAMENTO METODOLÓGICO.....	53
4.2 CONTEXTO DA PESQUISA E PARTICIPANTES.....	54
4.3 O PRODUTO EDUCACIONAL	55
4.3.1 Descrição da sequência didática	56
4.4 INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS	58
4.4.1. Pré-teste (O_1) e Pós-teste (O_2)	58
4.4.2. Registros e Produções dos Estudantes durante a Intervenção (X).....	59
4.5 PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE	63
4.5.1. Análise por Descritores de Habilidade	63
4.5.2. Critérios de Níveis de Desempenho	65

4.5.3. Análise Qualitativa da Mudança Conceitual e Representacional.....	67
RESULTADOS E DISCUSSÕES	69
5.1 PRÉ-TESTE	69
5.1.2 Análise por descritor.....	76
5.2 PROBLEMATIZAÇÃO.....	77
5.2.1 Por que quando utilizamos antitranspirantes do tipo aerossol o <i>spray</i> sai gelado?.....	77
5.2.2 Por que o <i>spray</i> de aerossol só continua saindo se mantivermos o botão pressionado, sem precisar pressionar novamente?	78
5.2.3 O que acontece com o recipiente do aerossol após um tempo liberando o <i>spray</i> ? O que está acontecendo com o conteúdo do frasco?	79
5.2.4 Demais questões de sondagem	80
5.3 INTRODUÇÃO AO ESTUDO DOS GASES: QUANTIDADE DE MATÉRIA	82
5.4 VARIÁVEIS DE ESTADO	84
5.5 LEI GERAL DOS GASES	85
5.6 CONSTRUINDO OS GRÁFICOS DAS TRANSFORMAÇÕES GASOSAS....	87
5.7 EXPERIMENTOS INTRODUTÓRIOS COM ARDUINO.....	90
5.8 PRÁTICA EXPERIMENTAL DE TRANSFORMAÇÕES GASOSAS COM ARDUINO.....	91
5.9 PÓS TESTE.....	93
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	96
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98

1 INTRODUÇÃO

Tendo trabalhado na educação básica por vários anos, é uma questão tanto familiar quanto conhecida que a experiência de ensinar Física reflete um problema comum: os alunos frequentemente têm dificuldade em mobilizar procedimentos matemáticos fundamentais necessários para resolver problemas físicos. Essa limitação geralmente prejudica a evolução das aulas, já que conteúdos conceitualmente acessíveis se tornam um impedimento na prática matemática quando operações elementares, análise de expressões algébricas ou leitura de gráficos são necessárias. O problema nesse contexto é uma tensão contínua, que é focar nos conceitos de física no nível de compreensão da realidade física ou gastar muito tempo na aula revisando os conceitos e métodos fundamentais em matemática. Isso levou Bonadiman e Nonenmacher (2007) a explicar que, na área de física, as dificuldades de aprendizagem resultam de muita atenção ao formalismo matemático em detrimento do suporte conceitual fundamental necessário para esses fenômenos.

Essa problemática levou à reflexão sobre diferentes abordagens de ensino: seria melhor priorizar estratégias conceituais e se afastar completamente do formalismo matemático, ou incorporar explicitamente o ensino de Física junto com o reforço sistemático dos procedimentos matemáticos mais repetidos? Isso levou à busca por tais soluções, e experimentos didáticos exploratórios foram implementados, onde diferentes estratégias de ensino foram adotadas e seus efeitos no desempenho dos alunos foram explorados.

Um desses experimentos foi conduzido informalmente no âmbito da prática docente. No momento da administração, no início da aplicação, cada turma foi dividida aleatoriamente em 2 grupos, com um grupo recebendo uma instrução mais conceitual e outro uma instrução mais focada em fórmulas e procedimentos matemáticos. Embora resultados muito semelhantes tenham sido obtidos para o grupo que recebeu a abordagem mais procedimental, esses resultados não foram necessariamente consistentes com a percebida superioridade do ensino matemático. Pelo contrário, serviu para reforçar a visão de que a matemática não pode ser abstraída do ensino de física; ao mesmo tempo, também mostrou que simplesmente ter matemática no ensino de física não garantia uma compreensão mais profunda dos conceitos. Biggetti (2016) aponta que quando os alunos aprendem as fórmulas primeiro antes de entenderem o conceito qualitativo, há uma tendência a fazer manipulações erradas e mecânicas da matemática.

É nesse sentido que surge uma necessidade urgente de examinar métodos de ensino que transcendam a dicotomia conceitual vs. matemática, enfatizando em vez disso a articulação intencional entre a apreensão dos fenômenos físicos e os processos para produzir sua caracterização e explicação. Assim, este trabalho tem como objetivo investigar a aplicação de uma sequência didática fundamentada nos Três Momentos Pedagógicos para o ensino do comportamento dos gases no Ensino Médio, articulando experimentação, simulações computacionais e tecnologias digitais acessíveis, com o propósito de favorecer a construção conceitual dos estudantes e analisar indícios de reorganização conceitual durante o processo de aprendizagem.

Com relação ao problema maior da dificuldade matemática, no entanto, a decisão de usar o comportamento dos gases como eixo temático resulta da natureza complexa de suas grandezas, como pressão e temperatura, que não são diretamente observáveis e necessitam articulação entre os planos microscópico e macroscópico. Matos, Thomazoni e Martins (2020) observam que um dos grandes desafios para aprender este tópico é a necessidade de abstrair para correlacionar interações moleculares a fenômenos mostrados a olho nu. Nesse sentido, Bighetti (2016) argumenta que o uso de modelos é elementar, servindo como pontes que possibilitam visualizar conceitos abstratos e apoiar os alunos a transitar entre escalas para representar realidades cotidianas.

Apesar da necessidade de um modelo de fenômenos, na prática escolar uma das principais deficiências parece ser que, quando os estudos de gases são limitados a equações gerais, promovem apenas a aprendizagem procedimental. Bonadiman e Nonenmacher (2007) advertem que o ensino de Física, quando focado na apresentação isolada de fórmulas, distancia o conteúdo do mundo vivido pelo aluno, tornando-o vazio de significado. Bighetti (2016) complementa que o saber associado prioritariamente à memorização de fatos e procedimentos torna a reflexão sobre o fenômeno físico cada vez mais difícil. Como resultado, Gomes, Franco e Rocha (2020) salientam que a Física passa a ser percebida pela maioria dos estudantes apenas como um conjunto de códigos e fórmulas alheios à sua realidade, o que gera desmotivação e compromete a construção de um conhecimento efetivo.

Diante do que foi discutido, uma estratégia que pode ser explorada é o uso do laboratório, através de atividades experimentais e simulações computacionais, como sugerido por Gomes, Franco e Rocha (2020), pois integram o ensino em sala de aula e o laboratório, ajudando os alunos a entender claramente e em profundidade os resultados dos testes, bem como a complexidade das variáveis. Acrescentando a esse argumento,

Araújo et al. (2021) afirmam que a simulação fornece um espaço interativo no qual os alunos podem ajustar parâmetros e são informados imediatamente sobre o fenômeno a ser estudado, permitindo o estudo das relações de causa e efeito e a evolução e desenvolvimento científicos. Essa base tecnológica também oferece aos alunos oportunidades de oposição das previsões teóricas com seus resultados correspondentes, facilitando assim sua compreensão e interpretação sobre as grandezas envolvidas no comportamento dos gases.

Para esse fim, a plataforma Arduino foi aplicada como material didático para desenvolver atividades de experimentação para o comportamento dos gases. Facilitou a coleta e apresentação de dados em tempo real, onde a análise simultânea de grandezas (pressão, volume e temperatura) e relações de dependência mútua entre elas puderam ser investigadas. De acordo com Rocha (2020), o uso de dispositivos de baixo custo como esse é uma alternativa eficaz para modelar o movimento térmico de gases ideais, tornando acessível uma atividade prática que, de outra forma, seria limitada pelo custo elevado de equipamentos industriais. Ao integrar experimentação e representação gráfica, o Arduino atua como um mediador que aproxima os modelos teóricos das observações empíricas. Essa abordagem é corroborada por Bonadiman e Nonenmacher (2007), que defendem que o aprendizado em Física exige que o estudante mergulhe no fenômeno prático para que as equações matemáticas ganhem significado real e deixem de ser apenas abstrações memorizadas.

Nesse contexto, a articulação entre problematização, experimentação e uso de tecnologias digitais mostra-se relevante para a construção de abordagens pedagógicas que favoreçam a compreensão dos fenômenos físicos para além da aplicação mecânica de fórmulas. A partir dessa perspectiva, o presente trabalho fundamenta-se em referenciais pedagógicos relacionados aos Três Momentos Pedagógicos e à mudança conceitual, articulados aos conceitos físicos envolvidos no estudo do comportamento dos gases e das transformações gasosas. Com base nesses referenciais, é proposta uma sequência didática que integra simulações computacionais, atividades investigativas e experimentação com Arduino, cuja implementação e resultados são posteriormente analisados à luz das produções dos estudantes e dos indícios de reorganização conceitual observados ao longo da intervenção.

2 FUNDAMENTOS PEDAGÓGICOS

Este capítulo apresenta os fundamentos pedagógicos que orientam a presente pesquisa, situando-a no campo do ensino de Ciências e, em particular, do ensino de Física. Parte-se do reconhecimento de que as práticas escolares historicamente consolidadas nem sempre têm sido suficientes para promover a compreensão conceitual dos fenômenos científicos, o que motiva a busca por referenciais teóricos capazes de sustentar propostas pedagógicas mais coerentes com os processos de aprendizagem dos estudantes.

Ao longo do capítulo, são discutidas concepções de ensino e aprendizagem que permitem compreender o papel do conhecimento prévio, da mediação pedagógica e da organização didática no desenvolvimento do pensamento científico escolar. Esses referenciais fornecem a base teórica necessária para compreender as escolhas metodológicas realizadas nesta pesquisa e para orientar a análise dos dados produzidos durante a intervenção pedagógica.

2.1 A CRISE DO ENSINO DE CIÊNCIAS E NECESSIDADE DE REORGANIZAÇÃO DA PRÁTICA PEDAGÓGICA

Nas últimas décadas, o ensino de Ciências tem sido marcado por um movimento simultâneo de ampliação do acesso à escolarização e de persistência de dificuldades relacionadas à aprendizagem conceitual dos estudantes. Conforme apontam os Parâmetros Curriculares Nacionais (BRASIL, 2000), o sistema educacional brasileiro enfrentou um crescimento de demanda superior a 90% das matrículas no Ensino Médio entre 1988 e 1997, movimento que consolidou um perfil de ensino historicamente descontextualizado, compartimentalizado e baseado no acúmulo de informações. Nesse contexto, a pesquisa em ensino de Ciências passou a direcionar seus esforços não apenas para os resultados da aprendizagem, mas sobretudo para a compreensão dos processos pelos quais os estudantes constroem e transformam seus modelos explicativos sobre os fenômenos naturais, conforme discutido por Gómez Galindo (2008). Apesar da consolidação da disciplina no currículo escolar, indicadores nacionais e internacionais, como o PISA, revelam que a compreensão efetiva dos fenômenos científicos permanece limitada, refletindo um fraco desempenho dos alunos (BONADIMAN; NONENMACHER, 2007).

Essa limitação manifesta-se, sobretudo, na incapacidade de interpretar situações do cotidiano à luz de modelos científicos, uma vez que o distanciamento entre os

conteúdos programáticos e a experiência vivida pelos alunos responde pelo desinteresse e pela aquisição de um saber "esquecido" ou que não se consegue aplicar por desconhecer suas relações com o real (BRASIL, 2000). Para Bonfim (2018), essa problemática é agravada por uma cultura escolar na qual o ensino se reduz a uma "assimilação frustrante de fórmulas", focando-se mais na memorização do que no desenvolvimento da competência investigativa e do espírito questionador.

Essa discrepância entre escolarização formal e apropriação significativa do conhecimento científico suscita questionamentos sobre a eficácia das práticas pedagógicas tradicionalmente adotadas. Segundo Santos et al. (2025), é frequente que decisões curriculares sejam tomadas sem a devida escuta dos educandos, resultando em conteúdos desconectados da realidade e em uma relação hierárquica que reproduz a "educação bancária", na qual os alunos são tratados como meros recipientes passivos de informações. Tais desafios evidenciam a necessidade de repensar não apenas os conteúdos ensinados, mas sobretudo as formas pelas quais o conhecimento é apresentado, discutido e avaliado, buscando-se metodologias críticas que fomentem a autonomia e a transformação social.

Os impactos desse modelo transmissivo tornam-se evidentes na forma como os estudantes se apropriam dos conceitos científicos. Em muitos casos, definições e equações são memorizadas sem compreensão efetiva de seus significados, levando os alunos a executar procedimentos mecânicos sem conseguir explicar ou aplicar o conhecimento em novas situações (POZO; GÓMEZ CRESPO, 2009). Nesse contexto, concepções intuitivas e explicações científicas frequentemente coexistem, uma vez que os estudantes ingressam na escola com modelos explicativos de senso comum resistentes à mudança (GÓMEZ GALINDO, 2008). Como consequência, mesmo após a instrução formal, muitos alunos apresentam dificuldades em interpretar fenômenos, relacionar diferentes grandezas e transferir o conhecimento para situações concretas, mantendo compreensões superficiais e fragmentadas (BRASIL, 2000; MATOS et al., 2020).

Diante dessas limitações observadas no ensino e na aprendizagem de Ciências, a pesquisa na área passou a deslocar seu foco da simples verificação de resultados para a investigação dos processos cognitivos envolvidos na construção do conhecimento científico. Conforme destaca Moreira (2000), as investigações contemporâneas em ensino não devem se restringir à mensuração de produtos, mas buscar a compreensão de como a

aprendizagem ocorre a partir de propostas didáticas concretas inseridas na complexidade do contexto escolar.

Esse redirecionamento implicou o reconhecimento de que aprender Ciências não se resume à aquisição de informações ou à substituição direta de ideias equivocadas por conceitos corretos, mas envolve processos graduais e complexos de elaboração, revisão e reconstrução de sistemas de conhecimentos inter-relacionados. Para Gómez Galindo (2008), é fundamental reconhecer que o aluno ingressa na sala de aula com modelos explicativos próprios, fundamentados em explicações de senso comum, e que o desafio pedagógico reside em promover a evolução desses modelos em direção às explicações aceitas pela ciência erudita.

Nesse sentido, a aprendizagem científica passa a ser entendida como um processo de reorganização e negociação de significados, no qual o estudante desenvolve uma compreensão que integra pensamento, linguagem e ação. Segundo Pozo (1999), a construção desse saber exige que o aluno seja capaz de redescrever suas representações implícitas e cotidianas em formatos mais complexos e explícitos, próprios do discurso científico. Assim, compreender como os alunos interpretam os fenômenos e como articulam diferentes níveis de representação tornou-se uma questão central, exigindo que o ensino privilegie a integração hierárquica entre as diversas formas de conhecimento, em vez de tentar simplesmente anular as vivências prévias dos sujeitos.

A compreensão da aprendizagem científica como um processo de reorganização progressiva dos modelos explicativos dos estudantes implica, portanto, a necessidade de propostas pedagógicas que considerem explicitamente os processos cognitivos envolvidos na construção do conhecimento. Nessa perspectiva, aprender Ciências não se reduz à apresentação de informações ou à substituição direta de ideias equivocadas, mas envolve a articulação entre conhecimentos prévios, experiências vividas e modelos científicos progressivamente mais elaborados. Tal compreensão exige que o ensino seja planejado de modo a favorecer a explicitação das concepções iniciais dos estudantes, o confronto dessas ideias com situações problemáticas e a construção de novas formas de interpretar os fenômenos naturais.

Dessa forma, não se trata apenas de tornar os conteúdos mais atrativos, mas de estruturar situações didáticas que promovam a problematização, a reflexão e a aplicação

do conhecimento em contextos diversos. Os Parâmetros Curriculares Nacionais (BRASIL, 2000) já destacam que a contextualização deve atuar como elemento central do processo educativo, retirando o aluno da condição de espectador passivo e possibilitando que o conhecimento escolar assuma um caráter mais significativo e funcional. Essa orientação converge com perspectivas pedagógicas críticas que defendem a valorização das vivências dos estudantes como ponto de partida para a aprendizagem, em oposição a modelos baseados na transmissão unilateral de conteúdos e na reprodução mecânica de informações.

Nesse sentido, a integração entre teoria e prática no ensino de Ciências mostra-se fundamental para que a aprendizagem resulte não apenas na aquisição de conceitos, mas no desenvolvimento de compreensões mais estáveis e funcionalmente relevantes. Conforme discutem Frasson et al. (2019), uma aprendizagem que articula dimensões conceituais, procedimentais e atitudinais favorece a consolidação dos saberes na estrutura cognitiva do estudante e amplia suas possibilidades de ação consciente sobre o mundo, constituindo um horizonte desejável para propostas pedagógicas comprometidas com a formação crítica e significativa.

A necessidade de propostas metodológicas estruturadas no ensino de Ciências não se restringe, portanto, a uma questão técnica ou instrumental, mas envolve concepções mais amplas sobre o papel da educação, do conhecimento científico e do próprio sujeito que aprende. Ao considerar a aprendizagem como um processo ativo de reorganização de significados, torna-se indispensável refletir sobre as bases epistemológicas e políticas que sustentam as práticas pedagógicas adotadas em sala de aula. Nesse sentido, a superação de modelos transmissivos e mecanicistas implica também repensar as relações entre educador, educando e conhecimento, bem como o lugar da experiência, do diálogo e da problematização no processo educativo. É nesse horizonte que se insere a pedagogia freireana, discutida a seguir, como fundamento teórico capaz de sustentar práticas educativas comprometidas com a formação crítica, a autonomia dos sujeitos e a transformação da realidade social.

2.2 PAULO FREIRE E OS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS

2.2.1 A Pedagogia de Paulo Freire

A pedagogia freireana parte do princípio de que a educação não se configura como um ato neutro ou meramente técnico, mas como uma prática social e histórica,

profundamente vinculada às condições concretas de vida dos sujeitos. Para Paulo Freire, ensinar e aprender são processos indissociáveis da realidade social em que educadores e educandos estão inseridos, de modo que o conhecimento não pode ser compreendido como algo pronto a ser transferido, mas como uma construção produzida na interação entre sujeitos que interpretam e transformam o mundo. Nessa perspectiva, a educação assume um caráter político, na medida em que contribui para a formação de sujeitos capazes de compreender criticamente a realidade e de atuar sobre ela de forma consciente e responsável (FREIRE, 2022).

Ao conceber o conhecimento como resultado de uma relação dialógica entre sujeito e mundo, Freire rompe com a visão de ensino centrada na transmissão de conteúdos e na passividade do educando. O ato educativo passa a ser entendido como um processo no qual a experiência vivida, a linguagem e a reflexão crítica desempenham papel central na construção dos saberes. Assim, a aprendizagem não se limita à assimilação de informações, mas envolve a problematização da realidade e a produção de sentidos que permitam ao educando reconhecer-se como sujeito histórico do processo educativo. Essa concepção oferece um fundamento epistemológico consistente para propostas pedagógicas que valorizam a participação ativa dos estudantes e a articulação entre o conhecimento escolar e os contextos sociais nos quais ele se insere.

2.1.2 Crítica a educação bancária

A crítica de Paulo Freire ao que denomina educação bancária ocupa lugar central em sua concepção pedagógica e constitui um eixo fundamental para compreender os limites das práticas educativas tradicionais. Nesse modelo, o processo de ensino-aprendizagem é concebido como um ato de depósito, no qual o educador assume o papel de detentor do saber e o educando é reduzido à condição de receptor passivo de conteúdos previamente selecionados. O conhecimento, nessa lógica, é tratado como algo acabado e exterior ao sujeito, a ser armazenado e reproduzido, sem que haja espaço para questionamento, reflexão crítica ou produção de sentidos a partir da experiência vivida.

Segundo Freire (2022), a educação bancária impede o desenvolvimento da consciência crítica ao reforçar relações hierárquicas e autoritárias entre educador e educando, naturalizando a passividade e desestimulando a curiosidade epistemológica. Ao restringir o ato educativo à transmissão unilateral de informações, esse modelo nega ao estudante a possibilidade de se reconhecer como sujeito histórico e cognoscente, capaz

de intervir na realidade. Em vez de promover a compreensão dos fenômenos e a problematização do mundo, a educação bancária contribui para a adaptação acrítica dos indivíduos às estruturas sociais existentes, limitando o potencial emancipador da educação.

No contexto do ensino de Ciências, essa crítica assume contornos ainda mais relevantes. A centralidade da exposição verbal, a fragmentação dos conteúdos e a ênfase na memorização de definições, leis e fórmulas refletem diretamente a lógica bancária denunciada por Freire. Nessa perspectiva, o conhecimento científico tende a ser apresentado como um conjunto de verdades inquestionáveis, desvinculadas de sua historicidade, de seus processos de construção e de sua relação com problemas concretos da realidade. Tal abordagem dificulta que os estudantes compreendam a ciência como uma atividade humana dinâmica e investigativa, reforçando uma aprendizagem mecânica e pouco significativa.

Ao denunciar os limites da educação bancária, Freire não se limita a uma crítica metodológica, mas propõe uma ruptura epistemológica com o modelo transmissivo de ensino. Essa ruptura implica reconhecer que a superação da passividade discente não se dá apenas pela introdução de novos recursos ou tecnologias, mas exige uma reorganização profunda das práticas pedagógicas, das relações em sala de aula e da própria concepção de conhecimento. É a partir dessa crítica que se abre espaço para propostas educativas fundamentadas no diálogo, na problematização e na participação ativa dos estudantes, aspectos que serão aprofundados na subseção seguinte.

2.1.3 O Diálogo e problematização

Na pedagogia freireana, o diálogo não se configura como um recurso metodológico acessório, mas como um princípio epistemológico fundamental do ato educativo. Para Paulo Freire, o diálogo constitui a condição pela qual educador e educando se reconhecem como sujeitos do processo de conhecimento, envolvidos em uma relação horizontal mediada pelo mundo. Nesse sentido, ensinar não significa transmitir respostas prontas, mas criar condições para que os estudantes questionem, interpretem e reconstruam os saberes a partir de sua experiência e de sua inserção na realidade social.

Associada ao diálogo, a problematização assume papel central na superação da educação bancária. Em oposição à apresentação de conteúdos de forma

descontextualizada e acabada, a problematização propõe a análise crítica de situações concretas, extraídas do cotidiano dos educandos, como ponto de partida para a construção do conhecimento. Ao problematizar a realidade, o ensino passa a desafiar explicações imediatas e intuitivas, instigando o estudante a reconhecer limites em seus modos iniciais de compreender o mundo e a buscar novas formas de explicação. Esse movimento favorece a participação ativa do educando e atribui sentido ao conhecimento escolar, ao vinculá-lo a questões percebidas como relevantes e significativas.

No contexto do ensino de Ciências, o diálogo e a problematização mostram-se particularmente relevantes, uma vez que os fenômenos científicos fazem parte da experiência cotidiana dos estudantes, ainda que sejam frequentemente explicados por meio de concepções de senso comum. Ao valorizar essas concepções iniciais como ponto de partida, o ensino problematizador não as trata como erros a serem eliminados, mas como elementos a serem discutidos, confrontados e progressivamente ressignificados à luz dos modelos científicos. Dessa forma, o processo educativo passa a articular a experiência vivida, a linguagem cotidiana e o discurso científico, criando condições para uma aprendizagem mais significativa e crítica.

Assim, o diálogo e a problematização configuram-se como eixos estruturantes de práticas pedagógicas comprometidas com a formação de sujeitos autônomos e reflexivos. Ao reconhecer o educando como participante ativo da construção do conhecimento, essas categorias freireanas oferecem suporte teórico para propostas de ensino que buscam romper com a lógica transmissiva e promover uma relação mais dinâmica entre conhecimento, realidade e ação educativa. As implicações dessa perspectiva para o ensino de Ciências serão discutidas na subseção seguinte.

2.1.4 Implicações da pedagogia freireana para o ensino de Ciências

A compreensão da educação como uma prática crítica e dialógica, conforme discutido nos tópicos anteriores, impõe desdobramentos concretos para a atuação docente no ensino de Ciências. Nesse sentido, Freire, ao tratar dos saberes necessários à prática educativa, desloca o foco do ensino como simples transmissão de conteúdos para a responsabilidade do professor em criar condições para que o conhecimento seja produzido e reconstruído pelos estudantes (FREIRE, 2023). Essa perspectiva confere centralidade ao planejamento intencional das situações didáticas, ao rigor conceitual e à

mediação pedagógica consciente, afastando-se tanto do improvisado quanto de abordagens meramente técnicas ou procedimentais.

No ensino de Ciências, essa perspectiva assume especial relevância diante da necessidade de articular conceitos científicos, observações dos fenômenos e diferentes formas de representação. Ao defender o respeito aos saberes prévios dos estudantes, a curiosidade epistemológica e o rigor metodológico, Freire (2023) propõe uma prática pedagógica que ultrapassa tanto a simples transmissão de conteúdos quanto a aplicação mecânica de métodos e fórmulas. Nesse sentido, o ensino passa a ser compreendido como um processo de problematização orientada, no qual o professor organiza intencionalmente situações de aprendizagem que incentivam o questionamento, a investigação e a reconstrução progressiva dos conhecimentos dos estudantes.

Nesse sentido, o erro deixa de ser interpretado como simples falha a ser corrigida e passa a assumir um papel formativo no processo educativo. Ao reconhecer que o conhecimento não se constrói de maneira linear, a pedagogia freireana legitima o confronto entre explicações intuitivas e modelos científicos como parte constitutiva da aprendizagem. Para o ensino de Física, isso implica valorizar as hipóteses formuladas pelos alunos, mesmo quando inconsistentes do ponto de vista científico, tratando-as como pontos de partida para a problematização e para a mediação conceitual, e não como obstáculos a serem eliminados de imediato.

Essa compreensão dialoga diretamente com a necessidade de estruturar o ensino a partir de situações significativas, nas quais os conteúdos científicos emergem como ferramentas explicativas para compreender a realidade. Freire (2023) destaca que ensinar exige a criação de possibilidades para a produção ou construção do conhecimento, o que pressupõe a organização de práticas pedagógicas que promovam a escuta, o diálogo e a investigação orientada. No campo das Ciências, isso se traduz na proposição de atividades que articulem fenômenos do cotidiano, experimentação, discussão coletiva e sistematização conceitual, favorecendo a passagem da curiosidade ingênua para uma curiosidade epistemológica mais elaborada.

É nesse horizonte que se inserem propostas didáticas que buscam operacionalizar os princípios da pedagogia freireana em sala de aula, estruturando o processo de ensino-aprendizagem de modo intencional e progressivo. Entre essas propostas, destaca-se a

metodologia dos Três Momentos Pedagógicos, que organiza o ensino a partir da problematização da realidade, da organização do conhecimento científico e da aplicação desse conhecimento em novas situações. Essa abordagem, ao alinhar-se aos pressupostos freireanos, oferece um caminho metodológico consistente para integrar diálogo, rigor conceitual e participação ativa dos estudantes, sendo discutida com maior aprofundamento no tópico seguinte.

2.1.5 Articulação entre pedagogia freireana e os Três Momentos Pedagógicos

A aproximação entre a pedagogia freireana e a metodologia dos Três Momentos Pedagógicos pode ser compreendida a partir da sistematização proposta por Urel, ao analisar o método de alfabetização desenvolvido por Paulo Freire no início da década de 1960. Embora Freire não tenha apresentado seu método como uma sequência didática formalizada, a autora identifica três momentos fundamentais: investigação, tematização e problematização; que expressam princípios centrais de sua concepção de educação crítica e dialógica (UREL, 2022).

No primeiro desses momentos, a investigação, educador e educandos buscam, no universo linguístico, cultural e social dos estudantes, palavras, temas e situações dotadas de significado e potencial de engajamento. Trata-se de um movimento de aproximação da realidade vivida pelos alunos, que permite ao professor compreender seus referenciais e incorporar esses saberes ao espaço da sala de aula. Essa etapa apresenta clara convergência com a Problematização Inicial dos Três Momentos Pedagógicos, na medida em que ambas partem das experiências e concepções prévias dos estudantes como ponto de partida do processo educativo.

A tematização corresponde ao momento em que os temas inicialmente levantados são codificados e decodificados coletivamente, possibilitando uma compreensão mais ampla e estruturada da realidade que representam. Nesse estágio, os temas deixam de ser apenas descrições do cotidiano e passam a ser analisados em suas múltiplas relações e significados. Essa dinâmica aproxima-se do que, nos Três Momentos Pedagógicos, denomina-se Organização do Conhecimento, caracterizada pela sistematização conceitual mediada pelo professor e pela articulação entre os saberes dos alunos e os modelos científicos.

Por sua vez, a problematização representa o aprofundamento crítico desse processo, no qual se busca superar compreensões iniciais e ingênuas da realidade,

avanzando para uma leitura mais reflexiva e transformadora do mundo vivido. Embora esse movimento esteja presente ao longo de todo o processo educativo, ele se intensifica à medida que os temas são compreendidos em suas dimensões históricas, culturais e sociais, conforme já indicado por Freire ao discutir a necessidade de problematizar os próprios temas e suas inter-relações (FREIRE, 2022). Esse momento encontra correspondência com a Aplicação do Conhecimento nos Três Momentos Pedagógicos, etapa em que os estudantes utilizam os conceitos sistematizados para reinterpretar situações conhecidas e enfrentar novos desafios.

Dessa forma, os Três Momentos Pedagógicos podem ser compreendidos como uma releitura didático-metodológica dos princípios freireanos, adequada ao contexto do ensino formal e das disciplinas científicas. Tal aproximação evidencia que essa metodologia não se limita a uma organização sequencial de atividades, mas constitui uma estrutura coerente com uma concepção crítica de educação, orientada pelo diálogo, pela problematização da realidade e pela construção progressiva do conhecimento (UREL, 2022).

2.3 OS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS

2.3.1 Origem dos Três Momentos Pedagógicos

Os Três Momentos Pedagógicos (3MP) emergem no contexto das discussões sobre a renovação do ensino de Ciências no Brasil, especialmente a partir das décadas de 1980 e 1990, como resposta às limitações identificadas em modelos de ensino centrados na transmissão de conteúdos e na aplicação mecânica de fórmulas. Essa proposta foi inicialmente sistematizada por Delizoicov e Angotti no âmbito do ensino de Física e consolidada a partir de experiências didáticas desenvolvidas em contextos escolares, sendo posteriormente analisada em seu contexto histórico e institucional por Muenchen e Delizoicov (2014). Conforme destaca Urel (2022), trata-se de uma transposição da concepção de educação de Paulo Freire para o ambiente da educação formal, mantendo como eixos a problematização da realidade, o diálogo e a valorização dos saberes prévios dos estudantes.

Diferentemente de métodos instrucionais de caráter prescritivo, os Três Momentos Pedagógicos não se configuram como uma sequência didática rígida, mas como uma estrutura organizadora da prática pedagógica orientada por uma concepção crítica de educação. Essa estrutura busca romper com a lógica da chamada “educação

bancária”, ao deslocar o foco da simples exposição de conteúdos para uma interação mediada por problemas significativos, na qual o aprendizado ocorre a partir do confronto entre as concepções dos estudantes e os modelos científicos. Nessa perspectiva, o conhecimento escolar é produzido no diálogo entre o saber cotidiano e o conhecimento sistematizado, permitindo que os conceitos científicos sejam integrados ao pensamento e à experiência do educando.

A sistematização dos Três Momentos Pedagógicos pode, portanto, ser compreendida como uma releitura didática dos fundamentos epistemológicos presentes na obra de Paulo Freire, adaptada às exigências do ensino formal de Ciências. Ao apropriar-se da noção freireana de problematização como eixo estruturante do processo educativo, a proposta articula essa dimensão crítica com a necessidade de organização conceitual própria das disciplinas científicas, sem reduzir o ensino a uma aplicação instrumental de conteúdos. Essa adaptação possibilita que princípios originalmente desenvolvidos no âmbito da educação popular sejam incorporados ao currículo escolar, preservando seu caráter crítico e emancipatório (UREL, 2022).

Ao longo dos anos, a proposta dos Três Momentos Pedagógicos foi aprofundada e ampliada, especialmente a partir das contribuições de Muenchen, que explicitam suas bases teóricas e suas possibilidades de aplicação no ensino de Ciências da Natureza. Esses aprofundamentos reforçam a compreensão dos 3MP como uma abordagem que articula dimensões epistemológicas, pedagógicas e didáticas, reconhecendo o ensino como uma prática intencional e historicamente situada, voltada à participação ativa dos estudantes e à superação de práticas tradicionais no ensino de Física (MUENCHEN; DELIZOICOV, 2014).

2.3.2 Estrutura dos Três Momentos Pedagógicos

A proposta dos Três Momentos Pedagógicos organiza o processo de ensino-aprendizagem em três eixos articulados — Problematização Inicial, Organização do Conhecimento e Aplicação do Conhecimento — que não devem ser compreendidos como etapas estanques ou rigidamente sequenciais, mas como momentos interdependentes de uma mesma dinâmica pedagógica. Essa estrutura foi sistematizada por Delizoicov e Angotti no contexto do ensino de Ciências, com o objetivo de orientar a prática docente a partir de uma perspectiva crítica e dialógica, em oposição a modelos instrucionais

centrados exclusivamente na exposição de conteúdos (DELIZOICOV; ANGOTTI, 1990).

A Problematização Inicial constitui o ponto de partida da proposta e tem como função colocar em evidência situações significativas da realidade dos estudantes, capazes de mobilizar seus conhecimentos prévios e suscitar questionamentos. Nesse momento, não se busca a apresentação imediata de conceitos científicos, mas a explicitação das concepções dos alunos diante de fenômenos do cotidiano, criando condições para que percebam limites, incoerências ou lacunas em suas explicações. A problematização, portanto, não se restringe a uma etapa introdutória, mas inaugura um processo investigativo que orienta os momentos subsequentes.

A Organização do Conhecimento corresponde ao momento de sistematização conceitual, no qual o professor atua como mediador na construção de explicações mais próximas dos modelos científicos. A partir das questões levantadas na problematização, são introduzidos conceitos, leis, modelos e representações formais, de modo a reorganizar o conhecimento dos estudantes. Esse momento não implica a simples substituição das ideias iniciais por conceitos corretos, mas a articulação progressiva entre o saber cotidiano e o conhecimento científico, favorecendo a construção de significados mais estáveis e coerentes.

Por sua vez, a Aplicação do Conhecimento visa ampliar o alcance do que foi sistematizado, possibilitando que os estudantes utilizem os conceitos construídos para interpretar novas situações, resolver problemas ou analisar fenômenos distintos daqueles apresentados inicialmente. Esse momento permite verificar a funcionalidade do conhecimento escolar, evitando que ele se restrinja a um uso pontual ou meramente avaliativo. Ao retomar ou expandir as situações problematizadas, a aplicação contribui para a consolidação do aprendizado e para a superação do caráter episódico do ensino.

Em conjunto, esses três momentos configuram uma estrutura didática que orienta o ensino de forma intencional, articulando realidade, sistematização conceitual e uso do conhecimento. Ao reconhecer a centralidade das concepções dos estudantes e a necessidade de mediação pedagógica, os Três Momentos Pedagógicos oferecem um referencial consistente para a organização de sequências didáticas no ensino de Física, como será detalhado nas seções seguintes.

2.3.3 Intencionalidade didática dos Três Momentos Pedagógicos

A estrutura dos Três Momentos Pedagógicos não se justifica apenas por sua organização formal, mas, sobretudo, por sua intencionalidade didática. Ao articular problematização, sistematização conceitual e aplicação do conhecimento, essa proposta busca superar práticas pedagógicas centradas na exposição e na memorização, favorecendo a construção de significados e a participação ativa dos estudantes no processo de aprendizagem. Nesse sentido, os 3MP configuram-se como uma metodologia orientada por objetivos formativos que extrapolam a simples transmissão de conteúdos, visando aproximar o conhecimento científico das situações vividas pelos educandos (DELIZOICOV; ANGOTTI, 1990).

Uma das principais intencionalidades da proposta reside na valorização das concepções iniciais dos estudantes como ponto de partida do ensino. Ao invés de tratá-las como erros a serem simplesmente corrigidos, os Três Momentos Pedagógicos criam condições para que essas concepções sejam explicitadas, confrontadas e progressivamente reorganizadas, permitindo ao aluno perceber as limitações de seus modelos explicativos atuais diante de novas situações problematizadoras (MUENCHEN; DELIZOICOV, 2014). Essa perspectiva dialoga com pesquisas em ensino de Ciências que indicam que a aprendizagem conceitual não ocorre por substituição imediata de ideias, mas por processos graduais de reconstrução cognitiva, nos quais o estudante testa, revisa e reformula seus modelos explicativos (POZO; GÓMEZ CRESPO, 2009).

A Organização do Conhecimento expressa, nesse contexto, a intencionalidade de promover a mediação pedagógica entre o saber cotidiano e os modelos científicos. O papel do professor assume centralidade não como transmissor de informações, mas como mediador que organiza, aprofunda e sistematiza os conhecimentos necessários para a compreensão dos fenômenos discutidos na problematização inicial. Esse momento busca evitar tanto a permanência em explicações intuitivas quanto a imposição acrítica de conceitos formais, favorecendo a construção de significados mais estáveis a partir da articulação entre o conhecimento prévio e o conhecimento científico escolar (DELIZOICOV; ANGOTTI, 1990).

Já a Aplicação do Conhecimento evidencia a preocupação dos Três Momentos Pedagógicos com a funcionalidade do saber escolar. Ao propor que os conceitos sistematizados sejam mobilizados para analisar tanto as situações iniciais quanto novos

contextos, a metodologia busca evitar que o conhecimento permaneça restrito a exercícios padronizados ou a contextos artificiais. Esse movimento contribui para a superação do caráter episódico da aprendizagem e para o desenvolvimento da autonomia intelectual, na medida em que o estudante é desafiado a utilizar o conhecimento científico como ferramenta para interpretar e intervir na realidade (MUENCHEN; DELIZOICOV, 2014).

2.3.4 Os Três Momentos Pedagógicos no ensino de Física

No ensino de Física, a adoção dos Três Momentos Pedagógicos apresenta-se como uma alternativa às abordagens tradicionalmente centradas na exposição de conteúdos e na resolução mecânica de exercícios. Ao estruturar o ensino a partir da problematização de situações significativas, da organização progressiva do conhecimento e da aplicação dos conceitos em novos contextos, os 3MP têm sido utilizados em diferentes pesquisas como estratégia para favorecer maior participação discente, contextualização dos conteúdos e compreensão conceitual dos fenômenos físicos.

Estudos desenvolvidos na área indicam que a aplicação dos Três Momentos Pedagógicos pode contribuir para a ampliação do diálogo e da reflexão crítica no ensino de Física. Bonfim, Costa e Nascimento (2018), ao investigarem o ensino de velocidade escalar média, observaram que os estudantes passaram de uma visão mecanizada dos cálculos para discussões mais reflexivas sobre situações relacionadas ao trânsito, tornando as aulas mais dinâmicas e dialogadas. Resultados semelhantes foram encontrados por Santos et al. (2022) no estudo de descargas elétricas, no qual os autores identificaram maior capacidade dos alunos em relacionar conceitos físicos a fenômenos naturais, superando práticas centradas apenas na memorização de fórmulas. Já José e Darlon (2022), ao utilizarem motores elétricos como equipamentos geradores, destacam que a sala de aula assumiu características mais investigativas e participativas, com maior protagonismo estudantil e atuação mediadora do professor.

No campo da compreensão conceitual, diferentes pesquisas apontam contribuições dos 3MP associados ao uso de experimentação, modelos e tecnologias digitais. Matos, Thomazoni e Martins (2020), utilizando o simulador PhET no ensino da Teoria Cinética dos Gases, observaram melhora significativa na compreensão dos conteúdos e maior utilização de linguagem científica pelos estudantes. Em estudo sobre terminologia mediada por tecnologias digitais, Jankowski (2021) identificou indícios de aprendizagem significativa crítica e evolução conceitual nas interações desenvolvidas ao

longo das atividades. Bighetti (2016), por sua vez, demonstrou que o uso do Modelo Mecânico Vertical favoreceu a visualização dos fenômenos microscópicos relacionados à Teoria Cinética dos Gases, permitindo que os estudantes transferissem os conhecimentos construídos para situações do cotidiano. De modo semelhante, Rocha (2020) verificou que a utilização de um análogo mecânico de baixo custo tornou mais acessíveis conceitos abstratos da termodinâmica, como pressão e temperatura, aproximando os modelos físicos da experiência concreta dos estudantes.

Além das contribuições para a aprendizagem discente, pesquisas também apontam impactos dos Três Momentos Pedagógicos na formação de professores e na reorganização das práticas pedagógicas. Santos e Muenchen (2025), ao investigarem experiências no PIBID, destacam que a vivência da Abordagem Temática e dos 3MP possibilitou aos licenciandos superar concepções tradicionais de ensino centradas na transmissão de conteúdos, favorecendo a construção de uma prática problematizadora e dialógica. Na mesma direção, Pacheco, Loy e Muenchen (2024) evidenciam que a elaboração de materiais didáticos fundamentados nos 3MP possibilita articular criticamente as exigências curriculares contemporâneas sem reduzir o ensino a uma perspectiva tecnicista ou mercadológica.

Em conjunto, essas pesquisas evidenciam que os Três Momentos Pedagógicos têm sido utilizados no ensino de Física como uma abordagem capaz de favorecer contextualização, participação ativa dos estudantes, evolução conceitual e integração entre diferentes formas de representação dos fenômenos físicos. Tais contribuições reforçam o potencial dessa perspectiva para o desenvolvimento de propostas didáticas que articulem problematização, experimentação e construção significativa do conhecimento científico.

2.3.5 Os Três Momentos Pedagógicos como base de um produto educacional

A adoção dos Três Momentos Pedagógicos como eixo estruturante deste trabalho não se limita a uma opção metodológica pontual, mas expressa uma escolha teórico-didática que orienta a concepção, a organização e a aplicação do produto educacional desenvolvido, voltado ao estudo do comportamento dos gases por meio de uma abordagem experimental e conceitual, com apoio do uso de tecnologias digitais, em especial o Arduino. Ao assumir essa abordagem, parte-se do entendimento de que o ensino de Física deve ser planejado de forma intencional, articulando problematização da

realidade, organização conceitual e aplicação do conhecimento em uma sequência coerente e integrada, capaz de favorecer a construção de significados pelos estudantes.

Nesse sentido, o produto educacional foi concebido de modo que cada etapa da sequência didática dialogasse explicitamente com os três momentos. As atividades iniciais foram estruturadas para provocar a explicitação das concepções prévias dos alunos a partir de situações do cotidiano, criando a necessidade de compreender fenômenos associados ao comportamento dos gases. Em seguida, os momentos de organização do conhecimento buscaram sistematizar os conceitos físicos envolvidos, utilizando diferentes recursos didáticos — como simulações computacionais, experimentos e discussões orientadas — para mediar a transição entre o saber cotidiano e os modelos científicos. Por fim, as atividades de aplicação foram planejadas para possibilitar que os estudantes utilizassem os conhecimentos organizados na análise de novas situações, ampliando a funcionalidade do saber escolar.

A literatura da área tem destacado que produtos educacionais fundamentados nos Três Momentos Pedagógicos tendem a apresentar maior coerência interna, uma vez que não se restringem à elaboração de atividades isoladas, mas se constituem como propostas integradas de ensino, alinhadas a uma concepção crítica de educação científica (PACHECO et al., 2024; VIEIRA; PIRES, 2022). Nessa perspectiva, o produto deixa de ser apenas um material de apoio ao professor e passa a assumir o papel de mediador pedagógico, orientando a prática docente e explicitando a intencionalidade formativa de cada etapa da sequência.

Além disso, ao estruturar o produto educacional com base nos 3MP, busca-se superar a fragmentação frequentemente observada em propostas didáticas que alternam momentos expositivos, atividades práticas e avaliações sem uma articulação clara entre si. A dinâmica dos Três Momentos permite integrar esses elementos em um percurso didático contínuo, no qual as atividades experimentais, o uso de tecnologias digitais, como o Arduino, e os momentos de sistematização conceitual assumem funções pedagógicas bem definidas no processo de aprendizagem.

Dessa forma, os Três Momentos Pedagógicos constituem o referencial que sustenta a lógica interna do produto educacional apresentado nesta dissertação, dedicado ao ensino do comportamento dos gases no Ensino Médio, orientando tanto o

planejamento das atividades quanto a análise dos dados obtidos ao longo da intervenção. Essa escolha permite que o produto seja compreendido não apenas como uma sequência de aulas sobre gases, mas como uma proposta pedagógica fundamentada teoricamente, comprometida com a superação de práticas transmissivas e com a promoção de uma aprendizagem conceitual, contextualizada e crítica no ensino de Física.

2.4 TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS E A MUDANÇA CONCEITUAL

2.4.1 Mudança conceitual no ensino de Ciências

A aprendizagem em Ciências tem sido compreendida, nas últimas décadas, como um processo que envolve a reconstrução progressiva dos modelos explicativos utilizados pelos estudantes para interpretar os fenômenos naturais. Diferentemente de abordagens que concebem o aprender como simples aquisição de informações ou substituição imediata de ideias incorretas por conceitos científicos, a perspectiva da mudança conceitual parte do reconhecimento de que os alunos ingressam na sala de aula munidos de explicações próprias, construídas a partir de suas experiências cotidianas e de interações socioculturais anteriores. Tais explicações, embora frequentemente incompatíveis com os modelos científicos, apresentam coerência interna e desempenham um papel funcional na compreensão do mundo vivido.

Pesquisas no campo da didática das Ciências indicam que essas concepções prévias não são abandonadas de forma automática diante da instrução formal. Ao contrário, elas tendem a coexistir com os conceitos científicos introduzidos no contexto escolar, produzindo um quadro de instabilidade conceitual no qual diferentes formas de explicação podem ser mobilizadas pelo estudante conforme a situação enfrentada. Esse caráter não linear da aprendizagem científica desafia a ideia de progresso contínuo e cumulativo, evidenciando que avanços, recuos e respostas contraditórias fazem parte do próprio processo de construção do conhecimento.

Nesse sentido, a mudança conceitual deve ser compreendida como um processo gradual de reorganização cognitiva, no qual o aluno testa, ajusta e reformula suas explicações à medida que entra em contato com novas evidências, representações e formas de mediação pedagógica. Revisões contemporâneas sobre o tema apontam que esse desenvolvimento ocorre de forma fragmentada (*piecemeal*), sendo pouco provável que se manifeste como uma progressão linear e homogênea ao longo do tempo (GHAZALI; TOLMIE, 2014). Assim, momentos de aparente inconsistência,

instabilidade ou mesmo regressão conceitual não devem ser interpretados como fracassos do processo de ensino-aprendizagem, mas como indícios do próprio movimento de evolução dos modelos explicativos dos estudantes e da reconhecida resistência das concepções alternativas à mudança conceitual (GHAZALI; TOLMIE, 2014; LACOLLA, 2012).

A literatura também destaca que essa resistência torna-se particularmente evidente em conteúdos científicos que exigem a coordenação simultânea de múltiplas variáveis ou a compreensão de entidades não diretamente observáveis. Nesses casos, é comum que os estudantes recorram a explicações intuitivas ou baseadas em experiências cotidianas mesmo após intervenções instrucionais sistematizadas, mobilizando modelos distintos conforme o contexto da tarefa proposta (LACOLLA, 2012). Essa coexistência de explicações reforça a ideia de que a aprendizagem científica envolve não apenas a introdução de novos conceitos, mas a construção de condições que favoreçam sua estabilização e uso funcional em diferentes situações.

Essa característica da aprendizagem científica tem implicações diretas para a interpretação de dados educacionais baseados em instrumentos como pré e pós-testes. Oscilações nos resultados, avanços pontuais ou regressões não devem ser analisados exclusivamente sob uma lógica avaliativa, mas compreendidos como manifestações dos processos cognitivos envolvidos na construção do conhecimento. Conforme ressaltam Pozo e Gómez Crespo (2009), a análise do aprendizado em Ciências deve considerar não apenas o produto final das respostas, mas os caminhos percorridos pelos estudantes na tentativa de dar sentido aos fenômenos estudados.

Dessa forma, reconhecer o papel das concepções prévias e da instabilidade conceitual implica repensar tanto as estratégias de ensino quanto os critérios de análise da aprendizagem. Torna-se necessário adotar propostas pedagógicas que favoreçam o confronto entre diferentes explicações e a progressiva reorganização dos modelos explicativos dos estudantes. Essa compreensão fundamenta a necessidade de estruturas didáticas que organizem intencionalmente situações de problematização, mediação e aplicação do conhecimento, articulação discutida na próxima seção.

2.4.2 Os Três Momentos Pedagógicos como estrutura promotora da mudança conceitual

A articulação entre os Três Momentos Pedagógicos e as teorias contemporâneas da aprendizagem científica permite compreender essa metodologia não como um simples arranjo didático, mas como uma estrutura intencionalmente alinhada aos processos de construção e reorganização do conhecimento. Ao considerar a aprendizagem como um fenômeno não linear, fragmentado e fortemente influenciado pelas concepções prévias dos estudantes, os 3MP oferecem condições pedagógicas favoráveis para que ocorram avanços conceituais progressivos, ainda que marcados por instabilidades e oscilações (POZO, 1999; GHAZALI; TOLMIE, 2014).

No momento da Problematização Inicial, a proposta dos Três Momentos Pedagógicos atua diretamente sobre a explicitação dos modelos explicativos prévios dos estudantes. Ao partir de situações do cotidiano e de questões abertas, esse momento permite que concepções intuitivas e explicações de senso comum sejam externalizadas sem julgamento imediato, funcionando como ponto de partida para o processo de aprendizagem. Essa etapa não busca provocar um conflito cognitivo abrupto, mas criar uma tensão produtiva ao evidenciar que os modelos disponíveis ao estudante são insuficientes para explicar plenamente a situação apresentada. Tal dinâmica é coerente com a perspectiva de mudança conceitual defendida por Pozo (1999), segundo a qual o conhecimento cotidiano não é eliminado, mas progressivamente reorganizado e hierarquizado em relação ao conhecimento científico.

A Organização do Conhecimento, por sua vez, corresponde ao momento em que ocorre a mediação pedagógica sistemática entre os saberes prévios e os modelos científicos consolidados. Nesse estágio, o professor assume papel central ao introduzir conceitos, leis e representações próprias da ciência, promovendo sua articulação com as problematizações iniciais. Esse processo não implica a substituição imediata das ideias anteriores, mas a construção de novas formas de representação que passam a coexistir com os modelos intuitivos. Conforme discutem Duit, Treagust e Widodo (2013), é comum que, nesse estágio, surjam modelos híbridos ou sintéticos, nos quais elementos do conhecimento científico e do senso comum convivem de maneira instável. Essa instabilidade não deve ser interpretada como falha, mas como indício de que o estudante se encontra em processo de reorganização conceitual.

Sob essa perspectiva, a Organização do Conhecimento dialoga também com a teoria da aprendizagem significativa, na medida em que favorece interações substantivas entre os novos conteúdos e a estrutura cognitiva prévia do aprendiz. Como destaca Moreira (2012), a aprendizagem significativa não ocorre pela simples exposição à informação, mas pela possibilidade de ancoragem dos novos conceitos em ideias relevantes já existentes, ainda que estas precisem ser progressivamente diferenciadas e reorganizadas. Assim, esse momento pedagógico contribui para que o conhecimento científico adquira maior estabilidade cognitiva, sem desconsiderar a persistência das concepções alternativas.

Já a Aplicação do Conhecimento representa uma etapa crucial para a consolidação funcional dos conceitos trabalhados. Ao propor que os estudantes utilizem os modelos científicos para interpretar novas situações ou revisitar as problematizações iniciais, esse momento permite avaliar a capacidade de transferência e de uso do conhecimento em contextos distintos. Entretanto, conforme apontam Ghazali e Tolmie (2014), a ocorrência de erros, regressões ou respostas inconsistentes nesse estágio não invalida o processo de aprendizagem, mas revela a natureza fragmentada e não linear do desenvolvimento conceitual. A alternância entre diferentes modelos explicativos, dependendo do contexto e das demandas da tarefa, é compatível com a coexistência funcional entre conhecimento cotidiano e científico descrita por Pozo (1999).

Dessa forma, os Três Momentos Pedagógicos configuram-se como uma estrutura didática coerente com as contribuições da pesquisa em mudança conceitual, ao reconhecer que aprender Ciências envolve a construção progressiva de novos significados, mediada pelo diálogo, pela problematização e pela aplicação reflexiva do conhecimento. Ao invés de buscar respostas imediatas e homogêneas, essa abordagem valoriza o percurso cognitivo do estudante, legitimando o erro, a instabilidade e a revisão de ideias como elementos constitutivos do processo educativo. Essa compreensão é fundamental para a análise dos resultados obtidos na aplicação do produto educacional, especialmente diante de avanços parciais, regressões aparentes e desempenhos oscilantes observados ao longo do pré-teste e do pós-teste.

2.4.3 Articulação entre os Três Momentos Pedagógicos e a Aprendizagem Significativa

A proposta dos Três Momentos Pedagógicos apresenta forte convergência com os pressupostos da Teoria da Aprendizagem Significativa, na medida em que ambas reconhecem o papel central dos conhecimentos prévios e da organização cognitiva do estudante no processo de aprendizagem. Embora os 3MP não tenham sido originalmente formulados a partir da teoria ausubeliana, sua estrutura didática favorece condições que possibilitam a ocorrência de aprendizagens com significado, conforme discutido por Moreira (2012).

Segundo Ausubel, a aprendizagem significativa ocorre quando uma nova informação estabelece relações não arbitrárias e não literais com conhecimentos relevantes já existentes na estrutura cognitiva do aprendiz, denominados subsunçores. Esse processo não implica a simples incorporação de novos dados, mas a modificação recíproca entre o conhecimento prévio e o novo conteúdo. Frasson, Laburú e Zompero (2019) reforçam essa concepção ao destacar que a aprendizagem significativa envolve uma organização hierárquica do conhecimento, na qual conceitos mais gerais e inclusivos passam a ancorar e dar sentido a ideias mais específicas.

Nesse sentido, o momento da Problemática Inicial nos Três Momentos Pedagógicos cria condições favoráveis à ativação desses subsunçores, ao partir de situações concretas e significativas para os estudantes. Ao serem convidados a explicar fenômenos com base em suas próprias experiências e concepções, os alunos mobilizam conhecimentos prévios que servirão de ancoragem para os conceitos científicos introduzidos posteriormente. Esse movimento dialoga diretamente com a condição relativa ao aprendiz destacada por Frasson, Laburú e Zompero (2019), segundo a qual a aprendizagem significativa depende tanto da predisposição para aprender quanto da existência de ideias relevantes às quais o novo conhecimento possa se conectar.

A Organização do Conhecimento, por sua vez, contribui para atender às condições relativas ao material de ensino. Ao sistematizar conceitos, leis e modelos científicos de forma progressiva e articulada às problematizações iniciais, esse momento favorece a apresentação de conteúdos potencialmente significativos, organizados logicamente e passíveis de integração à estrutura cognitiva do estudante. Conforme argumenta Moreira (2012), a simples exposição de informações não garante aprendizagem significativa; é

necessário que o conteúdo seja apresentado de modo estruturado, hierarquizado e conceitualmente claro, o que encontra respaldo na intencionalidade didática desse segundo momento pedagógico.

Além disso, Frasson, Laburú e Zompero (2019) ampliam a teoria ausubeliana ao destacar que a aprendizagem significativa não se restringe ao domínio conceitual, abrangendo também conteúdos procedimentais e atitudinais. Essa ampliação dialoga com a dinâmica dos 3MP, especialmente quando a Organização do Conhecimento é acompanhada de atividades experimentais, simulações e discussões coletivas, nas quais os estudantes não apenas compreendem conceitos, mas desenvolvem procedimentos de investigação e atitudes relacionadas à argumentação, à colaboração e à reflexão crítica.

A Aplicação do Conhecimento reforça ainda mais essa articulação ao exigir que os estudantes mobilizem os conceitos organizados para interpretar novas situações, revisar hipóteses iniciais ou enfrentar desafios inéditos. Esse momento favorece a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora, processos centrais da aprendizagem significativa descritos por Ausubel e sistematizados por Moreira (2012). Ao aplicar o conhecimento em contextos variados, o aluno amplia a rede de significados associada aos conceitos científicos, fortalecendo sua estabilidade cognitiva e sua funcionalidade.

Assim, a aproximação entre os Três Momentos Pedagógicos e a Teoria da Aprendizagem Significativa não ocorre por identidade teórica, mas por convergência pedagógica. Ambas as abordagens reconhecem que a aprendizagem em Ciências envolve a construção ativa de significados, a reorganização progressiva dos conhecimentos prévios e a necessidade de condições didáticas que favoreçam a integração entre novos conteúdos e a estrutura cognitiva do aprendiz. Essa articulação teórica contribui para sustentar a análise dos resultados obtidos neste trabalho, especialmente no que se refere à compreensão de avanços parciais, instabilidades conceituais e diferenças de desempenho observadas ao longo da intervenção pedagógica.

2.5 SÍNTESE INTEGRADORA DOS FUNDAMENTOS PEDAGÓGICOS

A discussão desenvolvida ao longo deste capítulo permite compreender que os Três Momentos Pedagógicos, a perspectiva da mudança conceitual e a Teoria da Aprendizagem Significativa não constituem abordagens concorrentes, mas referenciais complementares para a análise do ensino e da aprendizagem em Ciências. Cada uma

dessas perspectivas contribui para iluminar dimensões distintas do processo educativo, possibilitando uma leitura mais abrangente e coerente dos fenômenos observados em sala de aula.

Os Três Momentos Pedagógicos oferecem uma estrutura didática que organiza a ação docente de forma intencional, orientando a prática pedagógica desde a problematização da realidade até a aplicação do conhecimento em novos contextos. Essa estrutura rompe com o ensino transmissivo ao reconhecer o estudante como sujeito ativo do processo, valorizando suas experiências, suas hipóteses iniciais e sua participação na construção do conhecimento. Ao mesmo tempo, os 3MP não prescindem da sistematização conceitual própria das Ciências, assegurando espaço para o aprofundamento teórico e para a mediação pedagógica.

A perspectiva da mudança conceitual, por sua vez, fornece um referencial cognitivo para interpretar como os estudantes constroem, mantêm e reorganizam seus modelos explicativos. Conforme discutido, a aprendizagem científica não ocorre de forma linear ou por simples substituição de ideias, mas por processos fragmentados, instáveis e progressivos, nos quais concepções cotidianas e científicas podem coexistir. Essa compreensão é fundamental para evitar interpretações simplificadoras do erro e do desempenho escolar, permitindo reconhecer avanços parciais, oscilações e aparentes regressões como elementos constitutivos do próprio processo de aprendizagem.

A Teoria da Aprendizagem Significativa, por sua vez, contribui ao explicitar as condições necessárias para que o conhecimento escolar seja incorporado de modo estável e funcional à estrutura cognitiva do aprendiz. Ao enfatizar a importância dos conhecimentos prévios, da organização lógica dos conteúdos e da predisposição do estudante para aprender, essa teoria oferece um suporte teórico consistente para compreender por que determinadas propostas pedagógicas favorecem a construção de significados, enquanto outras resultam apenas em aprendizagens mecânicas e efêmeras.

A articulação entre esses três referenciais permite compreender que os Três Momentos Pedagógicos criam condições didáticas favoráveis tanto à reorganização conceitual quanto à aprendizagem significativa. A problematização inicial ativa subsunções e explicita concepções alternativas; a organização do conhecimento promove a sistematização progressiva e a mediação entre o saber cotidiano e o científico; e a

aplicação do conhecimento favorece a transferência, a estabilização e a funcionalidade dos conceitos aprendidos. Nesse sentido, a convergência entre esses referenciais sustenta uma concepção de ensino de Ciências que reconhece a complexidade do aprender, sem reduzir o processo a indicadores pontuais de acerto ou erro.

Assim, os fundamentos pedagógicos apresentados neste capítulo constituem o marco teórico que orienta tanto a elaboração do produto educacional quanto a análise dos dados produzidos ao longo da pesquisa. Ao compreender a aprendizagem como um processo dinâmico, situado e cognitivamente complexo, torna-se possível interpretar os resultados do pré-teste e do pós-teste, bem como as produções dos estudantes durante as atividades, não apenas em termos de desempenho quantitativo, mas à luz dos processos de construção, reorganização e estabilização do conhecimento científico.

Dessa forma, o capítulo seguinte dedica-se à apresentação e análise dos resultados da intervenção pedagógica, tomando como referência os fundamentos aqui discutidos, especialmente no que se refere à identificação de avanços conceituais, instabilidades cognitivas e padrões de resposta compatíveis com os processos descritos pelas teorias da mudança conceitual e da aprendizagem significativa, articuladas à dinâmica dos Três Momentos Pedagógicos.

3 TRANSFORMAÇÕES GASOSAS

3.1 SISTEMA TERMODINÂMICO E VARIÁVEIS DE ESTADO

Na Termodinâmica clássica, o estudo dos gases tem início com a definição de um sistema termodinâmico, entendido como uma porção de matéria escolhida para análise, separada do restante do universo (denominado meio ou vizinhança) por uma fronteira real ou imaginária. Essa fronteira delimita as interações possíveis entre o sistema e o meio externo, permitindo classificar os sistemas conforme a possibilidade de troca de matéria e energia. Assim, distinguem-se sistemas abertos, nos quais há fluxo de massa através da fronteira; sistemas fechados, caracterizados pela conservação da massa; e sistemas isolados, que não realizam trocas nem de matéria nem de energia com a vizinhança (SÁIZ JABARDO et al., 2025).

No contexto deste trabalho, considera-se um sistema fechado, no qual não ocorre troca de matéria com o meio externo, embora sejam possíveis transferências de energia sob as formas de calor e trabalho. Além disso, o sistema analisado pode ser classificado como um sistema simples compressível, isto é, aquele cujo comportamento macroscópico pode ser descrito exclusivamente por variáveis associadas à compressão e expansão do fluido, desconsiderando efeitos relacionados a campos elétricos, magnéticos, forças de inércia ou transformações químicas (NUSSENZVEIG, 2002; SÁIZ JABARDO et al., 2025).

O estado termodinâmico de um sistema em equilíbrio – condição na qual suas propriedades macroscópicas permanecem constantes no tempo e não há fluxos macroscópicos internos de matéria ou energia – é definido pelo conjunto de valores assumidos por determinadas grandezas macroscópicas, denominadas variáveis de estado. Para um sistema simples compressível, as principais variáveis são a pressão p , o volume V , a temperatura T e a quantidade de matéria n . Essas grandezas possuem a propriedade fundamental de caracterizar unicamente o estado atual do sistema, sendo independentes do caminho termodinâmico previamente percorrido. Em outras palavras, variações nessas grandezas dependem apenas dos estados inicial e final considerados, e não do processo intermediário que levou de um ao outro (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016).

Sob essa perspectiva, o estado de um sistema pode ser representado como um ponto em um espaço de estados definido pelas variáveis (p, V, T, n) . Em condições de equilíbrio termodinâmico, tais variáveis não são independentes entre si, estando

relacionadas por uma equação de estado, que expressa uma relação funcional entre elas. Dessa forma, a especificação de um número mínimo de propriedades independentes é suficiente para determinar completamente o estado do sistema e, a partir disso, avaliar as demais propriedades macroscópicas (SÁIZ JABARDO et al., 2025).

Neste trabalho, o comportamento dos gases será analisado a partir do modelo de gás ideal, no qual as partículas são consideradas puntiformes, possuem movimento caótico regido pelas leis da mecânica newtoniana e interagem apenas durante colisões de curta duração e perfeitamente elásticas (TORRES; FERRARO; SOARES, 2010). Embora constitua uma idealização, esse modelo descreve adequadamente muitos sistemas gasosos em condições de baixa densidade e pressões moderadas.

A evolução de um sistema entre dois estados de equilíbrio distintos caracteriza uma transformação termodinâmica, que pode ser interpretada como um caminho específico traçado no espaço de estados. O estudo das transformações gasosas consiste, portanto, na análise das relações entre as variáveis de estado ao longo desses caminhos, geralmente sob restrições físicas bem definidas, como a manutenção de uma das variáveis constante. Essas transformações constituem a base para a compreensão dos processos físicos associados aos gases e para o estabelecimento de modelos que permitem descrever, de forma sistemática, seu comportamento macroscópico.

3.2 PRESSÃO: DEFINIÇÃO MECÂNICA E INTERPRETAÇÃO TERMODINÂMICA

A pressão constitui uma das principais variáveis de estado utilizadas na descrição de sistemas gasosos e pode ser inicialmente introduzida a partir de sua definição mecânica. Do ponto de vista clássico, a pressão p exercida por um sistema sobre uma superfície é definida como a razão entre a força normal F aplicada e a área A sobre a qual essa força atua, sendo expressa matematicamente por

$$p = \frac{F}{A}. \quad (3.1)$$

No Sistema Internacional de Unidades, a pressão é medida em pascal (Pa), unidade equivalente a N/m^2 , cuja definição está diretamente associada às leis fundamentais da Mecânica (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016).

Em sistemas gasosos confinados, essa grandeza assume papel central no estabelecimento do equilíbrio mecânico entre o sistema e o meio externo. Considere-se,

por exemplo, um gás contido em um recipiente provido de uma parede móvel, como um êmbolo. A condição de equilíbrio do êmbolo é determinada pelo equilíbrio entre as forças exercidas pela pressão do gás sobre sua superfície e aquelas associadas à pressão externa aplicada ao sistema. Nesta última, inclui-se, em geral, a pressão atmosférica e, quando pertinente, o peso do próprio êmbolo. Nessas condições, a pressão externa atua como uma condição de contorno, impondo restrições à evolução do sistema.

A pressão atmosférica pode ser compreendida como o resultado da ação da força peso exercida pela coluna de ar que compõe a atmosfera sobre uma determinada área. Cada partícula que constitui os gases atmosféricos contribui, de forma coletiva, para a força total exercida sobre as superfícies expostas, processo fundamentado na teoria cinética dos gases (TORRES; FERRARO; SOARES, 2010). Essa força origina a pressão que pode ser quantificada por dispositivos de medida como barômetros e manômetros. Essa interpretação permite compreender a pressão não como uma propriedade intrínseca de uma superfície, mas como uma grandeza associada à interação entre o fluido e seus limites físicos.

Do ponto de vista termodinâmico, a pressão adquire um significado mais amplo ao ser associada à realização de trabalho mecânico durante processos de expansão ou compressão do sistema. Em particular, quando a evolução do sistema ocorre de maneira suficientemente lenta para que ele permaneça próximo do equilíbrio em todos os instantes, o trabalho elementar realizado pode ser expresso por

$$\delta W = p_{\text{ext}} dV, \quad (3.2)$$

em que p_{ext} representa a pressão externa aplicada ao sistema e dV a variação infinitesimal do volume (SÁIZ JABARDO et al., 2025). A integração dessa expressão ao longo de um processo conduz ao trabalho total realizado durante a transformação, dado por

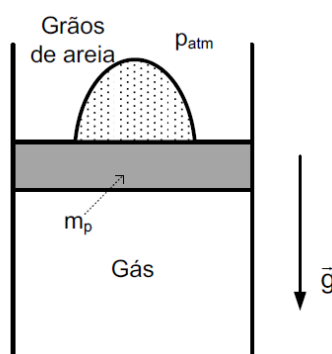
$$W = \int_{V_i}^{V_f} p_{\text{ext}} dV. \quad (3.3)$$

A condição descrita anteriormente, na qual o sistema evolui de forma suficientemente lenta para permanecer próximo do equilíbrio, corresponde ao que se denomina processo quase-estático. Trata-se de um modelo ideal no qual a transformação entre dois estados de equilíbrio ocorre por meio de uma sucessão contínua de estados

intermediários, também de equilíbrio, permitindo que grandezas como pressão e temperatura estejam bem definidas ao longo de todo o processo (SÁIZ JABARDO et al., 2025).

Uma representação física desse tipo de processo pode ser obtida a partir do sistema cilindro-pistão, no qual a pressão externa é modificada gradualmente, por exemplo, pela remoção sucessiva de pequenas massas dispostas sobre o êmbolo, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 - Sistema cilindro-pistão para ilustrar processos quase-estáticos



Fonte: Saiz Jabardo et al. (2025).

Nessa representação, a pressão externa efetiva sobre o gás é determinada pela contribuição da pressão atmosférica, pelo peso do próprio êmbolo e pela adição gradual de pequenas massas sobre sua superfície, todas atuando sob a ação do campo gravitacional. Nessas condições, o deslocamento do êmbolo ocorre de maneira lenta e praticamente imperceptível, garantindo a uniformidade interna do sistema e justificando o uso das relações diferenciais e integrais na análise das transformações gasosas.

3.3 RELAÇÕES EMPÍRICAS ENTRE PRESSÃO, VOLUME E TEMPERATURA

Os primeiros avanços na compreensão do comportamento dos gases ocorreram ainda no século XVII, em um contexto no qual não havia uma teoria microscópica consolidada da matéria. Ao investigar experimentalmente o comportamento do ar, Robert Boyle identificou uma relação sistemática entre pressão e volume, ainda que sua interpretação física permanecesse essencialmente qualitativa. De acordo com Brush (2004, p. 2), ao falar sobre as contribuições para o estudo dos gases que ressurgiram durante o século XVII, o químico e físico britânico Robert Boyle, ao explicar o comportamento do ar, “*mencionou duas explicações atomísticas alternativas para a*

pressão do ar: (1) o ar é composto por partículas que se repelem, como pedaços de lã enrolados ou molas; (2) o ar é composto por partículas giratórias que se empurram umas às outras por impactos”

Embora essas interpretações não apresentassem ainda um caráter quantitativo rigoroso, elas representaram um passo importante ao associar a pressão a propriedades internas do gás e ao movimento de suas constituintes. Do ponto de vista experimental, os estudos de Boyle conduziram à identificação de uma relação inversa entre pressão e volume em transformações realizadas a temperatura aproximadamente constante, relação que ficou conhecida como Lei de Boyle–Mariotte e que constitui uma das bases empíricas do estudo das transformações gasosas.

A partir de investigações experimentais realizadas com uma quantidade fixa de gás submetida a transformações lentas, observou-se que, quando a temperatura é mantida aproximadamente constante, a pressão exercida pelo gás varia de forma inversamente proporcional ao volume por ele ocupado (BRUSH, 2004). Essa regularidade empírica ficou conhecida como Lei de Boyle–Mariotte e pode ser expressa, para um dado sistema, pela relação

$$pV = \text{constante.} \quad (3.4)$$

Essa lei descreve o comportamento do gás em transformações realizadas sob condições controladas, nas quais a troca de energia com o meio é suficiente para evitar variações significativas de temperatura. Nessas circunstâncias, a relação inversa entre pressão e volume revela que aumentos no volume disponível ao gás implicam reduções na pressão exercida sobre as paredes do recipiente, enquanto compressões resultam em aumentos de pressão. Importa ressaltar que, nesse estágio da análise, a constante que aparece na relação não recebe uma interpretação teórica mais profunda, sendo apenas um parâmetro característico do estado térmico do sistema considerado.

3.4 VOLUME, TRABALHO E PROCESSOS ISOTÉRMICOS

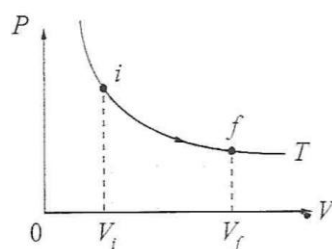
O volume V é uma variável de estado associada ao espaço ocupado pelo sistema. Em sistemas gasosos confinados por paredes móveis, como no conjunto cilindro-pistão, variações de volume estão diretamente relacionadas ao deslocamento do pistão sob a ação de forças externas. Nessas condições, alterações no volume do sistema implicam necessariamente a realização de trabalho mecânico, cujo valor depende do modo como a pressão externa varia ao longo da transformação.

Conforme discutido anteriormente, em processos que ocorrem de maneira suficientemente lenta para que o sistema permaneça próximo do equilíbrio, o trabalho realizado durante uma transformação entre os volumes inicial V_i e final V_f pode ser expresso pela equação (3.3). Essa expressão evidencia que o trabalho não depende apenas dos estados inicial e final, mas do caminho percorrido no espaço de estados, sendo, portanto, uma grandeza dependente do processo.

Um caso particular de interesse ocorre quando o sistema gasoso sofre uma transformação durante a qual a temperatura permanece constante. Transformações dessa natureza são denominadas processos isotérmicos (Figura 2). Para um gás ideal, a condição de temperatura constante implica, por meio da Lei de Boyle–Mariotte,

$$pV = C$$

Figura 2 - Expansão isotérmica



Fonte: Nussenzveig (2002).

Essa lei estabelece que, para uma dada massa de gás ideal a temperatura constante, o volume é inversamente proporcional à pressão (NUSSENZVEIG, 2002).

Sob essas condições, a pressão do sistema pode ser expressa como função do volume, $p = \frac{C}{V}$, permitindo a avaliação do trabalho realizado durante a transformação. Substituindo essa relação na equação (3.3), obtém-se

$$W = \int_{V_i}^{V_f} \frac{C}{V} dV = C \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right). \quad (3.5)$$

Essa expressão mostra que, em um processo isotérmico quase-estático, o trabalho realizado pelo gás depende do logaritmo da razão entre os volumes final e inicial, ressaltando o caráter não linear da relação entre trabalho e variação de volume.

A análise dos processos isotérmicos ilustra de forma clara como a imposição de uma restrição física específica (neste caso, a manutenção da temperatura constante)

determina o comportamento das variáveis de estado e o valor do trabalho associado à transformação. Esse tipo de abordagem fornece um modelo conceitual e matemático fundamental para a compreensão das transformações gasosas, servindo de base para o estudo de outros processos termodinâmicos, como os processos isobáricos e isocóricos, que serão discutidos nas próximas seções.

3.5 TEMPERATURA, ENERGIA INTERNA E A PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA

A temperatura T é uma variável de estado associada ao equilíbrio térmico entre sistemas. De acordo com Torres, Ferraro e Soares (2010), dois sistemas encontram-se em equilíbrio térmico quando, ao serem colocados em contato, não ocorre troca líquida de energia na forma de calor, propriedade que fundamenta a definição operacional de temperatura e sua relevância na caracterização do estado termodinâmico de um sistema.

Ainda segundo os autores, quando se trata de sistemas gasosos, a temperatura está relacionada às propriedades microscópicas associadas ao movimento de suas partículas. A energia associada a esse movimento, quando considerada no conjunto do sistema, contribui para uma grandeza macroscópica denominada energia interna U . Essa grandeza representa a soma das energias microscópicas das partículas constituintes do sistema e é classificada como uma variável de estado, de modo que sua variação depende apenas dos estados inicial e final, independentemente do caminho seguido na transformação.

A relação entre a variação da energia interna, o calor trocado com o meio e o trabalho realizado durante um processo termodinâmico é expressa pela Primeira Lei da Termodinâmica, que, de acordo com Saiz Jabardo *et al* (2025), pode ser escrita na forma diferencial como

$$dU = \delta Q - \delta W. \quad (3.6)$$

Essa expressão formaliza o princípio da conservação da energia aplicado aos sistemas termodinâmicos e evidencia a distinção entre grandezas que dependem do processo e aquelas que dependem exclusivamente do estado do sistema, como a energia interna.

Um resultado fundamental para o estudo dos gases ideais decorre do experimento realizado por Joule no século XIX, no qual um gás inicialmente confinado é submetido a uma expansão livre para uma região evacuada, sem realização de trabalho externo e sem troca de calor com o meio. Nessas condições, embora o volume do sistema varie de forma

significativa, observa-se que a temperatura do gás permanece inalterada. Esse resultado experimental indica que, para gases ideais, a energia interna não depende do volume, mas apenas da temperatura (NUSSENZVEIG, 2002).

Do ponto de vista formal, esse resultado pode ser expresso pela condição

$$\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T = 0, \quad (3.7)$$

o que implica que a energia interna de um gás ideal é função exclusiva da temperatura, podendo ser escrita como

$$U = U(T). \quad (3.8)$$

Essa propriedade desempenha papel central na análise das transformações gasosas, pois permite relacionar variações de energia interna diretamente a variações de temperatura, independentemente das mudanças de volume envolvidas no processo.

Consequentemente, em processos isotérmicos, nos quais a temperatura permanece constante, a energia interna do sistema não se altera, e toda a energia transferida na forma de calor é convertida em trabalho. Em processos nos quais a temperatura varia, parte da energia transferida contribui para modificar a energia interna do sistema, estabelecendo o balanço energético descrito pela Primeira Lei. Esse formalismo fornece a base conceitual necessária para a análise das transformações isobáricas e isocóricas, discutidas nas seções subsequentes.

3.6 TRANSFORMAÇÕES ISOBÁRICAS

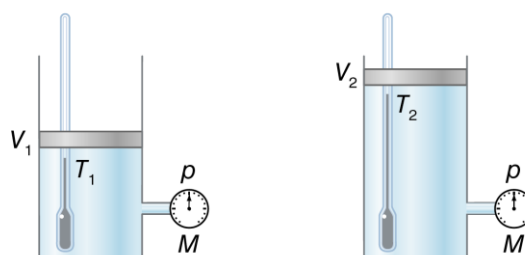
As transformações isobáricas foram identificadas experimentalmente a partir da observação de que, sob pressão constante, o volume de um gás varia de forma sistemática com a temperatura. Experimentos independentes realizados ao longo do século XIX pelos cientistas franceses Jacques Charles (1746-1823) e Joseph Louis Gay-Lussac (1778-1850) mostraram que, para uma quantidade fixa de gás mantida sob pressão aproximadamente constante, o volume é diretamente proporcional à temperatura absoluta (TORRES; FERRARO; SOARES, 2010). Essa regularidade empírica é expressa pela relação

$$\frac{V}{T} = \text{constante}, \quad (3.9)$$

conhecida como Lei de Charles, válida para transformações realizadas em condições próximas do equilíbrio.

Do ponto de vista físico, uma transformação isobárica pode ser ilustrada por um gás confinado em um recipiente provido de um êmbolo móvel, submetido a uma pressão externa constante, conforme indicado na Figura 3. Nessa situação, a pressão exercida sobre o gás é mantida fixa (condição assegurada pela carga aplicada sobre o êmbolo e monitorada pelo manômetro) enquanto o fornecimento ou a retirada de energia térmica provoca variações na temperatura do sistema, registradas pelo termômetro. A passagem do estado inicial, caracterizado por volume V_1 e temperatura T_1 , para um estado final, com volume V_2 e temperatura T_2 , ocorre com deslocamento do êmbolo, evidenciando que as mudanças de volume acompanham as variações de temperatura, enquanto a pressão permanece inalterada ao longo de todo o processo.

Figura 3 - Esquema da transformação isobárica



Fonte: Torres, Ferraro e Soares (2010).

Em um diagrama $p \times V$, uma transformação isobárica é representada por um segmento horizontal, indicando a constância da pressão ao longo do processo. Essa representação gráfica permite interpretar diretamente o trabalho realizado pelo gás como a área sob a curva correspondente ao processo.

Matematicamente, em uma transformação isobárica quase-estática, o trabalho realizado pelo gás ao passar de um volume inicial V_i para um volume final V_f é dado por

$$W = \int_{V_i}^{V_f} p \, dV = p (V_f - V_i). \quad (3.10)$$

A aplicação da Primeira Lei da Termodinâmica permite compreender como a energia transferida ao sistema se distribui nesse tipo de transformação. Como a pressão permanece constante, o aquecimento do gás provoca simultaneamente aumento de volume e variação da energia interna. Assim, o calor fornecido ao sistema é parcialmente

convertido em trabalho de expansão e parcialmente utilizado para elevar a energia interna do gás, sendo esta última diretamente associada à variação de temperatura.

As transformações isobáricas constituem, portanto, um exemplo claro de como uma relação empírica entre variáveis termodinâmicas se articula com os fundamentos teóricos da Termodinâmica. Essa análise complementa o estudo das transformações isotérmicas e prepara o terreno para o caso limite das transformações isocóricas, nas quais não há realização de trabalho.

3.7 TRANSFORMAÇÕES ISOCÓRICAS

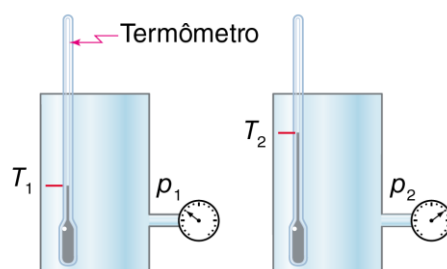
As transformações isocóricas foram estabelecidas a partir da observação experimental, também feitas por Jacques Charles e Guy-Lussac, de que, quando o volume de um gás é mantido constante, a pressão varia de forma diretamente proporcional à temperatura absoluta. Para uma quantidade fixa de gás confinada em um recipiente de volume rígido, essa regularidade empírica pode ser expressa pela relação

$$\frac{p}{T} = \text{constante}, \quad (3.11)$$

conhecida como Lei de Gay-Lussac, válida para processos realizados em condições próximas do equilíbrio termodinâmico.

Do ponto de vista físico, uma transformação isocórica pode ser ilustrada por um gás confinado em um recipiente rígido e vedado, provido de um termômetro e de um manômetro, conforme indicado na Figura 4. Nessa situação, o volume do recipiente permanece constante, enquanto o fornecimento ou a retirada de energia térmica provoca variações na temperatura do gás, registradas pelo termômetro, e variações correspondentes na pressão interna, indicadas pelo manômetro. A passagem do estado inicial, caracterizado por uma temperatura T_1 e pressão p_1 , para um estado final, com temperatura T_2 e pressão p_2 , ocorre sem qualquer deslocamento das paredes do recipiente, evidenciando que as alterações observadas são resultado exclusivo das mudanças na energia interna do sistema.

Figura 4 - Esquema da transformação isocórica



Fonte: Torres, Ferraro e Soares (2010).

Em um diagrama pressão–volume, uma transformação isocórica é representada por um segmento vertical, indicando a constância do volume ao longo de todo o processo. Essa representação gráfica evidencia uma característica fundamental desse tipo de transformação: como não há variação de volume, não existe área sob a curva no diagrama $p \times V$, o que implica ausência de trabalho mecânico realizado pelo gás.

Matematicamente, em uma transformação isocórica quase-estática, a variação de volume é nula, $dV = 0$, e, conseqüentemente, o trabalho realizado pelo sistema é dado por

$$W = \int p \, dV = 0. \quad (3.12)$$

Nessas condições, a aplicação da Primeira Lei da Termodinâmica assume uma forma particularmente simples,

$$\Delta U = Q, \quad (3.13)$$

indicando que toda a energia transferida ao sistema na forma de calor é utilizada exclusivamente para alterar sua energia interna.

Para gases ideais, cuja energia interna depende apenas da temperatura, essa transformação fornece uma relação direta entre o calor trocado e a variação de temperatura do sistema. Assim, as transformações isocóricas constituem um caso limite fundamental para a compreensão do papel da energia interna nas transformações gasosas, complementando as análises das transformações isotérmicas e isobáricas.

3.8 EQUAÇÃO DE ESTADO DOS GASES IDEAIS

As relações empíricas analisadas nas seções anteriores mostram que as variáveis pressão, volume e temperatura estão interligadas de forma sistemática. Em processos isotérmicos, isobáricos e isocóricos, essas grandezas obedecem a relações específicas quando uma delas é mantida constante. A combinação dessas regularidades experimentais

conduz a uma relação mais geral entre os estados inicial e final de um gás, conhecida como Lei Geral dos Gases.

Para uma quantidade fixa de gás, a Lei Geral dos Gases pode ser expressa pela relação

$$\frac{pV}{T} = \text{constante}, \quad (3.14)$$

a qual sintetiza, em uma única expressão, as leis empíricas de Boyle–Mariotte, Charles e Gay-Lussac. Essa forma evidencia que, embora pressão, volume e temperatura possam variar ao longo de um processo, a razão pV/T permanece invariante para um mesmo sistema gasoso, desde que as condições de validade do modelo sejam respeitadas (NUSSENZVEIG, 2002).

A extensão dessa relação para sistemas contendo diferentes quantidades de gás exige a introdução de uma grandeza proporcional à quantidade de matéria presente no sistema. Experimentalmente, observa-se que o valor da constante associada à razão pV/T cresce proporcionalmente ao número de partículas do gás. Essa constatação conduz à introdução da quantidade de matéria n , expressa em mol, e à definição da constante universal dos gases R , resultando na forma mais conhecida da equação de estado dos gases ideais:

$$pV = nRT. \quad (3.15)$$

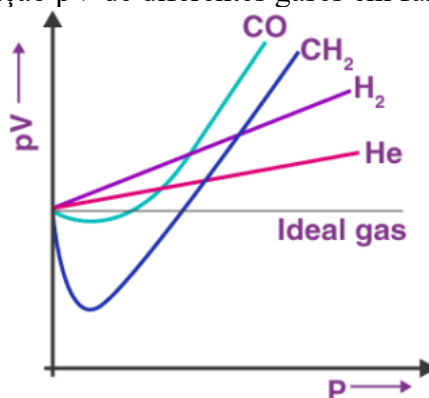
Nessa expressão, a constante R assume o papel de fator de proporcionalidade universal, independente da natureza do gás, enquanto a quantidade de matéria n explicita a dependência do estado termodinâmico em relação ao número de partículas presentes no sistema. A equação de estado dos gases ideais deve, portanto, ser compreendida como uma generalização empírica que reúne, em uma única relação matemática, os comportamentos observados experimentalmente em diferentes tipos de transformações gasosas.

A equação 3.15 estabelece as relações entre as variáveis de estado para gases ideais, ou seja, cujas partículas que o compõe tem movimentos caóticos, regidos pelas leis da mecânica newtoniana, tem dimensões desprezíveis e interagem através de colisões perfeitamente elástica e de curta duração. Em outras palavras, é um modelo teórico que delimita condições específicas para sua observação. Entretanto, para Halliday, Resnick e

Walker (2016), ao considerar amostras contendo 1 mol de diferentes gases, confinadas em recipientes de mesmo volume e mantidas à mesma temperatura, observa-se que as pressões medidas apresentam valores muito próximos entre si. Além disso, à medida que a quantidade de matéria é reduzida, essas pequenas diferenças de pressão tendem a desaparecer, indicando um comportamento comum entre os gases em condições cada vez mais diluídas.

Essa constatação pode ser observada pela relação pV em função da pressão na Figura 5, mostrando que ao reduzir a pressão todos os gases tem o mesmo comportamento de um gás ideal.

Figura 5 - Relação pV de diferentes gases em função da pressão



Fonte: byjus.com (2025).

3.9 QUANTIDADE DE MATÉRIA E MOL

A equação de estado dos gases ideais estabelece uma relação direta entre pressão, volume e temperatura, mas sua aplicação exige a introdução explícita de uma grandeza adicional que quantifique a matéria presente no sistema. Na expressão $pV = nRT$, essa função é desempenhada pela quantidade de matéria n , cuja interpretação não se reduz a uma massa ou volume, mas está associada ao número de entidades microscópicas que compõem o gás.

A formalização dessa grandeza está vinculada às contribuições de Amedeo Avogadro (1776–1856), ao reconhecer que, para gases submetidos às mesmas condições de pressão e temperatura, volumes iguais contêm o mesmo número de partículas. Esse resultado permitiu estabelecer uma ponte conceitual entre a descrição macroscópica dos gases e sua constituição microscópica, viabilizando a definição do mol como unidade padrão da quantidade de matéria.

No Sistema Internacional, um mol é definido como a quantidade de matéria que contém tantas entidades elementares quantos são os átomos presentes em 12 gramas do isótopo carbono-12 (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2016). O número correspondente de partículas é denominado número de Avogadro, cujo valor é

$$N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} \quad (3.16)$$

A quantidade de matéria n pode ser determinada diretamente a partir do número total de partículas N presentes em uma amostra, por meio da relação

$$n = \frac{N}{N_A}. \quad (3.17)$$

Alternativamente, quando se dispõe da massa da amostra M_a e da massa molar M da substância, a quantidade de matéria pode ser expressa como

$$n = \frac{M_a}{M}. \quad (3.18)$$

Uma forma equivalente pode ser obtida considerando a massa molecular m de uma única molécula, resultando em

$$n = \frac{M_a}{m N_A}. \quad (3.19)$$

Considerando-se, como exemplo, um sistema contendo 1 mol de um gás ideal, a equação de estado assume a forma $pV = RT$. Segundo Nussenzveig (2002), ao se medir experimentalmente a pressão, o volume e a temperatura desse sistema em diferentes condições próximas do comportamento ideal, obtêm-se sempre os mesmos valores numéricos para a constante de proporcionalidade R , independentemente da natureza do gás. Esses valores são

$$8,31 \frac{J}{\text{mol} \cdot K} \quad (3.20)$$

Quando expressos no sistema internacional de unidades, ou, de forma equivalente

$$0,082 \frac{\text{atm} \cdot L}{\text{mol} \cdot K} \quad (3.21)$$

Esse resultado evidencia que o mol fixa uma escala macroscópica comum para a descrição dos gases e confirma o caráter universal da constante R , conforme discutido em tratamentos clássicos da Termodinâmica.

3.10 TEORIA CINÉTICA DOS GASES

A equação de estado dos gases ideais fornece uma descrição macroscópica eficaz do comportamento dos gases ao relacionar pressão, volume, temperatura e quantidade de matéria. Entretanto, essa relação não explicita, por si só, a origem física dessas grandezas nem o significado microscópico das constantes envolvidas. Essa lacuna é preenchida pela teoria cinética dos gases, que estabelece a conexão entre a descrição macroscópica e o movimento microscópico das partículas que constituem o sistema.

Segundo Halliday, Resnick (2016), essa teoria explica que

“Um gás é formado por átomos (isolados ou unidos em moléculas) que ocupam totalmente o volume do recipiente em que se encontram e exercem pressão sobre as paredes. Em geral, podemos atribuir uma temperatura a um gás confinado. Essas três propriedades dos gases (volume, pressão e temperatura) estão relacionadas ao movimento dos átomos. O volume é uma consequência da liberdade que os átomos têm para se espalhar por todo o recipiente, a pressão é causada por colisões dos átomos com as paredes do recipiente, e a temperatura está associada à energia cinética dos átomos.”

Nesse contexto, a constante universal dos gases R pode ser interpretada como um fator de conversão entre grandezas microscópicas, relacionadas à energia cinética média das partículas, e grandezas macroscópicas, acessíveis experimentalmente. Ao expressar a equação de estado na forma $pV = nRT$, o termo nR estabelece a escala energética associada à quantidade de partículas presentes no sistema, evidenciando o papel do mol como unidade que conecta a contagem microscópica de entidades à descrição termodinâmica macroscópica.

A teoria cinética, portanto, não substitui a Termodinâmica clássica, mas complementa sua descrição ao fornecer uma interpretação física para as relações empíricas e leis gerais que regem o comportamento dos gases. Com isso, encerra-se o referencial teórico necessário para a compreensão das transformações gasosas abordadas neste trabalho, estabelecendo uma base conceitual consistente para a análise do produto educacional proposto e de seus impactos no processo de aprendizagem dos estudantes.

METODOLOGIA

Este capítulo descreve o percurso metodológico adotado para o desenvolvimento, aplicação e análise do produto educacional *Investigando Transformações Gasosas Com Arduino: Uma Proposta Baseada Nos Três Momentos Pedagógicos*. A metodologia foi estruturada a partir de uma intervenção pedagógica realizada em contexto escolar real, na qual uma sequência didática sobre o comportamento dos gases foi planejada, implementada e analisada com o objetivo de investigar como diferentes estratégias experimentais e conceituais podem contribuir para a compreensão das relações entre pressão, volume e temperatura. Ao longo deste capítulo, são explicitadas as escolhas metodológicas que orientaram o trabalho, o contexto em que a intervenção foi realizada, as características do produto educacional desenvolvido e os procedimentos utilizados para a coleta e análise dos dados, de modo a garantir coerência entre os objetivos da pesquisa, a intervenção proposta e a interpretação dos resultados obtidos.

4.1 TIPO DE PESQUISA E DELINEAMENTO METODOLÓGICO

A presente pesquisa caracteriza-se como uma investigação de natureza qualitativa, com alguns elementos quantitativos, desenvolvida no contexto do ensino de Física, tendo como foco a análise de uma intervenção pedagógica realizada em ambiente escolar. Esse delineamento está em consonância com o que propõe Moreira (2011), ao destacar que pesquisas em ensino não se restringem à mensuração de resultados, mas buscam compreender processos de aprendizagem a partir da implementação de propostas didáticas concretas, considerando o contexto em que ocorrem.

Do ponto de vista do delineamento metodológico, a pesquisa adotou um modelo do tipo $O_1 \times O_2$, conforme descrito por Moreira (2011), com base na classificação proposta por Campbell e Stanley (1979). Nesse delineamento, O_1 representa a aplicação de um pré-teste, X corresponde à intervenção pedagógica — neste caso, a aplicação do produto educacional descrito anteriormente — e O_2 refere-se à aplicação de um pós-teste após a intervenção. Apesar desse delineamento ser apresentado pelo autor como pré-experimental, se mostrou mais adequado a dinâmica escolar específica onde foi aplicada, considerando os tempos disponíveis para a execução da intervenção e o currículo da instituição de ensino.

Nesse sentido, os dados obtidos por meio do pré-teste e do pós-teste foram utilizados com caráter diagnóstico e interpretativo, buscando identificar indícios de

aprendizagem e possíveis reorganizações conceituais ao longo da aplicação do produto educacional. Não se pretendeu estabelecer relações causais estritas entre a intervenção e os resultados observados, mas analisar tendências, avanços, permanências e oscilações no desempenho dos estudantes, considerando a complexidade do contexto escolar e as múltiplas variáveis que influenciam o processo de aprendizagem.

A opção por esse delineamento implica assumir que os resultados devem ser interpretados à luz do contexto específico em que a intervenção ocorreu, valorizando a análise qualitativa dos desempenhos e das respostas dos alunos, complementada por dados quantitativos. Dessa forma, o foco da investigação recai menos sobre a comparação estatística de resultados e mais sobre a compreensão dos processos de aprendizagem mobilizados ao longo da sequência didática aplicada.

4.2 CONTEXTO DA PESQUISA E PARTICIPANTES

A instituição de ensino onde foi realizado o presente estudo é um Centro Estadual de Educação Profissional (CEEP), unidade escolar que integra a rede de educação profissional do Rio Grande do Norte, consolidada e expandida a partir da adesão do estado ao Programa Brasil Profissionalizado (PBP) em 2008, com implementação efetiva no ano de 2017 (SILVA; NASCIMENTO; RAMOS, 2020).

A escola possui laboratórios de ciências com uma quantidade e características abaixo do que seria considerado adequado as necessidades educacionais desses componentes curriculares, especialmente se tratando do componente de Práticas Experimentais. E quando se fala especificamente de física, os equipamentos ainda insuficientes se limitam ao estudo de mecânica e alguns na área de eletromagnetismo. Outra dependência que vale a pena mencionar é o laboratório de informática, com computadores suficientes para atender a uma turma por vez, além de Chromebooks – notebooks com sistema operacional Chrome OS – que podem ser utilizados em sala de aula, desde que tenha acesso a internet.

Existem dois cursos técnicos ofertados na forma integrada ao Ensino Médio: Sistemas de Energias Renováveis, e Informática. A turma em que o produto foi aplicado pertence a primeira série do curso de informática, contendo 25 alunos na faixa etária de 14 a 15 anos. A escolha da turma se deu pela expectativa do uso do Arduino contribuir para sua formação profissionalizante, além de, no caso específico da turma, o professor de física ter também outros componentes curriculares alocados nela, que permitem uma

flexibilidade em seu planejamento, podendo inserir partes das aulas da sequência nela ou até fazer trocas de horários na semana (em casos de feriados ou imprevistos) a fins de cumprir o cronograma das atividades do produto.

Em questões de currículo, nas turmas de 1ª série são estabelecidas duas horas/aulas semanais de 50 min (cinquenta minutos) cada no componente curricular de física, compondo a formação geral básica do curso. Essa atividade foi aplicada dentro dessas aulas de modo que coincidisse com o planejamento da instituição na segunda metade do terceiro bimestre, que é onde o estudo dos gases está previsto para ocorrer.

O uso dos registros e produções dos estudantes ocorreu de forma voluntária, sendo garantido o anonimato dos participantes na coleta e apresentação dos dados. Para fins de identificação, os alunos foram referenciados por códigos: A1, A2, A3... de modo a preservar suas identidades. Os dados analisados foram utilizados exclusivamente para fins acadêmicos, não tendo sido empregados para avaliação escolar ou atribuição de notas. A realização da pesquisa ocorreu com ciência e autorização da instituição de ensino.

4.3 O PRODUTO EDUCACIONAL

O produto educacional desenvolvido nesta pesquisa foi concebido como uma ferramenta pedagógica destinada a auxiliar o planejamento de aulas sobre termodinâmica em processos de gases ideais, buscando torná-las mais dinâmicas e interativas. A proposta visa superar o acervo limitado de materiais experimentais na área de termologia, que muitas vezes se restringe a demonstrações ilustrativas de baixo custo que não permitem medições ou investigações mais profundas.

A estrutura do produto baseia-se na utilização de metodologias ativas, com ênfase na dinâmica dos Três Momentos Pedagógicos (3MP), que servem como eixo condutor para o desenvolvimento das atividades. Essa abordagem busca valorizar o diálogo e a problematização, partindo do conhecimento prévio do estudante para a construção coletiva do saber científico. Para tanto, o percurso didático integra o uso de simuladores computacionais, discussões de problemas teóricos e o uso da plataforma Arduino como recurso tecnológico para a coleta e análise de dados em tempo real.

A sequência didática foi planejada para ser executada em seis encontros semanais, totalizando uma carga horária de 12 horas-aula, conforme Tabela 1. O objetivo central é

que o estudante assuma o protagonismo de sua aprendizagem, sendo capaz de formular conclusões próprias ao visualizar e realizar experimentos sobre o comportamento dos gases. Através da articulação entre a visualização microscópica (via simuladores) e a medição macroscópica (via sensores do Arduino), busca-se estimular uma postura investigativa que permita compreender as leis que regem as transformações isobáricas, isocóricas e isotérmicas.

Tabela 1 - Cronograma de atividades do Produto

MOMENTO PEDAGÓGICO	OBJETOS DE CONHECIMENTO	ENCONTRO SEMANAL
1 - Problematização inicial	• Problematização - 1 horário (50 min);	1º Encontro
2 - Organização do conhecimento	• Gases: Conceitos Introdutórios (50 min);	
	• Equação de Estado e Lei Geral dos Gases Perfeitos (100 min);	2º Encontro
	• Introdução ao Arduino (100 min);	3º Encontro
	• Programação do sensor BMP280 (100 min)	4º Encontro
	• Transformações Gasosas: Atividade guiada com Arduino (100 min)	5º Encontro
3 - Aplicação do conhecimento	• Retomada das questões prévias (30 min); • Aplicação em novos problemas (60 min); • Considerações finais e fechamento do produto (10 min).	6º Encontro

Fonte: Elaboração própria (2025).

Nessa organização não estão contabilizados os momentos destinados à aplicação do pré e do pós-teste, uma vez que esses instrumentos foram utilizados prioritariamente para fins de coleta e análise de dados da pesquisa. Embora dialoguem com o desenvolvimento da sequência didática, tais atividades não constituem etapas estruturantes do produto educacional, sendo tratadas metodologicamente como instrumentos de avaliação da intervenção pedagógica.

4.3.1 Descrição da sequência didática

A sequência didática foi estruturada para ser aplicada em um regime de dois horários semanais, seguindo uma progressão conceitual necessária para a compreensão das transformações gasosas através do Arduino e de simuladores, além de atividades que estimulem a investigação, protagonismo e autonomia do aluno. O percurso já descrito na Tabela 1 está detalhado a seguir:

1º Encontro: Problematização Inicial e Conceitos Introdutórios O primeiro horário deste encontro dedica-se à **Problematização Inicial**, utilizando como ativador da curiosidade e engajamento um texto narrativo sobre o uso inadequado de um desodorante aerossol. O objetivo é provocar discussões sobre as variações de pressão, volume e temperatura percebidas em situações cotidianas, sem antecipar explicações científicas. No segundo horário, inicia-se a **Organização do Conhecimento**, focando em conceitos fundamentais sobre a natureza da matéria e as contribuições históricas de cientistas como Boyle, Charles e Gay-Lussac, dando uma introdução ao tema central e fazendo uma conexão com os fenômenos presentes no texto introdutório.

2º Encontro: Equação de Estado e Lei Geral dos Gases Este encontro aprofunda a sistematização teórica com o auxílio do simulador PhET ("Gases – Introdução"), permitindo que os estudantes visualizem o comportamento microscópico das partículas sob diferentes condições. São introduzidos os conceitos de mol, número de Avogadro e volume molar, utilizando analogias e problemas aplicados para facilitar a compreensão da magnitude dessas grandezas. Ao final, os alunos realizam uma atividade colaborativa para traçar gráficos representativos da interdependência entre as variáveis de estado.

3º Encontro: Introdução ao Arduino Nesta etapa, os estudantes têm o primeiro contato técnico com a plataforma Arduino no laboratório de informática. O foco é a familiarização com o *hardware* (placa Uno, portas digitais e analógicas) e com o ambiente de programação (IDE). A atividade prática consiste na montagem de um circuito simples com LED e resistor no simulador Tinkercad, seguida da execução física, onde os alunos aprendem as funções básicas do código, como `setup()` e `loop()`.

4º Encontro: Programação do Sensor BMP280 O encontro é voltado para a montagem do sistema experimental que será utilizado no estudo dos gases. Os estudantes aprendem a instalar e configurar a biblioteca do sensor BMP280, responsável pela medição de pressão e temperatura. A montagem envolve a integração do sensor a uma garrafa plástica (câmara fechada) e a uma seringa, permitindo o controle manual do volume interno para testes preliminares de leitura de dados em tempo real no monitor serial.

5º Encontro: Prática Experimental de Transformações Gasosas Trata-se do momento central da intervenção, onde os alunos utilizam o aparato construído para investigar, de forma guiada, as transformações isobárica, isocórica e isotérmica. Utilizando o *Serial Plotter* da IDE do Arduino, os grupos analisam como as variáveis respondem a estímulos (como aquecimento manual ou compressão via seringa), confrontando os resultados experimentais com as previsões teóricas formuladas anteriormente.

6º Encontro: Aplicação do Conhecimento e Avaliação Final No último encontro, os conhecimentos são aplicados na resolução de novos problemas e desafios contextualizados (incluindo questões de exames externos como o ENEM). É realizada uma retomada das questões de problematização do primeiro encontro para que os alunos revisitem suas concepções iniciais sob a luz do conhecimento sistematizado. O processo encerra-se com a aplicação do pós-teste, que serve como instrumento de verificação da eficácia do produto educacional e da ocorrência de mudança conceitual

4.4 INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS

Para a realização desta pesquisa, foram utilizados instrumentos que permitiram captar o estado inicial do conhecimento dos alunos, o processo de evolução durante a intervenção e o resultado final. De acordo com o delineamento, os instrumentos foram organizados da seguinte forma:

4.4.1. Pré-teste (O_1) e Pós-teste (O_2)

Ambos os instrumentos consistiram em um conjunto de seis questões extraídas e adaptadas de avaliações externas (ENEM e vestibulares), aplicadas individualmente em horários distintos da sequência didática. O objetivo foi verificar a mobilização de habilidades específicas descritas pelos **Descritores de Habilidades (D1 a D4)**.

Foram utilizadas, no pré-teste, questões extraídas de exames e avaliações externas, como vestibulares, ENEM e testes diagnósticos disponíveis em plataformas públicas, com o objetivo de verificar as principais habilidades que se espera que estudantes do ensino médio desenvolvam sobre o estudo dos gases. A aplicação seguiu o formato de uma prova tradicional, realizada individualmente pelos alunos. Antes e depois da resolução, os estudantes foram convidados a comentar suas impressões; antes da aplicação alguns expressaram estranhamento em realizar uma avaliação antes de estudar formalmente o

conteúdo, mas, após breve explicação sobre o propósito diagnóstico da atividade, a maioria aceitou a proposta sem resistência. Ao final, a maioria demonstrou interesse em conhecer seus resultados, porém estes não foram divulgados imediatamente, a fim de evitar especulações e para não influenciar a análise posterior que seria realizada após a implementação completa do produto educacional.

4.4.2. Registros e Produções dos Estudantes durante a Intervenção (X)

Como parte do acompanhamento processual da aprendizagem, foram coletados diversos materiais produzidos pelos estudantes ao longo dos Três Momentos Pedagógicos. Esses instrumentos permitem identificar como os alunos reestruturam seus conhecimentos e articulam conceitos físicos a partir da interação com simuladores e com a plataforma Arduino. As produções analisadas foram:

Atividade de Sondagem (Problematização)

A atividade inicial de problematização permitiu identificar diferentes concepções dos estudantes a respeito do comportamento dos gases e de seus efeitos associados ao uso de aerossóis. A situação apresentada no texto introdutório levou os alunos a mobilizarem explicações baseadas em suas experiências cotidianas, muitas vezes recorrendo a interpretações intuitivas ou a concepções alternativas para justificar os fenômenos descritos.

A apresentação das questões problematizadoras de forma sequencial favoreceu a explicitação dessas ideias, uma vez que os estudantes puderam concentrar-se em cada aspecto do fenômeno antes de avançar para o seguinte. As respostas evidenciaram tanto tentativas de explicação mais próximas do senso comum quanto indícios de compreensão parcial de conceitos físicos relacionados à pressão, à temperatura e ao comportamento dos gases.

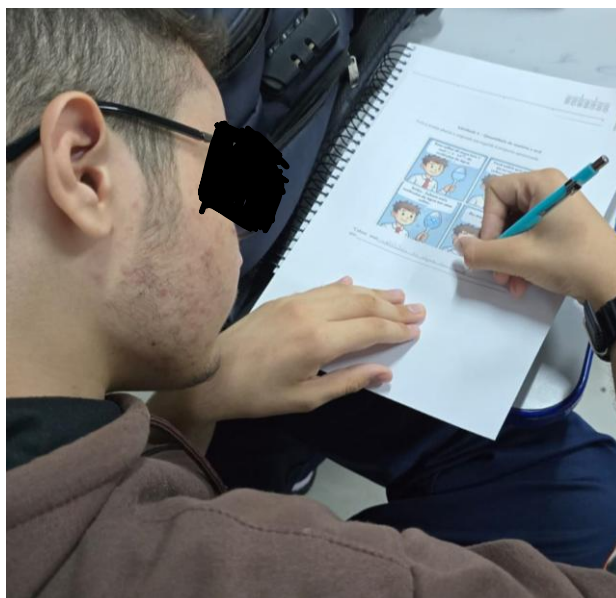
A análise dessas respostas fornece subsídios importantes para compreender o ponto de partida conceitual dos alunos e orienta a interpretação das atividades desenvolvidas nas etapas seguintes da sequência didática.

Atividade sobre mol (Atividade 1)

Na etapa final dessa atividade, foram introduzidos os conceitos de mol, quantidade de matéria e massa molar, com o objetivo de abordar a escala microscópica envolvida no

estudo dos gases. Para a coleta de dados relacionada a esse momento, foi aplicada uma atividade escrita baseada em uma charge (Figura 6), na qual os estudantes deveriam mobilizar esses conceitos em um contexto concreto.

Figura 6 - Atividade 1



Fonte: Elaboração própria (2025).

As respostas dos alunos à atividade foram registradas por escrito e utilizadas como um dos instrumentos de coleta de dados da pesquisa, permitindo identificar como os estudantes empregavam as noções de quantidade de matéria e volume molar após a organização inicial dos conceitos. Além disso, durante a exploração do simulador e a realização das atividades propostas, foram realizados registros de observação pelo professor-pesquisador, contemplando aspectos relacionados à participação dos estudantes, às interações em sala e às manifestações verbais espontâneas ocorridas ao longo da aula.

Esses registros observacionais, juntamente com as produções escritas dos alunos, compuseram o conjunto de dados analisados posteriormente na etapa de resultados.

Mapas Mentais (Atividade 2)

Nesta etapa da sequência didática, foi proposta uma atividade com o objetivo de introduzir e sistematizar o conceito de variáveis de estado dos gases. A aula iniciou-se com uma discussão conduzida de forma dialogada, na qual os estudantes foram incentivados a identificar quais grandezas podem variar quando o estado de um gás é

modificado. Para orientar essa reflexão, foram apresentadas situações do cotidiano, como a variação da pressão de um pneu em função da temperatura, a partir das quais foram retomadas e organizadas as grandezas volume, pressão, temperatura, quantidade de matéria e energia interna.

Durante essa discussão, enfatizou-se a importância do uso adequado das unidades de medida, com destaque para a temperatura na escala Kelvin, por se tratar da unidade adotada no Sistema Internacional.

Como atividade de sistematização, os alunos foram orientados a elaborar um mapa mental estruturado a partir do conceito central “gases”, relacionando-o às variáveis de estado discutidas e a exemplos práticos. Essa atividade foi planejada como um instrumento de organização visual das informações, servindo de base conceitual para o estudo das transformações gasosas nas etapas seguintes da sequência didática.

Estimativa do Volume Molar (Atividade 3)

A aula dedicada ao estudo da Equação de Estado de um Gás Ideal foi planejada com o objetivo de sistematizar as relações entre pressão, volume, temperatura e quantidade de matéria, explicitando a articulação simultânea entre as variáveis de estado previamente discutidas. Diferentemente das atividades anteriores, que privilegiaram a identificação individual das grandezas, esse momento da sequência didática foi estruturado para evidenciar como essas variáveis se relacionam em conjunto, servindo de base para a introdução do conceito de volume molar em condições normais de temperatura e pressão (CNTP).

Como atividade de aplicação, foi proposta uma tarefa baseada na comparação qualitativa de volumes de diferentes recipientes. A atividade foi planejada com caráter estimativo, evitando o uso imediato de cálculos formais, e solicitando que os estudantes realizassem análises qualitativas e estimativas simples envolvendo a relação entre volume e quantidade de matéria. Essa estratégia teve como finalidade introduzir o volume molar como uma grandeza física associada a uma referência espacial concreta, preparando os estudantes para abordagens mais formalizadas em etapas posteriores da sequência.

Construção de Gráficos com Barbantes (Atividade 4)

A Atividade 4 foi planejada como um momento de aplicação e sistematização do conhecimento organizado, com foco na representação gráfica das transformações gasosas. A proposta consistiu na construção coletiva de gráficos a partir de uma estratégia colaborativa em grupo, utilizando materiais simples, como barbante e lápis.

Os estudantes foram organizados em grupos, sendo orientados a associar cada eixo do gráfico a uma grandeza física e a representar sua variação por meio do deslocamento do barbante nas direções correspondentes. Essa dinâmica foi estruturada para possibilitar a visualização das relações entre as variáveis envolvidas nas transformações gasosas, bem como para estimular a discussão coletiva a partir da construção dos gráficos.

Roteiros de Prática Experimental com Arduino (Atividade 5)

A etapa final da sequência didática foi composta por uma atividade experimental envolvendo as transformações gasosas isobárica, isocórica e isotérmica, integrando o uso do Arduino e do sensor BMP280. Essa atividade foi planejada como um momento de aplicação dos conhecimentos construídos ao longo da sequência, articulando conceitos relacionados ao comportamento dos gases e à utilização do aparato experimental.

A organização da atividade seguiu uma estrutura que contemplou diferentes momentos pedagógicos: inicialmente, os estudantes foram convidados a responder questões baseadas em situações do cotidiano, formulando previsões qualitativas sobre o comportamento das grandezas envolvidas; em seguida, realizaram os experimentos manipulando explicitamente uma variável de estado e observando, por meio do serial plotter, a resposta das demais; por fim, responderam a novas questões, retomando suas previsões iniciais à luz dos dados experimentais obtidos.

As atividades foram realizadas em grupos, utilizando o Arduino, o sensor BMP280 e uma seringa acoplada ao sistema, de modo a permitir o controle do volume, o aquecimento ou resfriamento do sistema e a observação simultânea das variações de pressão e temperatura. As respostas escritas dos estudantes às questões propostas, bem como os registros gráficos gerados durante os experimentos, constituíram os principais instrumentos de coleta de dados dessa etapa.

4.5 PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE

A análise dos dados coletados nesta pesquisa assume um caráter predominantemente qualitativo e interpretativo, buscando compreender os processos de aprendizagem e as possíveis reorganizações conceituais dos estudantes ao longo da intervenção. Para tanto, o procedimento analítico fundamenta-se na articulação entre os seguintes eixos:

4.5.1. Análise por Descritores de Habilidade

A análise do pré-teste e do pós-teste não se limita à verificação do número de acertos em cada questão, mas busca identificar quais habilidades específicas os estudantes mobilizam ao resolver problemas envolvendo o comportamento dos gases. Para isso, adotou-se a construção de descritores de habilidades, entendidos como formulações sintéticas que expressam o que o aluno é capaz de fazer em termos conceituais, procedimentais e representacionais.

A adoção desse tipo de abordagem está alinhada à perspectiva defendida por Pozo e Gómez Crespo (2009), segundo a qual a aprendizagem científica envolve conhecimentos conceituais, procedimentais e atitudinais, que não se desenvolvem de forma linear ou homogênea. Os autores argumentam que compreender um conceito científico não implica necessariamente saber aplicá-lo em situações que exigem cálculos, transformações algorítmicas ou coordenação simultânea de variáveis, pois, frequentemente, os alunos "sabem fazer as coisas, mas não entendem o que estão fazendo e, portanto, não conseguem explicá-las nem aplicá-las em novas situações" (POZO; GÓMEZ CRESPO, 2009, p. 16). Assim, um estudante pode demonstrar compreensão qualitativa de uma relação física, mas ainda apresentar dificuldades quando precisa manipulá-la simbolicamente ou aplicá-la em contextos quantitativos.

Nesse sentido, a avaliação de habilidades requer um nível de análise que vá além do acerto ou erro isolado. Conforme Pozo e Gómez Crespo (2009) destacam, a aprendizagem científica exige a articulação entre conhecimentos conceituais e procedimentais, uma vez que compreender uma relação física não garante sua aplicação correta em situações que demandam cálculos, modelagem ou interpretação de variáveis. Isso justifica a necessidade de identificar, para cada questão, quais capacidades cognitivas estão sendo ativadas pelo estudante, sejam elas de natureza conceitual (como reconhecer

relações entre grandezas), procedimental (como operar proporcionalidades ou utilizar equações de estado), ou representacional (como interpretar gráficos).

Com base nessa perspectiva, foram definidos quatro descritores de habilidades que sintetizam as capacidades esperadas na resolução das seis questões do pré-teste. A elaboração dos descritores dialoga com habilidades da área de Ciências da Natureza previstas na BNCC para o Ensino Médio, especialmente aquelas relacionadas à interpretação de representações gráficas, análise de relações entre grandezas físicas, utilização de modelos explicativos e interpretação de resultados experimentais. Embora os descritores tenham sido construídos especificamente para os objetivos desta investigação, buscou-se alinhá-los a competências associadas à análise de fenômenos físicos, interpretação de dados e articulação entre variáveis presentes nas habilidades EM13CNT101, EM13CNT301 e EM13CNT302 da BNCC (BRASIL, 2018). A tabela abaixo apresenta os descritores e as habilidades com as quais eles mais dialogam.

Tabela 2 - Descritores do pré e pós teste

DESCRIPTOR	HABILIDADES AVALIADAS	DIALOGA COM (HABILIDADE DA BNCC)
D1 — Relação entre pressão e temperatura em volume constante (Gay-Lussac)	o estudante compreende e/ou aplica a proporcionalidade direta entre pressão e temperatura quando o volume não varia.	EM13CNT101
D2 — Relação inversa entre pressão e volume em temperatura constante (Boyle–Mariotte)	o estudante compreende e/ou aplica a proporcionalidade inversa entre pressão e volume quando a temperatura permanece constante.	EM13CNT101
D3 — Coordenação simultânea entre pressão, volume e temperatura (Lei Geral dos Gases)	o estudante é capaz de articular simultaneamente variações de pressão, volume e temperatura em uma única transformação gasosa.	EM13CNT301
D4 — Interpretação de gráficos de	Avalia se o estudante interpreta representações gráficas que relacionam	EM13CNT302

transformações gasosas	grandezas dos gases, reconhecendo comportamento e sentido da transformação.	
------------------------	---	--

Fonte: Elaboração própria (2025).

Cabe destacar que os descritores adotados possuem caráter analítico e exploratório, tendo sido construídos especificamente para esta investigação a partir do conjunto limitado de questões presentes no pré e pós-teste. Em razão da quantidade reduzida de itens, alguns descritores foram avaliados por apenas uma questão, o que limita a redundância necessária para confirmação mais robusta das habilidades investigadas. Além disso, o descritor D3 apresenta dependência parcial do desempenho observado em D1 e D2, uma vez que a coordenação simultânea entre pressão, volume e temperatura pressupõe a compreensão prévia das relações entre essas grandezas. Assim, os resultados obtidos devem ser interpretados como indícios de mobilização de habilidades e reorganização conceitual, e não como medidas psicométricas definitivas de domínio conceitual.

4.5.2. Critérios de Níveis de Desempenho

Para poder verificar quais habilidades já existiam durante o pré-teste e quais foram desenvolvidas após a aplicação do produto e em quais níveis elas estão foram definidos neste trabalho em três, associados a pontuações de 0 a 2, sendo: 2 o nível **Pleno**; 1 o nível **Parcial**; e 0 o nível **Não Verificado**, de acordo com os seguintes critérios:

Descritor 1 (D1)

O Problema 3 avalia esse descritor em sua dimensão mais conceitual, enquanto os Problemas 1 e 4 o avaliam tanto conceitual quanto procedimentalmente, por envolverem operações numéricas. Considera-se que o estudante atingiu o nível **Pleno** quando acerta o Problema 3 e, adicionalmente, acerta pelo menos um dos Problemas 1 ou 4, evidenciando que é capaz de reconhecer a relação entre pressão e temperatura em volume constante e também aplicá-la em situações quantitativas.

O nível **Parcial** é atribuído quando o estudante demonstra apenas parte da habilidade avaliada, o que pode ocorrer de duas formas: ele acerta o Problema 3, mas não consegue aplicar a relação nos Problemas 1 e 4, indicando domínio conceitual não traduzido em procedimentos; ou acerta o Problema 1 ou 4, mas erra o Problema 3,

revelando capacidade de operar numericamente com a relação, embora sem uma compreensão conceitual clara expressa no item qualitativo.

Por fim, o nível **Não identificado** corresponde aos casos em que o estudante não acerta nenhum dos três problemas associados ao descritor, não apresentando evidências suficientes de compreensão da relação entre pressão e temperatura em volume constante, seja em sua forma conceitual ou procedimental.

Descritor 2 (D2)

Esse descritor é avaliado exclusivamente pelo Problema 5, que exige do estudante o reconhecimento e a aplicação da relação inversa entre pressão e volume em temperatura constante, conforme a Lei de Boyle–Mariotte. Por se tratar de um único item de natureza procedimental, a classificação para esse descritor foi estabelecida em dois níveis: considera-se **Pleno** quando o estudante acerta a questão, evidenciando domínio da proporcionalidade inversa entre as grandezas; e **Não identificado** quando erra a questão. Nesse problema não há alternativas que permitam medir um nível parcial.

Descritor 3 (D3)

Este descritor é avaliado pelo Problema 6 e refere-se à capacidade do estudante de articular simultaneamente as variações de pressão, volume e temperatura em uma mesma transformação gasosa, conforme a Lei Geral dos Gases. Trata-se de uma habilidade de maior complexidade cognitiva, pois pressupõe o domínio das relações isoladas entre pressão e temperatura (D1) e entre pressão e volume (D2), bem como a capacidade de integrá-las em um único raciocínio.

Dessa forma, considera-se o nível **Pleno** quando o estudante acerta o Problema 6, evidenciando que consegue coordenar adequadamente as três variáveis envolvidas. O nível **Parcial** é atribuído quando o estudante erra o item, mas atinge os descritores D1 e D2 de forma parcial ou plena, indicando que compreende as relações fundamentais entre as grandezas, embora ainda não consiga articulá-las simultaneamente. Por fim, o nível **Não identificado** corresponde aos casos em que o estudante não acerta o Problema 6 e tampouco apresenta evidências suficientes nos descritores D1 e D2, não sendo possível identificar domínio da habilidade avaliada.

Descritor 4 (D4)

Esse descritor é avaliado exclusivamente pelo Problema 2, que verifica a capacidade de interpretar graficamente a relação entre volume e temperatura em pressão constante, conforme a Lei de Charles. Considera-se nível **Pleno** quando o estudante seleciona o gráfico correto, que representa simultaneamente a proporcionalidade direta entre as grandezas e o sentido adequado da transformação (reta crescente com seta apontando para a origem). Existe um item nesse problema de indica uma reta crescente, mostrando uma relação correta entre volume e temperatura, mas com a seta apontando para forma da origem. Caso o aluno marque essa questão, será atribuído o nível **Parcial**, por considerar-se que ele pode identificar essa relação, mas não compreende completamente o sentido que pode indicar uma expansão ou compressão. O nível **Não identificado** corresponde aos casos em que o aluno seleciona alternativas que não representam adequadamente a relação entre as grandezas, demonstrando ausência de evidências dessa habilidade.

Em síntese, podemos organizar essas definições e critérios de obtenção de cada nível na tabela abaixo, adotando a nomenclatura P1, P2,... e P6, para os problemas de 1 a 6, respectivamente.

Tabela 3 - Critérios de nível por descritor

DESCRIPTOR	NÍVEL	CRITÉRIOS
D1	Pleno Parcial Não identificado	Acerta P3 e Acerta P1 ou P4 Acerta P3 e Erra P1 e P4; OU Erra P3 e Acerta P1 ou P4 Erra P1, P3 e P4
D2	Pleno Não identificado	Acerta P5 Erra P5
D3	Pleno Parcial Não identificado	Acerta P6 Erra P6, mas atinge D1 e D2 (Parcial ou Pleno) Erra P6 e não atinge D1 e D2
D4	Pleno Parcial Não identificado	Marca o item c Marca o item e Não marca c nem e

Fonte: Elaboração própria (2025).

4.5.3. Análise Qualitativa da Mudança Conceitual e Representacional

A análise das produções dos alunos fundamenta-se na premissa de que a aprendizagem das ciências constitui um processo de mudança representacional (Pozo e Gómez Crespo, 2009), indo além da simples correção de erros conceituais. Sob essa ótica,

as concepções manifestadas pelos estudantes no momento inicial da sequência didática não são tratadas como meros erros conceituais, mas como pontos de partida com valor epistêmico para o desenvolvimento de modelos científicos. Segundo Gómez Galindo (2008), essas ideias alternativas não devem ser vistas como obstáculos, mas como possibilidades para o trabalho em sala de aula, servindo para que o professor identifique os modelos de partida e estabeleça as pontes necessárias entre o conhecimento do senso comum e as concepções científicas. Para tanto, o olhar investigativo debruça-se sobre a evolução dos modelos explicativos dos estudantes, tratando suas concepções iniciais não como meros erros, mas como pontos de partida com valor epistêmico para a construção de modelos científicos.

Este percurso de aprendizagem é identificado por meio da redescrição representacional, processo no qual o aluno traduz gradualmente suas teorias implícitas e percepções sensoriais em sistemas simbólicos e códigos formais da Física, como a linguagem gráfica e a articulação entre as variáveis de estado (Pozo, 1999). Ao interpretar esses registros, a análise considera a consistência variável dos sujeitos e os efeitos de contexto, reconhecendo que as respostas dos alunos são frequentemente construções situacionais que podem variar conforme o fenômeno apresentado.

Por fim, busca-se identificar indícios de uma integração hierárquica, estágio em que o conhecimento científico não anula a representação cotidiana, mas torna-se a ferramenta mais potente para explicar a realidade. O sucesso da intervenção é verificado pela capacidade do estudante de coordenar as variáveis de pressão, volume e temperatura para interpretar, com autonomia, os dados e gráficos gerados em tempo real pela plataforma Arduino ou pelo simulador PhET.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, apresentam-se os dados coletados e as análises realizadas a partir da aplicação do produto educacional detalhado anteriormente. A intervenção buscou identificar indícios de aprendizagem significativa e mudanças conceituais nos estudantes ao longo das atividades propostas.

Para a análise dos resultados, foi priorizado um método avaliativo processual e qualitativo, levando em consideração a participação dos alunos em cada etapa da sequência. As observações e produções individuais e coletivas foram registradas para verificar como os estudantes interpretam os fenômenos físicos e como articulam as variáveis de estado dos gases. A seguir, detalham-se os resultados obtidos em cada etapa da intervenção, iniciando pela análise do diagnóstico prévio realizado com a turma.

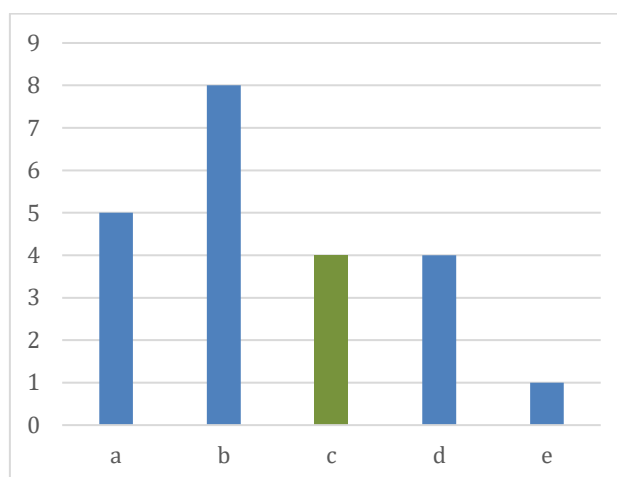
5.1 PRÉ-TESTE

O Problema 1 apresenta aos estudantes uma situação cotidiana envolvendo o risco de explosão de frascos de aerossol quando submetidos ao aquecimento, fenômeno frequentemente associado a acidentes domésticos e ambientais. Para responder corretamente, o aluno precisa reconhecer que, em um recipiente rígido, o aumento da temperatura implica aumento proporcional da pressão interna, conforme estabelece a Lei de Gay-Lussac. Assim, esta questão avalia o descritor D1, que diz respeito à compreensão e aplicação da relação direta entre pressão e temperatura em volume constante.

Do ponto de vista conceitual e procedimental, o item exige que o estudante mobilize algumas capacidades fundamentais: identificar que o volume do frasco permanece constante; compreender que a temperatura deve ser expressa na Escala Kelvin para que a relação com a pressão seja válida; e reconhecer que a variação da pressão acompanha diretamente a variação da temperatura absoluta. Além disso, requer a aplicação dessa relação em um contexto concreto, no qual a análise incorreta das grandezas físicas pode levar a consequências reais.

O gráfico abaixo mostra em números absolutos a quantidade de alunos que marcou cada questão. O total de alunos presentes nesse teste foi de 22 e a alternativa correta (indicada pela cor verde em todos os gráficos) era a letra c.

Figura 7 - Problema 1 do pré-teste



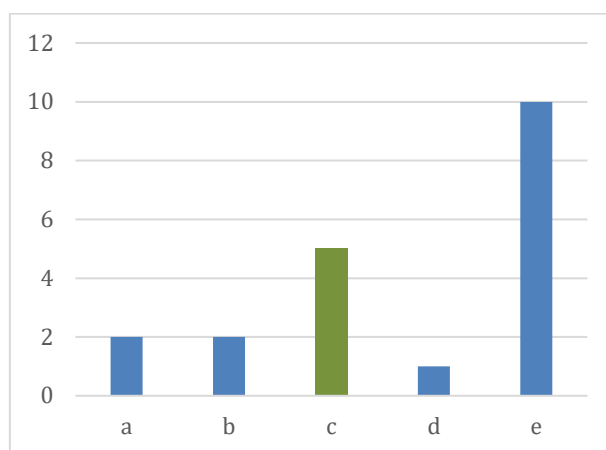
Fonte: Elaboração própria (2025).

O percentual de acertos nesta questão foi de 18%, valor bastante próximo do que seria esperado caso os estudantes escolhessem as alternativas de forma aleatória. Durante a aplicação do pré-teste, observou-se que nenhum dos alunos realizou cálculos a partir dos dados numéricos apresentados no enunciado. Essa constatação reforça a interpretação de que os acertos obtidos provavelmente resultaram de respostas por tentativa, e não da aplicação consciente do modelo físico ou dos procedimentos matemáticos necessários para resolver o problema.

O Problema 2 aborda uma situação cotidiana relacionada ao funcionamento de um balão de ar quente e busca verificar se os estudantes reconhecem a relação entre o volume de um gás e sua temperatura quando a pressão permanece constante. Trata-se, portanto, de uma avaliação preliminar da compreensão qualitativa da Lei de Charles, aplicada especialmente à representação gráfica. O estudante deveria identificar que, durante o resfriamento do ar interno, o volume diminui de forma proporcional à redução da temperatura absoluta através de gráficos $V \times T$. Assim, esta questão avalia o descritor D4, relacionado à capacidade de interpretar representações gráficas de transformações gasosas.

A distribuição das respostas dos estudantes sobre qual seria o gráfico correto está apresentada no gráfico abaixo.

Figura 8 - Problema 2 do pré-teste



Fonte: Elaboração própria (2025).

Os resultados são bem semelhantes ao da primeira questão. Apenas 23% de acertos, porém aqui temos uma questão que não envolve dados numéricos e sim gráficos, o que indica que também não existe a capacidade de relacionar as grandezas graficamente. Um ponto de atenção é o gráfico da alternativa e) que foi muito marcada pelos alunos. Nele existe uma relação correta entre V e T , porém a seta que indica o sentido da transformação indica um aumento em ambos, enquanto que a questão pergunta sobre o resfriamento. Isso levanta duas hipóteses:

- **Primeiro:** 45% dos alunos (os que marcaram a letra “e”) compreendem a relação entre as grandezas e conseguem interpretá-las graficamente, mas que não entenderam o enunciado direito;
- **Segundo:** um ou mais alunos utilizaram o celular indevidamente, pesquisando na internet ou com recurso de inteligência artificial (IA).

A primeira hipótese é possível, mas pouco provável, uma vez que o enunciado não apresenta elementos ambíguos que justifiquem a inversão do sentido da transformação por quase metade da turma. A segunda hipótese ganha relevância quando se considera que ferramentas digitais, incluindo sistemas de busca e IA, costumam apresentar limitações na interpretação de gráficos e símbolos, podendo sugerir respostas incorretas apesar de aparentarem uma relação conceitualmente válida. Esse problema se intensifica com um fator interno a instituição, a falta de medidas claras sobre o uso do celular. Apesar da lei nº 15.100 de 2025 do Ministério da Educação – MEC restringir o uso de celular nas escolas (BRASIL, 2025), as medidas ficam sob a responsabilidade das escolas, o que, no caso dessa escola, gerou uma falha no cumprimento da medida. Considerando isso,

analisaremos este item com mais atenção e verificaremos novamente essas hipóteses após a aplicação do produto, durante o pós-teste.

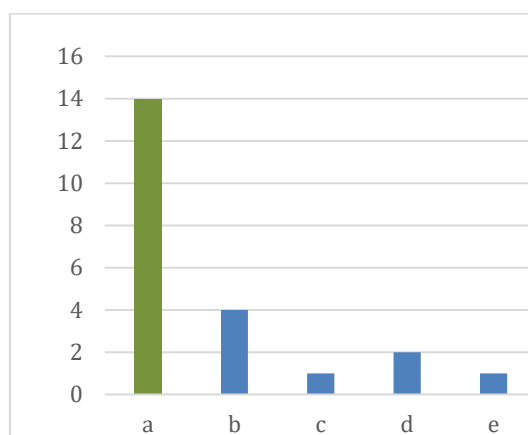
O Problema 3 apresenta novamente uma situação envolvendo o comportamento de um gás em recipiente de volume constante, assim como já ocorria no Problema 1. Ambas as questões exigem dos estudantes a aplicação qualitativa da Lei de Gay-Lussac, que relaciona diretamente a pressão e a temperatura absolutas de um gás quando o volume permanece constante. Assim, essa questão também avalia o descritor D1. no entanto, a demanda cognitiva aqui é mais conceitual e menos operacional: o enunciado informa que a pressão aumentou “100% do valor inicial”, o que implica duplicação de P_0 . A resposta correta, portanto, exige reconhecer que, em volume constante, dobrar a pressão também dobra a temperatura, sem necessidade de conversões numéricas ou cálculos mais elaborados.

Além disso, quando comparado ao Problema 1, o Problema 3 apresenta uma estrutura conceitualmente mais simples. Enquanto o primeiro exige a conversão de escalas termométricas e o uso explícito de proporcionalidade numérica, o terceiro depende apenas do reconhecimento de uma relação direta expressa de forma verbal (“aumento de 100%”). Ou seja, trata-se de uma pergunta cuja solução pode ser alcançada mesmo sem cálculos mais elaborados, desde que o estudante compreenda qualitativamente a Lei de Gay-Lussac. Dessa forma, espera-se que o desempenho nessa questão seja igual ou superior ao desempenho observado no Problema 1 se os resultados desta tiverem sido fidedignos.

Assim, caso o percentual de acertos seja baixo, uma interpretação plausível é que os estudantes ainda não dominam sequer a compreensão qualitativa da relação entre pressão e temperatura, o que implicaria que, mesmo que enfrentassem o Problema 1 novamente, dificilmente o resolveriam corretamente.

A distribuição das respostas dos estudantes está apresentada na figura abaixo que mostra a frequência de escolha entre as alternativas.

Figura 9 - Problema 3 do Pré-teste



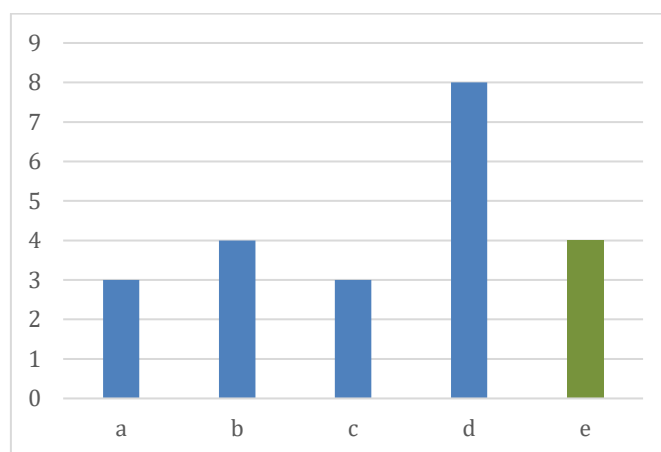
Fonte: Elaboração própria (2025).

O percentual de acertos foi de 64%, valor que sugere que os estudantes conseguem reconhecer a relação direta entre pressão e temperatura quando expressa em linguagem cotidiana, mas ainda apresentam dificuldade quando o problema envolve manipulação numérica. Entretanto, é importante considerar novamente que pode ter sido utilizado algum recurso de pesquisa com IA, pois é a única questão que não envolve dados numéricos, isso facilita a solução desta por qualquer ferramenta de IA. Essa hipótese só poderá ser reforçada ao analisarmos o pós-teste, desde que seja restringido completamente o uso do celular.

O Problema 4 apresenta uma situação contextualizada envolvendo o aquecimento do pneu de um avião no momento do pouso. Assim como nos Problemas 1 e 3, trata-se de uma transformação gasosa em que o volume pode ser considerado constante, sendo necessário reconhecer a relação direta entre pressão e temperatura previstas pela Lei de Gay-Lussac, avaliando novamente o descritor D1. Nesse caso, porém, os valores já estão dados em kelvin, o que exige que os alunos apenas identifiquem que a temperatura quadriplica (de 300K para 1200K) e como consequência a pressão também quadriplica.

A distribuição das respostas está apresentada na Figura 10

Figura 10 - Problema 4 do pré-teste



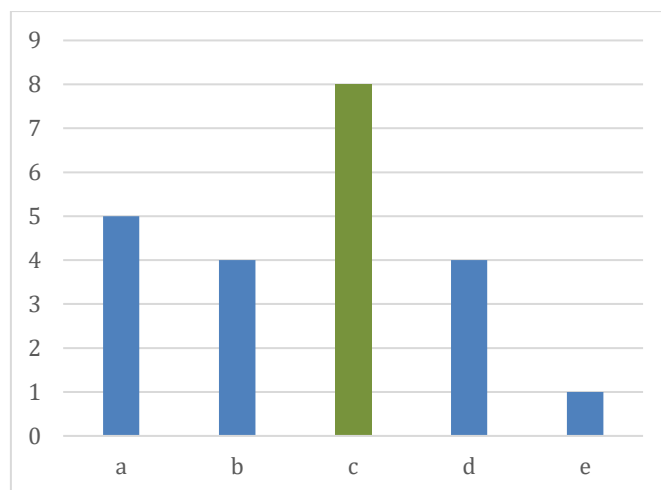
Fonte: Elaboração própria (2025).

O percentual de acertos foi de 18%, valor que reproduz o mesmo desempenho observado no Problema 1. Essa semelhança reforça a interpretação de que, nas questões em que é necessário lidar com dados numéricos, os estudantes demonstram dificuldade em reconhecer e operar a relação direta entre pressão e temperatura em volume constante. No entanto, ao comparar esse resultado com o desempenho no Problema 3, em que o índice de acertos foi de 64%, surge um contraste significativo. Embora o Problema 3 envolva a mesma lei física, sua resolução depende apenas de uma leitura conceitual da proporcionalidade, sem necessidade de cálculos. Assim, duas explicações se tornam plausíveis: ou os estudantes realmente apresentam maior domínio conceitual do que operacional, acertando questões qualitativas e errando aquelas que exigem manipulação numérica; ou o desempenho elevado no Problema 3 foi influenciado por fatores externos, como o uso indevido de ferramentas digitais que, mesmo sem interpretar corretamente gráficos, podem sugerir alternativas plausíveis. Em ambos os casos, a discrepância entre os Problemas 3 e 4 indica que o domínio conceitual, quando existente, não se traduz de forma consistente em desempenho matemático ou procedimental.

O Problema 5 avalia a compreensão da relação inversa entre pressão e volume em condições de temperatura constante (D2), sendo assim um pouco diferente dos problemas anteriores, que exploraram principalmente relações diretas de proporcionalidade. Aqui, o estudante precisa identificar que a redução da pressão em 200 vezes causa um aumento no volume de 200 vezes. Portanto, pode ser considerada uma questão simples e que permite verificar de forma bem direta se os alunos compreendem essa relação, mas que ainda pode divergir nos resultados pois apenas compreender que um aumenta e o outro diminui não é o suficiente para responder à questão uma vez que o resultado é um número

exato, ou seja, mesmo sendo relativamente simples, a operação matemática tem que ser precisa. A distribuição das respostas está apresentada na Figura 11.

Figura 11 - Problema 5 do pré-teste



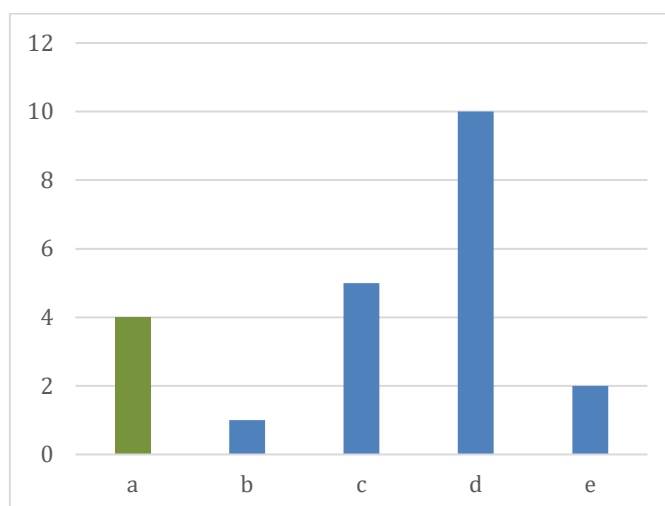
Fonte: Elaboração própria (2025).

Nesse problema o percentual de acertos foi de **36%**, o que possibilita talvez inferir que alguns alunos já compreendem a relação inversa entre volume e pressão, mesmo que intuitivamente.

Por último, o problema 6 busca avaliar a capacidade de o estudante relacionar pressão, volume e temperatura, variando simultaneamente (descriptor D3), sendo necessário aplicar a lei geral dos gases para uma resolução mais direta, ou utilizar as noções de proporcionalidade direta entre pressão e temperatura (descriptor D1) e inversa entre volume e pressão (descriptor D2) já presentes nas questões anteriores, mas desta vez em um mesmo problema. Como espera-se que os alunos não conheçam formalmente a lei citada, o mais provável é que acertos conscientes só sejam possíveis utilizando a noção intuitiva de proporcionalidade.

A verificação desta questão pode ser feita a partir dos dados da Figura 12.

Figura 12 - Problema 6 do pré-teste

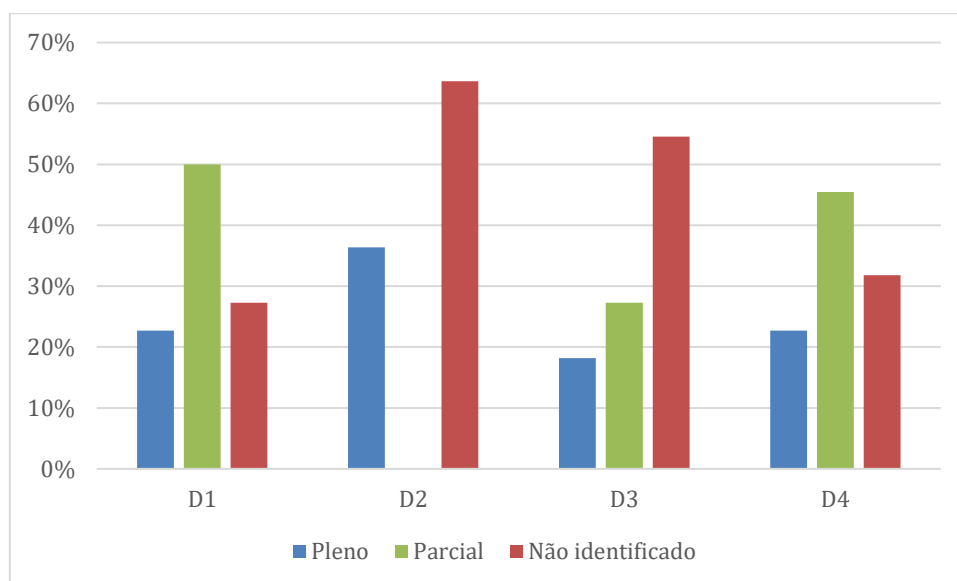


O percentual de 18% de acertos está condizente com o grau de dificuldade da questão, isto é, mesmo alunos que já tiveram contato com a lei geral dos gases podem apresentar dificuldade em resolver esse problema. Entretanto espera-se alcançar resultados melhores após a aplicação do produto educacional.

5.1.2 Análise por descritor

Os resultados obtidos a partir das opções escolhidas pelos estudantes em cada questão estão dispostos no gráfico abaixo

Figura 13 - Níveis atingidos pelos estudantes no pré-teste



Fonte: Elaboração própria (2025).

A distribuição dos níveis de desempenho no pré-teste, apresentada no gráfico, permite uma visão geral das habilidades previamente existentes entre os estudantes antes da implementação do produto educacional. Observa-se que, em nenhum dos descritores, a maioria dos alunos atingiu o nível pleno, indicando que as habilidades relacionadas ao comportamento dos gases não estavam consolidadas de forma ampla no grupo investigado.

5.2 PROBLEMATIZAÇÃO

A atividade inicial de problematização, estruturada a partir de uma situação cotidiana apresentada no texto introdutório, possibilitou o registro das primeiras respostas dos estudantes acerca do fenômeno investigado. Conforme previsto para esse momento pedagógico, as respostas refletiram diferentes ideias e explicações iniciais sobre o uso do aerossol e os efeitos percebidos, sem que houvesse, nesse estágio, a expectativa de formulações conceitualmente consolidadas, em consonância com a proposta de problematização discutida por Delizoicov (1990).

As questões problematizadoras foram respondidas individualmente, sendo apresentadas uma a uma, o que permitiu a coleta de respostas focadas em aspectos específicos do fenômeno. A seguir, são apresentados os resultados obtidos a partir da análise dessas respostas, por meio da exposição de transcrições selecionadas e da organização das ideias manifestadas pelos estudantes.

5.2.1 Por que quando utilizamos antitranspirantes do tipo aerossol o *spray* sai gelado?

Nesse primeiro questionamento objetivou-se identificar a percepção dos alunos a respeito da sensação de frio geralmente sentida ao pulverizar antitranspirante na pele. Notou-se que a maioria dos estudantes atribuiu essa sensação ao fato de os antitranspirantes aerossóis terem um gás em sua composição, mas sem apresentar uma descrição fenomenológica suficiente para justificar o que é observado. Em alguns desses casos, a explicação ainda atribui esse efeito à pressão desse gás, ainda que sem estabelecer de que forma ela contribui para tal, como pode ser identificado na resposta do aluno A14:

1. Por que quando utilizamos antitranspirantes do tipo aerossol o *spray* sai gelado? (É possível que o recipiente esteja “armazenando frio”? ainda mais por tanto tempo?)
 Por causa do gás que tem dentro do frasco.

Transcrição do aluno
A14: “Por causa do gás que tem dentro do frasco.”

Houve quem indicasse que o desodorante só ficava frio porque geralmente era armazenado em ambiente frio, indicando que não havia uma mudança de temperatura ou sensação térmica provocada por algum outro fenômeno físico. Outros ainda atribuíram ao fato do recipiente ser metálico e isso de alguma forma contribuir para a mudança de temperatura.

Apenas uma pequena quantidade de alunos explicou utilizando concepções mais próximas das consolidadas cientificamente, como:

1. Por que quando utilizamos antitranspirantes do tipo aerossol o <i>spray</i> sai gelado? (É possível que o recipiente esteja “armazenando frio”? ainda mais por tanto tempo?) <i>É porque quando o spray ao sair da lata evapora rápido e puxa o calor da pele.</i>	transcrição do aluno A3: “É porque gás do spray ao sair da lata evapora rápido e puxa o calor da pele.”
---	---

5.2.2 Por que o *spray* de aerossol só continua saindo se mantivermos o botão pressionado, sem precisar pressionar novamente?

A segunda questão não teve como objetivo principal avaliar o domínio conceitual dos estudantes, mas sim direcionar a atenção dos estudantes para a presença do gás no interior do recipiente e analisar se eles atribuem a expulsão da substância à pressão exercida por esse gás. Também buscou-se observar se os alunos distinguem a diferença entre os mecanismos de borrifamento dos perfumes convencionais, cujo funcionamento depende diretamente da pressão exercida pelo dedo, e dos antitranspirantes aerossóis, que expulsa seu conteúdo a partir da pressão exercida pelo gás.

As respostas dos estudantes à segunda questão indicam que todos identificaram a pressão como grandeza central para explicar o funcionamento contínuo do aerossol, o que revela um reconhecimento inicial pertinente do fenômeno físico envolvido. No entanto, ao analisar com mais cuidado as explicações apresentadas, observa-se que essa identificação ocorreu de maneiras distintas, evidenciando diferentes níveis de compreensão a respeito do papel desempenhado pela pressão no sistema.

Uma parte dos alunos associou corretamente a liberação do spray à pressão exercida pelo gás armazenado no interior do recipiente, reconhecendo que é essa pressão interna que impulsiona a saída contínua da substância enquanto o botão permanece pressionado. Esse tipo de resposta demonstra uma compreensão mais próxima do modelo físico que será desenvolvido ao longo da sequência didática, ainda que, em geral, sem uma descrição detalhada dos mecanismos envolvidos.

2. Por que o <i>spray</i> de aerossol só continua saindo se mantivermos o botão pressionado, sem precisar pressionar novamente (como ocorre nos perfumes <i>spray</i> convencionais)? <i>se sai quando mantemos pressionado devido a pressão interna do gás.</i>	Transcrição do aluno A15: “só sai quando mantemos pressionado devido a pressão interna de gás.”
--	---

Outro grupo de estudantes atribuiu o funcionamento do spray à pressão exercida pelo dedo sobre o botão, estabelecendo uma analogia direta com o funcionamento de borrifadores convencionais, como perfumes não aerossóis. Nesses casos, observa-se uma dificuldade em distinguir entre a ação mecânica do acionamento do dispositivo e o papel da pressão interna do gás como agente responsável pela expulsão do conteúdo. Essa interpretação sugere que, embora a grandeza pressão seja reconhecida, seu significado físico ainda está associado predominantemente à ação direta do usuário.

2. Por que o <i>spray</i> de aerossol só continua saindo se mantivermos o botão pressionado, sem precisar pressionar novamente (como ocorre nos perfumes <i>spray</i> convencionais)? <i>Por conta da pressão que fazemos na válvula e por isso o jato sai contínuo</i>	Transcrição do aluno A7: “Por conta da pressão que fazemos na válvula e por isso o jato sai contínuo”
---	---

Houve ainda respostas que não estabeleceram uma distinção clara entre essas duas formas de pressão, combinando ou confundindo a pressão exercida pelo dedo com a pressão interna do gás. Esse tipo de explicação indica uma compreensão ainda pouco estruturada do fenômeno, não sendo possível definir nesses casos se existe ou não essa distinção.

5.2.3 O que acontece com o recipiente do aerossol após um tempo liberando o *spray*? O que está acontecendo com o conteúdo do frasco?

Nessa questão buscou-se identificar se os alunos atribuiriam a redução da temperatura no gás interno do recipiente a redução da pressão, ou seja, determinar se existe a concepção intuitiva da lei de Charles.

A maioria dos alunos se deteve a descrever o que se observa, mas sem apresentar uma explicação que justifique a redução da temperatura. Uma quantidade considerável de alunos que tentaram explicar o fenômeno atribuíram isso ao contato do gás com o ar externo ou oxigênio, como se a mistura deles pudesse ser responsável pela redução de

temperatura no interior do recipiente. Esse tipo de raciocínio pode ser exemplificado pela resposta:

3. O que acontece com o recipiente do aerossol após um tempo liberando o <i>spray</i>? O que está acontecendo com o conteúdo do frasco? <i>o frasco fica mais gelado pois o gás entrou em contato com o ar</i>	Transcrição do aluno A18: “o frasco fica mais gelado pois o gás entrou em contato com o ar”
--	--

Tais explicações indicam uma interpretação baseada em associações intuitivas, nas quais a troca com o ambiente é tomada como causa direta do resfriamento, sem considerar os processos de expansão ou transferência de energia envolvidos.

Os que atribuíram o resfriamento do frasco a pressão no interior do frasco, como pode ser visto na figura abaixo

3. O que acontece com o recipiente do aerossol após um tempo liberando o <i>spray</i>? O que está acontecendo com o conteúdo do frasco? <i>a pressão do recipiente começa a sair e o frasco começa a esfriar por causa da pressão saindo.</i>	Transcrição do aluno A23: “a pressão do recipiente começa a sair e o frasco começa a esfriar por causa da pressão saindo.”
---	---

Embora essas respostas ainda apresentem imprecisões conceituais, elas revelam uma tentativa de associar a variação de temperatura às condições internas do sistema, entretanto isso se observou em uma parcela muito pequena da turma.

5.2.4 Demais questões de sondagem

Ainda foram propostas três questões adicionais com o objetivo de orientar os estudantes na sistematização das ideias discutidas até então. Essas questões buscaram conduzir os alunos à identificação das grandezas físicas envolvidas nos fenômenos analisados, ao reconhecimento de outros exemplos cotidianos nos quais tais grandezas se manifestam e, por fim, à compreensão de que os gases constituem o elemento comum presente em todas as situações apresentadas. Dessa forma, essas perguntas tiveram a função de auxiliar os estudantes a distinguir e organizar as grandezas físicas relevantes, como pressão, temperatura e volume, e a associá-las de maneira mais explícita ao comportamento das substâncias gasosas, preparando o terreno conceitual para a etapa seguinte da sequência didática.

Parte dos alunos identificou corretamente grandezas como pressão e temperatura, diretamente relacionadas aos exemplos trabalhados ao longo da atividade. No entanto, também surgiram menções a outras grandezas físicas, como força e velocidade, indicando que alguns estudantes ampliaram o escopo da análise para além do fenômeno em foco, associando a ideia de “grandezas” a conceitos físicos mais gerais, nem sempre pertinentes ao contexto discutido.

Ao serem solicitados a citar fenômenos que envolvessem essas grandezas, os alunos recorreram majoritariamente a exemplos do cotidiano, como panela de pressão, ar-condicionado, bebedouro e micro-ondas, que mantêm relação direta ou indireta com variações de temperatura e pressão. Contudo, também foram mencionados exemplos como levantar um objeto, associado à força, e dirigir um carro, associado à velocidade, o que reforça a interpretação de que alguns estudantes ainda não delimitam claramente o conjunto de grandezas relevantes para a análise do comportamento dos gases.

Na terceira questão, que buscava identificar o tipo de substância comum aos exemplos apresentados, a maioria dos estudantes reconheceu corretamente a presença de gases, em alguns casos acompanhados da menção a líquidos. Entretanto, houve respostas que incluíram sólidos como substâncias centrais nos fenômenos discutidos, bem como casos em que os alunos não demonstraram compreensão clara do que caracteriza uma grandeza física, limitando-se a listar objetos ou situações sem estabelecer relação com propriedades mensuráveis.

De modo geral, as respostas indicam que os estudantes possuem um repertório intuitivo amplo de situações cotidianas relacionadas à Física, mas ainda apresentam dificuldades em delimitar conceitualmente o que constitui uma grandeza física, bem como em relacionar essas grandezas de forma coerente a um determinado fenômeno. Esse quadro reforça o papel dessas questões dentro da problematização, ao explicitar concepções iniciais, ambiguidades e generalizações excessivas, criando condições para que, nas etapas seguintes da sequência didática, os conceitos de grandeza física, pressão, temperatura e volume sejam sistematizados e associados de maneira mais precisa ao comportamento dos gases.

5.3 INTRODUÇÃO AO ESTUDO DOS GASES: QUANTIDADE DE MATÉRIA

A atividade intitulada “*Gases: Conceitos Introdutórios*” marca a transição do momento de problematização para a organização do conhecimento, conforme a proposta dos Três Momentos Pedagógicos. Após a explicitação das concepções iniciais dos estudantes nas etapas anteriores, este momento teve como objetivo estruturar conceitualmente os fenômenos discutidos, oferecendo aos alunos ferramentas explicativas mais próximas do modelo científico.

Figura 14 - Introdução ao estudo dos gases



Fonte: Elaboração própria (2025).

O uso do simulador PhET “*Gases – Introdução*” desempenhou papel central nessa etapa, ao permitir a visualização do comportamento microscópico das partículas gasosas sob diferentes condições de pressão, volume e temperatura. A possibilidade de manipular essas variáveis permitiu aos alunos testar suas hipóteses expressas nas atividades anteriores de forma mais prática, testando novas hipóteses e fortalecendo concepções mais próximas dos modelos científicos. Essa articulação entre níveis de representação é apontada por Pozo e Gómez Crespo (2009) como um dos principais desafios da aprendizagem científica, especialmente em conteúdos que envolvem entidades não observáveis diretamente.

A contextualização histórica, ao mencionar contribuições de Boyle, Charles, Gay-Lussac e Avogadro, contribuiu para reforçar a ideia de que os modelos utilizados não surgem de forma arbitrária, mas são construções progressivas para explicar regularidades observadas experimentalmente. Esse aspecto favorece uma compreensão mais epistemológica da ciência, auxiliando os estudantes a perceberem as leis dos gases como modelos explicativos, e não como fórmulas a serem aplicadas mecanicamente.

Durante a exploração da simulação, a ênfase na formulação de hipóteses e no registro de observações permitiu que os alunos confrontassem suas concepções prévias com evidências visuais e dinâmicas fornecidas pelo simulador. Esse confronto caracteriza um momento importante de conflito cognitivo, no qual explicações intuitivas, como aquelas baseadas exclusivamente no contato com o ambiente ou na ação mecânica, mostram-se insuficientes para explicar o comportamento observado das partículas. Conforme discutido por Driver (1985) e retomado por Pozo e Gómez Crespo (2009), esse tipo de instabilidade conceitual é fundamental para a reestruturação do conhecimento, pois cria condições para que o estudante reconheça as limitações de seus modelos iniciais.

Por fim, a introdução dos conceitos de mol, quantidade de matéria e massa molar teve como objetivo ampliar a compreensão da escala microscópica envolvida no estudo dos gases. A atividade aplicada (Figura 6) por meio da charge permitiu avaliar se os estudantes conseguiam mobilizar essas noções em um contexto concreto, funcionando como uma primeira aplicação do conhecimento recém-organizado e contribuindo para a consolidação das ideias trabalhadas.

Durante a exploração do simulador e a execução das atividades propostas, observou-se a participação ativa de praticamente toda a turma, o que indica uma escolha exitosa da estratégia metodológica adotada. A possibilidade de manipular diretamente as variáveis, visualizar o comportamento das partículas e discutir coletivamente as observações favoreceu o engajamento dos estudantes e estimulou a formulação de hipóteses, perguntas e comentários espontâneos ao longo da aula. Além disso, constatou-se que praticamente todos os alunos responderam corretamente à atividade proposta, o que sugere que os conceitos trabalhados foram compreendidos de forma satisfatória no contexto da aula. Esse resultado, associado ao elevado nível de participação, indica que o uso do simulador contribuiu não apenas para o envolvimento dos estudantes, mas também para a consolidação inicial dos conhecimentos organizados nessa etapa da sequência didática, como pode ser visto pela resposta do aluno A25:

“Cabem mais moléculas de água em uma colher de
que colheres de sopa de água no oceano.”

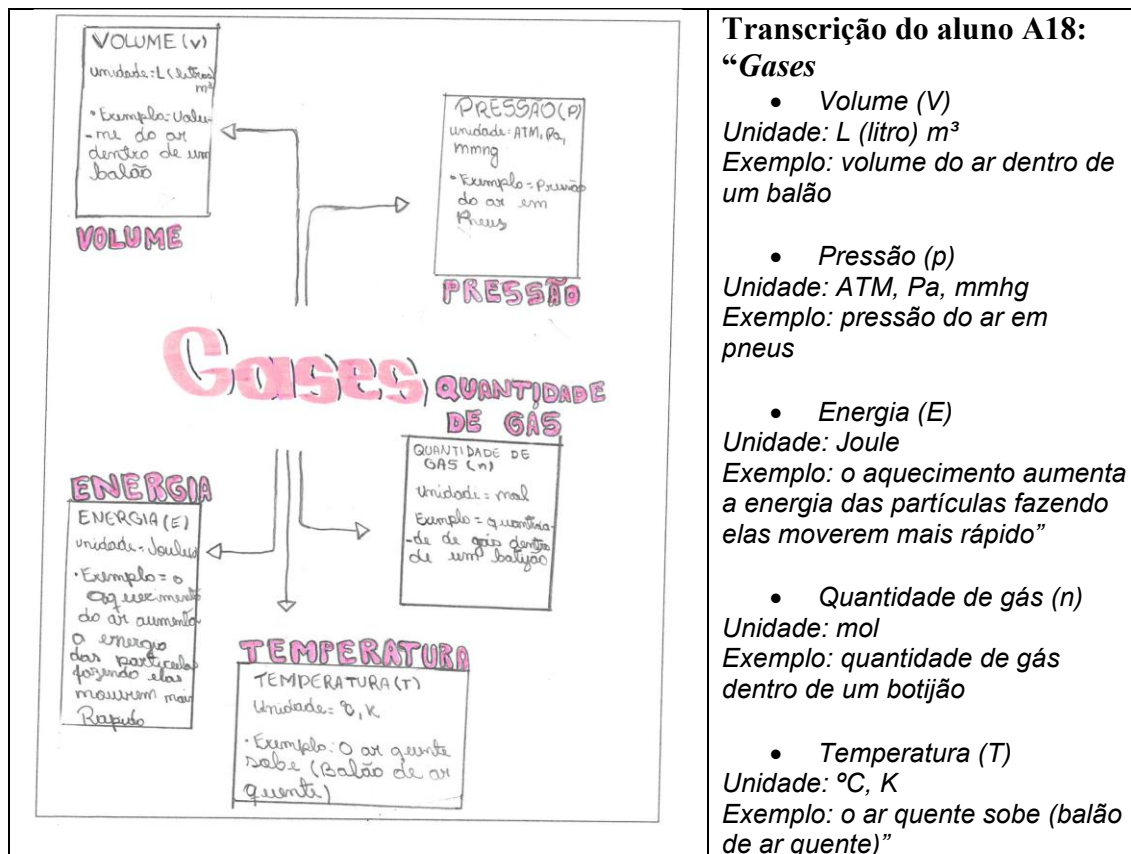
Transcrição do aluno A25: Cabem mais “moléculas de água em uma colher de” que “colheres de sopa de água no oceano”.

Nesse sentido, a atividade mostrou-se adequada para sustentar o processo de organização do conhecimento, ao mesmo tempo em que manteve os alunos cognitivamente envolvidos com os conceitos em estudo, condição fundamental para favorecer a mudança conceitual e preparar o terreno para as etapas subsequentes.

5.4 VARIÁVEIS DE ESTADO

A aula teve início com uma discussão coletiva sobre quais grandezas físicas estão envolvidas na descrição do estado de um gás. Ao longo desse momento, os estudantes mencionaram diferentes grandezas e exemplos associados a situações do cotidiano, que foram sendo retomados e organizados pelo professor no quadro. Essa etapa ocorreu de forma dialogada, com a participação oral dos alunos, antes da realização de qualquer registro escrito.

Na sequência, os estudantes foram orientados a elaborar individualmente um mapa mental a partir do conceito central “gases”, relacionando-o às grandezas discutidas durante a aula e a exemplos que considerassem pertinentes. Essa atividade resultou na produção de diferentes mapas mentais, nos quais os alunos organizaram as informações de acordo com suas próprias escolhas de disposição e destaque dos elementos.



Transcrição do aluno A18: “Gases

- Volume (V)
Unidade: L (litro) m³
Exemplo: volume do ar dentro de um balão
- Pressão (p)
Unidade: ATM, Pa, mmHg
Exemplo: pressão do ar em pneus
- Energia (E)
Unidade: Joule
Exemplo: o aquecimento aumenta a energia das partículas fazendo elas moverem mais rápido”
- Quantidade de gás (n)
Unidade: mol
Exemplo: quantidade de gás dentro de um botijão
- Temperatura (T)
Unidade: °C, K
Exemplo: o ar quente sobe (balão de ar quente)”

A análise dos mapas mentais elaborados pelos estudantes revela um padrão relativamente homogêneo de organização das ideias, sendo o exemplo apresentado pelo aluno A18 representativo do que foi observado na maioria das produções. Nesse caso, o estudante identifica corretamente as principais variáveis de estado associadas aos gases, bem como apresenta unidades de medida adequadas e exemplos cotidianos coerentes para cada grandeza de forma isolada. Essa organização indica um avanço em relação às concepções iniciais levantadas na etapa de problematização, especialmente no que diz respeito ao reconhecimento das grandezas físicas relevantes e à distinção entre elas.

Entretanto, apesar desse avanço, observou-se que os exemplos apresentados pelos alunos, de modo geral, permanecem associados a uma única variável por vez, sem que haja articulação entre diferentes grandezas em um mesmo fenômeno. No mapa do aluno A18, por exemplo, o volume é relacionado ao ar em um balão, a pressão ao ar nos pneus e a temperatura ao funcionamento de um balão de ar quente, mas não há conexões que indiquem que esses mesmos exemplos envolvem simultaneamente variações de pressão, volume e temperatura. Esse padrão sugere que, embora os estudantes consigam listar e caracterizar as variáveis de estado, ainda não reconhecem plenamente o caráter interdependente dessas grandezas no comportamento dos gases.

5.5 LEI GERAL DOS GASES

A aula sobre a Equação de Estado de um Gás Ideal foi conduzida com foco na relação simultânea entre pressão, volume, temperatura e quantidade de matéria. Após a exposição e discussão dessas relações, os estudantes realizaram uma atividade de aplicação que envolvia a comparação de volumes de diferentes recipientes, considerando gases em condições normais de temperatura e pressão.

Na atividade proposta, os alunos foram solicitados a indicar recipientes que comportariam aproximadamente um mol de gás, bem como a estimar quantidades equivalentes de volume em garrafas PET e em uma caixa d'água. As respostas apresentadas basearam-se predominantemente em estimativas e comparações diretas entre volumes, sem o uso explícito de cálculos formais.

A Figura X apresenta uma das respostas registradas pelos estudantes, utilizada como exemplo do tipo de resolução apresentada nessa etapa da sequência didática.

a) Indique em qual dos itens desenhados cabe aproximadamente 1 mol de gás em CNTP, justificando sua resposta. <i>Garração de 20L, pois seu volume é o mais próximo de 22,4L o volume de 1 mol de gás em CNTP.</i> b) Quantas garrafas PET de 2 L seriam necessárias para ter aproximadamente o volume molar? <i>$\frac{22,4}{2L/g} = 11,2$ {11 garrafas}</i> c) Aproximadamente quantos mols de gás cabem na caixa d'água? <i>$\frac{1000L}{22,4L/mol} = 44,6$ {45 mols de gás}</i>	Transcrição do aluno A4: a) "Garração de 20L, pois seu volume é o mais próximo de 22,4L, o volume de 1 mol de gás em CNTP." b) $\frac{22,4}{2L/g} = 11,2$ {11 garrafas} c) $\frac{1000L}{22,4L/mol} = 44,6$ {45 mols de gás}
---	---

Ao analisar as respostas do aluno A4, que também representa o padrão observado na maioria das resoluções, tem-se a impressão inicial de que os estudantes apresentam um domínio matemático satisfatório de técnicas de contagem, especialmente nos itens b) e c). Entretanto, durante a aplicação da atividade, observou-se que a maior parte dos alunos não conseguia resolver os problemas de forma autônoma, recorrendo a um ou dois colegas que demonstraram maior facilidade na resolução. Esse comportamento evidencia que os acertos registrados não refletem, necessariamente, um domínio individual consolidado do raciocínio envolvido, mas sim um processo de resolução apoiado na interação entre os estudantes. Tal constatação sugere que, embora os alunos consigam acompanhar e reproduzir procedimentos quando orientados ou auxiliados, ainda apresentam dificuldades em mobilizar de forma independente as relações conceituais e matemáticas necessárias, indicando um entendimento em fase inicial de consolidação.

Desse modo, uma resposta que reflete de maneira mais fidedigna o nível de interpretação e autonomia apresentado pela maioria dos estudantes aproxima-se do padrão observado na produção do aluno A6. Diferentemente de respostas que apresentam resultados tecnicamente corretos e uma organização formal mais precisa, essa resolução evidencia um esforço autônomo de interpretação e tomada de decisão a partir dos próprios conhecimentos do estudante.

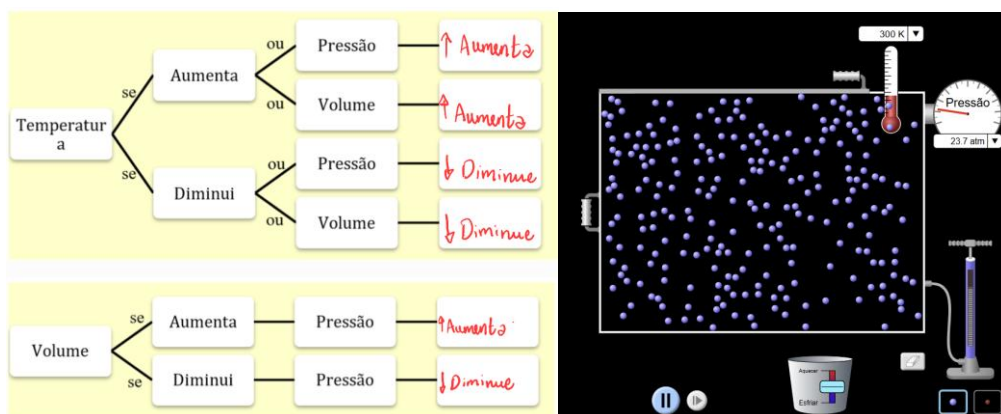
a) Indique em qual dos itens desenhados cabe aproximadamente 1 mol de gás em CNTP, justificando sua resposta. <i>Acredito que um garrafão de 20L é mais uma garrafa PET, por que é a quantidade que se aproxima da quantidade de mol.</i> b) Quantas garrafas PET de 2 L seriam necessárias para ter aproximadamente o volume molar? <i>Aproximadamente 9 garrafas PET, não sei o volume exato mais aproximado.</i> c) Aproximadamente quantos mols de gás cabem na caixa d'água? <i>1atm, por que equivale 1000L.</i>	Transcrição do aluno A4: a) “Acredito que uma garrafão de 20L e mais uma garrafa PET, porque é a quantidade que se aproxima da quantidade de mol” b) “Aproximadamente 9 garrafas PET, não sei o volume exato, mas aproximado.” c) “1atm, porque equivale 1000L”
---	--

A resposta apresenta erros conceituais e procedimentais, como a confusão entre pressão e volume no item c), além de aproximações imprecisas nos itens a) e b). No entanto, tais equívocos são compatíveis com o tipo de raciocínio solicitado pela atividade e revelam uma tentativa genuína de resolução, baseada em estimativas e interpretações pessoais, sem a reprodução direta de procedimentos prontos. Nesse sentido, embora contenha incorreções, a resposta do aluno A6 fornece indícios mais consistentes do estágio de compreensão conceitual em que se encontra a maioria da turma, evidenciando que a noção de volume molar e sua relação com a quantidade de matéria ainda estão em processo de consolidação.

5.6 CONSTRUINDO OS GRÁFICOS DAS TRANSFORMAÇÕES GASOSAS

A atividade dedicada ao estudo da Lei Geral dos Gases Ideais teve como objetivo central explicitar a interdependência entre as variáveis de estado e superar a compreensão fragmentada observada em etapas anteriores, nas quais os estudantes tendiam a analisar pressão, volume e temperatura de forma isolada. A problematização inicial, conduzida por meio de questionamentos orais, permitiu que os alunos expressassem suas hipóteses sobre o comportamento das variáveis quando uma delas é alterada, evidenciando concepções ainda pouco sistematizadas acerca das transformações gasosas.

Figura 15 – Estabelecendo as relações entre as variáveis de estado com auxílio do simulador PhET

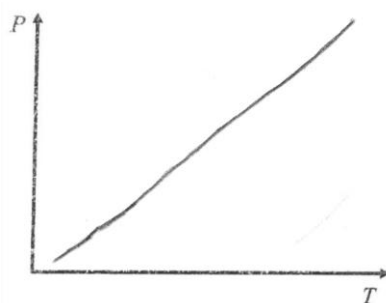


Fonte: Elaboração própria (2025).

À medida que os alunos expressavam suas opiniões, o professor preenchia coletivamente o organograma apresentado na Figura 10. Nesse momento, foi possível observar que muitas concepções ainda não estavam plenamente estabelecidas, indicando que os conhecimentos trabalhados nas atividades anteriores encontravam-se em processo de consolidação. Contudo, ao manipular o simulador e confrontar suas previsões iniciais com os resultados observados, os estudantes tiveram a oportunidade de revisar e ajustar suas interpretações, favorecendo uma reorganização conceitual mais consistente. Esse processo é coerente com a perspectiva da mudança conceitual, segundo a qual a aprendizagem científica ocorre quando o estudante percebe limitações em suas explicações iniciais e passa a reconstruí-las à luz de novas evidências e modelos explicativos (Pozo & Gómez Crespo, 2009).

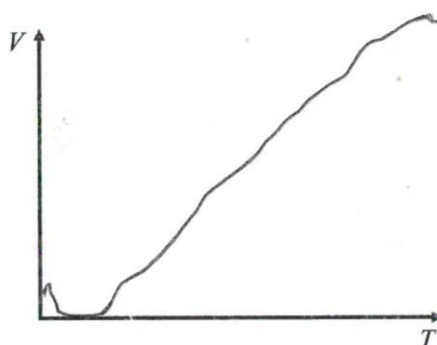
Durante a realização da Atividade 4, os estudantes organizaram-se em grupos e utilizaram o barbante e o lápis para construir os gráficos das transformações gasosas solicitadas. Em cada grupo, os alunos dividiram entre si a representação das grandezas envolvidas, puxando o barbante nas direções indicadas nos eixos dos gráficos. Após a construção dos gráficos, os grupos registraram suas observações e comentaram os comportamentos representados em cada situação proposta.

Figura 16 - Atividade 4.1) Transformação isocórica



Fonte: Autoria dos alunos (2025).

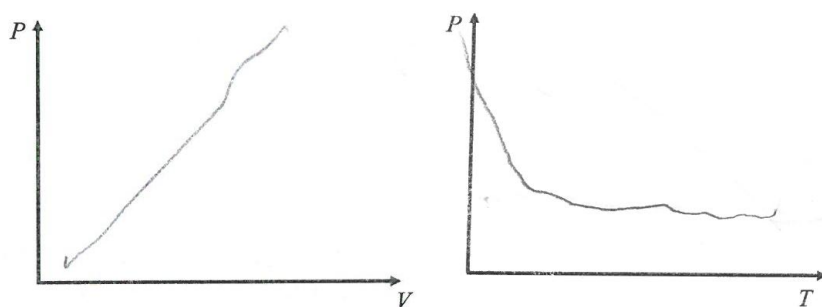
Figura 17 - Atividade 4.2) Transformação isobárica



Fonte: Autoria dos alunos (2025).

Para as transformações isocórica (Figura 16) e isobárica (Figura 17) todos os grupos conseguiram reproduzir corretamente os resultados discutidos durante a aula. Já na transformação isotérmica, ainda surgiram algumas dificuldades na representação gráfica da relação entre pressão e volume. Nesse caso, observou-se que alguns grupos conseguiram se aproximar de forma bastante adequada do comportamento esperado, enquanto outros não conseguiram articular de maneira consistente os conhecimentos conceituais, os procedimentos envolvidos e as habilidades mecânicas necessárias para a construção do gráfico, como pode ser visto na figura abaixo.

Figura 18 - Atividade 4.3) Transformações isotérmica



Fonte: Autoria dos alunos (2025).

De modo geral, essa etapa da sequência didática contribuiu para avançar do reconhecimento isolado das variáveis de estado para a compreensão de sua interdependência, elemento fundamental para o estudo das transformações gasosas. Ao articular problematização, organização conceitual e aplicação por meio de representações gráficas, a atividade reforçou a construção de um modelo explicativo mais integrado, preparando os estudantes para análises mais formais nas etapas subsequentes da sequência.

5.7 EXPERIMENTOS INTRODUTÓRIOS COM ARDUINO

Para obter mais uma ferramenta de estudo das transformações gasosas, foi idealizado dentro da proposta de intervenção um aparato experimental utilizando Arduino. Contudo, optou-se por realizar algumas atividades básicas para que os alunos se familiarizassem com a plataforma. Para isso, foi realizado, durante um evento científico na escola, um minicurso, que consistiu em atividades introdutórias com várias turmas, incluindo o público alvo deste produto.

Figura 19 - Apresentando o Arduino Uno



Fonte: Elaboração própria (2025).

A primeira atividade foi montar um circuito simples com código para fazer um LED piscar. Inicialmente a montagem ocorreu através da ferramenta Tinkercad e em seguida de forma física, programando através da IDE do Arduino. Essas duas etapas podem ser vistas na figura abaixo.

Figura 20 - Montagem da prática com LED de forma física e no Tinkercad



Fonte: Elaboração própria (2025).

Ao final, para a turma em que foi aplicado esse produto, foi feita a programação do Arduino com sensor BMP280 para prepará-los para a atividade seguinte, em que este seria usado para os experimentos com gases.

5.8 PRÁTICA EXPERIMENTAL DE TRANSFORMAÇÕES GASOSAS COM ARDUINO

A atividade experimental envolvendo as transformações isobárica, isocórica e isotérmica teve início com questões prévias, nas quais os estudantes registraram previsões qualitativas sobre o comportamento das grandezas pressão, volume e temperatura em situações do cotidiano. Essas respostas iniciais foram coletadas antes da realização dos experimentos.

Nas questões relacionadas às transformações isobárica e isocórica, observaram-se respostas que, em determinados momentos, apresentavam relações coerentes entre as grandezas envolvidas, enquanto em outros revelavam explicações distintas para situações fisicamente análogas. No caso da transformação isobárica, ao considerar a diminuição da temperatura do ar no interior de uma bexiga (item 1.a), alguns grupos indicaram que o volume “*diminui*”, e, no caso do aumento da temperatura (1.b), que o volume “*aumenta*” (transcrição do grupo 1).

Já na transformação isocórica, ao analisar o aumento da temperatura em um recipiente de volume constante (2.a), o grupo 2 respondeu que “*as partículas fazem com que a pressão aumente e a temperatura também aumente*”. No entanto, ao tratar da diminuição da temperatura (2.b), o mesmo grupo respondeu que “*a pressão pode ficar tão concentrada ao ponto dela explodir, podendo abri-la*”. Respostas semelhantes

também foram registradas por outros grupos nesse item. Durante a atividade, falas dos próprios estudantes indicaram que essa explicação estava associada a experiências prévias conhecidas, como casos de garrafas que explodiram ao serem colocadas no congelador, ainda que essas situações envolvam líquidos e não gases.

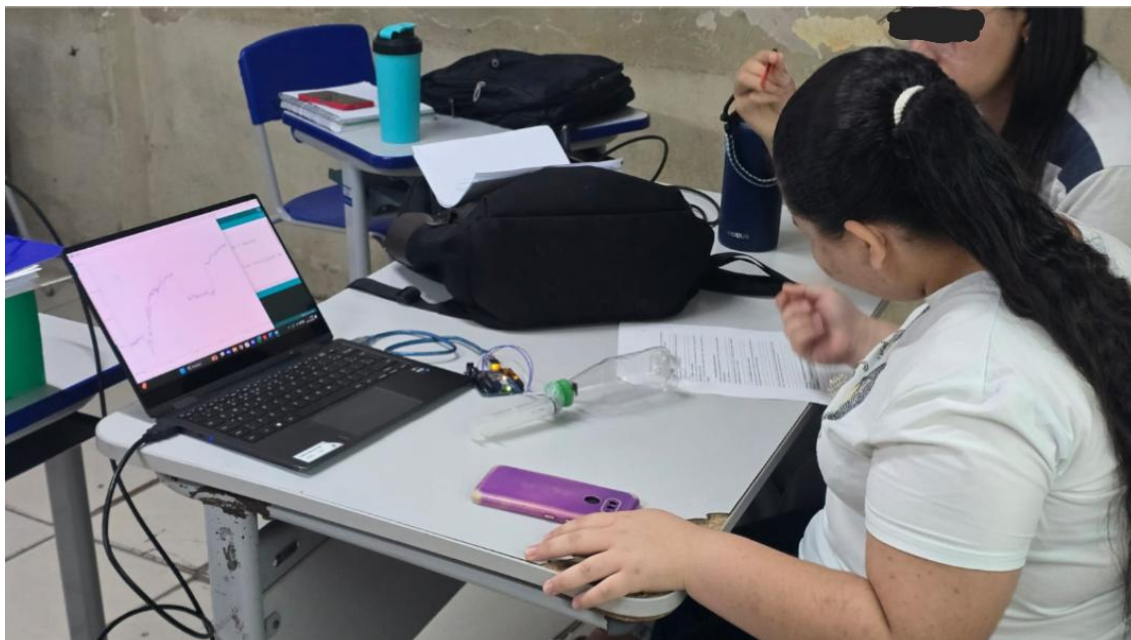
Esse conjunto de respostas evidencia que cada indivíduo pode apresentar explicações distintas, ou até contraditórias, para fenômenos relacionados, pois mesmo que em um item anterior os estudantes tenham indicado uma relação oposta entre temperatura e pressão, na situação seguinte recorreram a explicações baseadas em experiências pessoais fortemente consolidadas. Essa oscilação entre respostas coerentes e contraditórias reflete o que Pozo (1999) define como a “*consistência variável*” das concepções dos alunos, as quais operam como construções situacionais dependentes do contexto. Segundo o autor, essas ideias originam-se de teorias implícitas baseadas em regras associativas que, por vezes, sobrepõem-se ao conhecimento formal quando o estudante é confrontado com situações que ativam experiências cotidianas fortemente enraizadas.

No caso da transformação isotérmica, as respostas dos estudantes também revelaram variações na forma como as relações entre pressão e volume foram mobilizadas. Ao considerar a situação da seringa com o êmbolo puxado (3.a), a maioria dos grupos indicou que “*aumenta a pressão*”, conforme registrado pelo grupo 5, apesar do aumento do volume imposto ao sistema. Já na situação da bola submersa na água (3.b), a maior parte dos estudantes afirmou que o volume “*diminui*” à medida que a profundidade aumenta, embora algumas respostas tenham indicado o comportamento oposto. Esse conjunto de respostas aponta para a ativação de explicações distintas para fenômenos relacionados, sugerindo que, mesmo diante de situações análogas do ponto de vista físico, os estudantes recorrem a interpretações contextuais variadas para descrever o comportamento das grandezas envolvidas.

Após a realização dos experimentos, os grupos passaram a analisar os gráficos gerados pelo *serial plotter* do Arduino, nos quais eram apresentadas simultaneamente as variações de pressão e temperatura ao longo do tempo. Conforme ilustrado na Figura 21, os estudantes utilizaram essas representações gráficas como principal referência para responder aos questionamentos subsequentes da atividade. Em contraste com as respostas iniciais, baseadas predominantemente em previsões qualitativas e em experiências

cotidianas, todos os grupos passaram a fundamentar suas respostas nas tendências observadas nos gráficos, descrevendo corretamente o comportamento das grandezas envolvidas em cada transformação.

Figura 21 - Análise gráfica a partir do *plotter serial* do Arduino



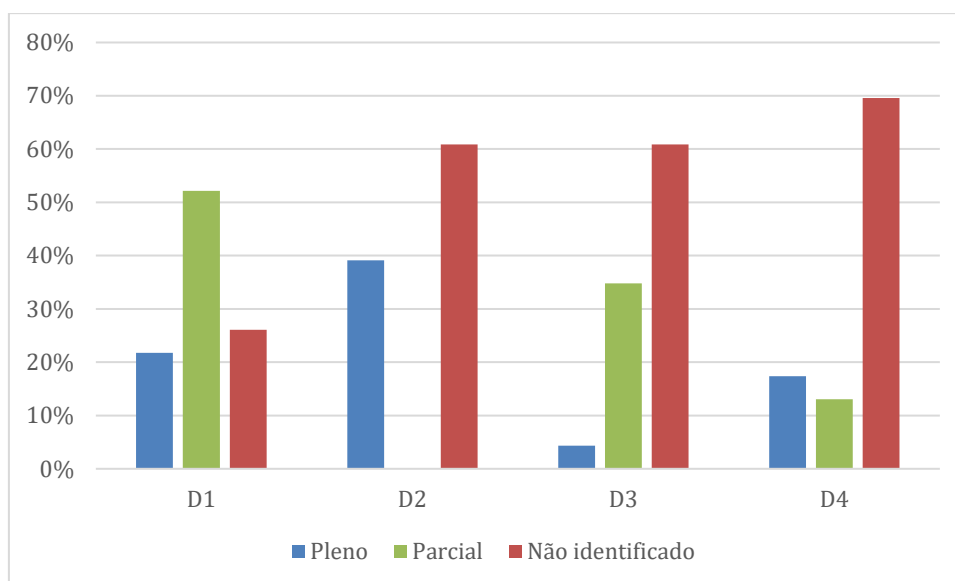
Fonte: Elaboração própria (2025).

De modo geral, as respostas às questões c), d) e f), que retomavam e aprofundavam os itens a) e b) de cada transformação indicaram que os alunos conseguiram identificar corretamente o sentido das variações observadas e reconhecer o tipo de proporcionalidade envolvida. Além disso, ao comparar suas previsões iniciais com os resultados experimentais, a maioria dos estudantes foi capaz de perceber a coerência entre os dados obtidos e os modelos teóricos discutidos em aula, além de revisar suas hipóteses quando estas não se confirmaram experimentalmente.

5.9 PÓS TESTE

Após todas as etapas do produto o mesmo teste aplicado no início foi reaplicado a fins de avaliar de forma mais objetiva a eficácia deste. Os resultados obtidos para cada descritor estão dispostos no gráfico abaixo.

Figura 22 - Níveis atingidos pelos estudantes no pós-teste



Fonte: Elaboração própria (2025).

A comparação entre o pré-teste e o pós-teste, considerando os quatro descritores avaliados, revela um quadro diversificado entre os alunos que tiveram melhores resultados, os que mantiveram o mesmo nível e os que revelaram pior desempenho, como pode ser visto na tabela abaixo.

Tabela 4 - desempenho dos alunos por descritor no pós-teste

	D1	D2	D3	D4
AVANÇOU	38%	29%	29%	19%
IGUAL	19%	43%	33%	29%
REGREDIU	38%	24%	33%	48%

Fonte: Elaboração própria (2025).

Em um primeiro olhar, o percentual semelhante entre avanço e regressão poderia sugerir que parte dos estudantes não consolidou as habilidades trabalhadas ao longo da intervenção. No entanto, a interpretação adequada desses resultados exige considerar tanto o contexto de aplicação quanto fundamentos teóricos sobre avaliação e aprendizagem científica.

Durante a realização do teste, observou-se que muitos estudantes demonstraram ansiedade, preocupação excessiva com a nota e, em alguns casos, desânimo antes mesmo de iniciarem a leitura das questões. Cerca de 90% finalizaram o teste em menos de dez minutos, e todos, apesar de terem uma hora disponível, encerraram a atividade em menos de trinta minutos. Além disso, notou-se que diversos estudantes dedicaram grande parte do tempo exclusivamente ao primeiro problema, e, ao encontrarem dificuldades iniciais,

passaram a responder os demais itens com aparente desistência. Esse tipo de resposta à situação avaliativa também pode ser compreendido à luz das discussões apresentadas por Gonzaga (2016), que, apoiado em autores como Spielberger e Vagg (1995) e Sarason (1986), destaca que alguns estudantes tendem a interpretar provas como uma ameaça pessoal, desencadeando diminuição da autoeficácia, antecipação de falha e reações emocionais mais intensas diante das primeiras dificuldades.

Outro elemento fundamental a ser considerado são os relatos espontâneos dos estudantes sobre o uso indevido de recursos de IA ou cópia de colegas no pré-teste, o que torna os resultados iniciais inflados e pouco representativos das habilidades reais da turma. Assim, parte da “regressão” observada no pós-teste deve corresponder, na verdade, a uma retomada a níveis mais autênticos de desempenho, agora medidos em condições mais controladas. Nesse sentido, o pós-teste não indica uma perda de aprendizagem, mas sim uma normalização dos dados, aproximando-os de uma medida mais válida e confiável.

Além disso, trabalhos como de Arruda e Villani (1994) que revisa vários estudos sobre mudança conceitual como os de Driver (1989) e Posner et al. (1982) mostra que o desenvolvimento de modelos explicativos mais sofisticados não ocorre de modo linear. Ao contrário, estudantes em transição entre concepções prévias e modelos científicos podem apresentar desempenhos instáveis, alternando acertos e erros conforme testam diferentes estratégias de interpretação. Esse processo muitas vezes produz respostas aparentemente contraditórias, incluindo oscilações entre pré e pós-testes, especialmente em habilidades que demandam coordenação simultânea de variáveis ou a interpretação de representações gráficas.

Diante disso, é correto avaliar que os percentuais de avanço mostram que o produto educacional contribuiu para o desenvolvimento de uma parcela significativa dos estudantes, enquanto a estabilidade indica que parte da turma manteve seu nível de desempenho, o que é coerente com expectativas realistas para um intervenções de curta duração como aponta Pozo e Gómez Crespo (2009) ao relatar que algumas concepções não são superadas mesmo após anos de instrução, principalmente levando em consideração o conflito mencionado entre conhecimentos espontâneos e os científicos. Já a regressão, em vez de sinalizar perda de aprendizagem, pode se tanto uma reflexão desse conflito quanto dificuldades emocionais e cognitivas na situação do pós-teste. Quando

considerados de forma integrada, esses fatores indicam que o comportamento dos dados é plenamente compatível com processos reais de aprendizagem em Ciências, especialmente aqueles que envolvem reorganização conceitual e operacional.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo das últimas décadas, as pesquisas em ensino de Física têm contribuído para uma revisão profunda do papel do professor e do aluno no processo educativo. A figura do docente como simples transmissor de conteúdos vem sendo gradativamente substituída pela de um mediador de aprendizagens, responsável por criar condições didáticas que favoreçam a construção de significados, a problematização da realidade e o diálogo entre saberes cotidianos e científicos. Esse movimento, ao mesmo tempo em que reconhece o estudante como sujeito ativo do processo de aprendizagem, também impõe novos desafios à prática docente, exigindo sensibilidade pedagógica para lidar com as especificidades cognitivas, culturais e afetivas de cada turma.

É nesse contexto que se insere o presente trabalho, que teve como objetivo desenvolver, aplicar e analisar um produto educacional fundamentado nos Três Momentos Pedagógicos, articulando metodologias ativas, tecnologias digitais e uma avaliação de caráter processual no estudo do comportamento dos gases. A proposta buscou romper com uma abordagem excessivamente algorítmica do conteúdo, frequentemente observada no ensino desse tema, priorizando a compreensão conceitual, a articulação entre grandezas físicas e a construção progressiva de modelos explicativos pelos estudantes.

Os resultados obtidos ao longo da aplicação evidenciam a alta persistência das concepções alternativas dos alunos, que, em diversos momentos, mostraram-se resistentes às discussões realizadas em sala e aos modelos científicos apresentados. Tal constatação reforça achados consolidados na literatura em ensino de Ciências, segundo os quais a aprendizagem conceitual não ocorre de forma linear ou imediata, mas por meio de processos graduais de reorganização cognitiva. Nesse sentido, os desempenhos observados em testes objetivos, especialmente quando comparados entre pré-teste e pós-teste, não podem ser interpretados de maneira isolada ou reducionista.

Por outro lado, quando analisados ao longo do processo, nas discussões em sala, nas atividades experimentais, nas interações mediadas por tecnologias e nas produções

dos estudantes, os dados revelam avanços relevantes no domínio conceitual e procedimental, ainda que nem sempre plenamente estabilizados. Esses avanços, muitas vezes não capturados integralmente por instrumentos tradicionais de avaliação, apontam para a importância de considerar a aprendizagem como um fenômeno dinâmico, marcado por oscilações, regressões aparentes e reconstruções sucessivas.

Um aspecto que se destacou de forma consistente foi o impacto da proposta no engajamento dos estudantes. Observou-se maior participação nas atividades, envolvimento nas discussões e preocupação com a compreensão dos fenômenos estudados, especialmente durante as práticas experimentais e o uso de recursos como o Arduino e os simuladores computacionais. Esse engajamento não deve ser entendido apenas como um ganho motivacional, mas como um elemento pedagógico central, uma vez que a disposição para pensar, testar hipóteses e revisar explicações constitui condição fundamental para a aprendizagem significativa.

Assim, embora o produto educacional não elimine as dificuldades inerentes ao ensino de Física, particularmente aquelas relacionadas à abstração conceitual, à matemática envolvida e à resistência das concepções prévias, ele se mostrou eficaz em criar um ambiente didático mais favorável à reflexão, ao diálogo e à construção do conhecimento. A articulação entre uma metodologia estruturada, como os Três Momentos Pedagógicos, e o uso crítico de tecnologias educacionais revelou-se uma combinação promissora para enfrentar desafios recorrentes no estudo dos gases.

Por fim, espera-se que este trabalho possa contribuir tanto para a prática docente de professores de Física quanto para o campo de pesquisa em ensino de Ciências, ao oferecer reflexões, limites e possibilidades a partir de uma experiência concreta em contexto escolar real. Mais do que apresentar respostas definitivas, esta dissertação reafirma a complexidade do ato de ensinar e aprender Física e sustenta a esperança de que propostas pedagógicas intencionalmente fundamentadas, sensíveis à realidade dos estudantes e abertas à experimentação, possam ampliar as condições para uma aprendizagem mais crítica, significativa e humanizadora.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, Evando Santos; NASCIMENTO, João Lucas Barbosa do; SILVA, Jucilene Carvalho; BIM, Caiala Fonseca Andrade. O uso de simuladores virtuais educacionais e as possibilidades do PhET para a aprendizagem de Física no Ensino Fundamental. **REnCiMa - Revista de Ensino de Ciências e Matemática**, v. 12, n. 3, p. 1-22, 2021.

ARRUDA, Sergio de Mello; VILLANI, Alberto. Mudança conceitual no ensino de ciências. **Caderno Brasileiro de ensino de Física**, v. 11, n. 2, p. 88-99, 1994.

BIGHETTI, Rebeca Castro. **Aplicação da modelagem no estudo da teoria cinética dos gases**. 2016. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) — Departamento de Química, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Bauru, 2016.

BONADIMAN, Helio; NONENMACHER, Sandra E. B. O gostar e o aprender no ensino de Física: uma proposta metodológica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 24, n. 2, p. 194-223, ago. 2007.

BONFIM, Danúbia Damiana Santos; COSTA, Priscila Carozza Frasson; NASCIMENTO, William Júnior do. A abordagem dos Três Momentos Pedagógicos no estudo de velocidade escalar média. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 13, n. 1, p. 187-197, 2018.

BRASIL. Lei nº 15.100, de 14 jan. 2025. Dispõe sobre a utilização, por estudantes, de aparelhos eletrônicos portáteis pessoais nos estabelecimentos públicos e privados de ensino da educação básica. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ed. 9, p. 3, 14 jan. 2025.

BRASIL. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular: Ensino Médio. Brasília: MEC, 2018.

BRASIL. Ministério da Educação. Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio. Brasília: MEC/SEMTEC, 2000.

BRUSH, Stephen G. History of the Kinetic Theory of Gases. In: PETRUCCIOLI, Sandro (ed.). **Storia della Scienza**. Roma: Istituto della Enciclopedia Italiana, 2004. v. 7, cap. 44.

DELIZOICOV, Demétrio; ANGOTTI, José André. **Física**. São Paulo: Cortez, 1990.

DUIT, Reinders; TREAGUST, David F.; WIDODO, Ari. Teaching Science for Conceptual Change: Theory and Practice. Em: International Handbook of Research on Conceptual Change. Routledge, pp. 629-646, 2008 (versão online publicada em 18 jul. 2013).

FRASSON, Fernanda; LABURÚ, Carlos Eduardo; ZOMPERO, Andréia de Freitas. Aprendizagem significativa conceitual, procedimental e atitudinal: uma releitura da teoria ausubeliana. **Contexto & Educação**, v. 34, n. 108, p. 303-318, 2019.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia do oprimido**. 83 ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2022.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia da autonomia**. 76 ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2023.

GHAZALI, Zayba; TOLMIE, Andrew. Nuevos enfoques para comprender el desarrollo de los conceptos biológicos en niños pequeños. **Educatio Siglo XXI**, Vol. 32, n. 2, pp. 97-118, 2014.

GOMES, Érica Cupertino; FRANCO, Xaieny Luiza de Souza Oliveira; ROCHA, Alessandro Silvestre da. **Uso de simuladores para potencializar a aprendizagem no ensino de Física**. Araguaína, TO: EDUFT, 2020. 64 p.

GÓMEZ GALINDO, Adrianna. *Las concepciones alternativas, el cambio conceptual y los modelos explicativos del alumnado*. In: MERINO RUBILAR, Cristian; GÓMEZ GALINDO, Adrianna; ADÚRIZ-BRAVO, Agustín (orgs.). **Áreas y Estrategias de Investigación en la Didáctica de las Ciencias Experimentales**. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona, Servei de Publicacions, 2008. p. 11–22. (Colección Formación en Investigación para Profesores, v. 1).

GONZAGA, L. R. V. **Enfrentando provas escolares: relações com problemas de comportamento e rendimento acadêmico no ensino médio**. 2016. 210 f. Tese (Doutorado em Psicologia) — Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2016.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física**, volume 2: gravitação, ondas e termodinâmica. Tradução de Ronaldo Sérgio de Biasi. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

JANKOWSKI, Rosane. **Uma proposta didática para o ensino de termologia com uso de tecnologias**. 2021. 143 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campo Mourão, 2021.

JOSÉ, Wagner Duarte; DARLON, Diorge. Motor elétrico e dínamo de bicicleta: articulações entre equipamentos geradores e três momentos pedagógicos no ensino de física sob o olhar da Alfabetização Técnica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 39, n. 3, p. 656-687, dez. 2022.

LACOLLA, Liliana H. La representación social que los estudiantes poseen acerca de las reacciones químicas y su incidencia en la construcción del concepto de cambio químico. 2012. 251 f. Tesis (Doctorado) – Programa Internacional de Doctorado en Enseñanza de las Ciencias, Universidad de Burgos, Burgos, 2012.

MATOS, Júlia Bristot; THOMAZONI, Júlia Giacomet; MARTINS, José Arthur. Contribuições do PIBID no ensino e na aprendizagem da Teoria Cinética dos Gases. **Scientia cum Industria**, v. 8, n. 3, p. 58-61, 2020.

MOREIRA, Marco Antonio. Ensino de Física no Brasil: Retrospectiva e Perspectivas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 22, n. 1, p. 94-99, 2000.

MOREIRA, Marco Antonio. **Metodologias de pesquisa em ensino**. São Paulo: Livraria da Física, 2011.

MOREIRA, Marco Antonio. **Aprendizagem significativa**. São Paulo: Livraria da Física, 2012.

MUENCHEN, Cristiane; DELIZOICOV, Demétrio. Os três momentos pedagógicos e o contexto de produção do livro “Física”. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 20, n. 3, p. 617-638, 2014.

NUSSENZVEIG, H. Moysés. **Curso de Física Básica: Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor**. 4. ed. rev. São Paulo: Editora Blucher, 2002. v. 2.

PACHECO, Lucas Carvalho; LOY, Laíza Sturza; MUENCHEN, Cristiane. Abordagem Temática no contexto da BNCC: discussões a partir da produção de um material didático-pedagógico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 41, n. 2, p. 440-467, ago. 2024.

POZO, Juan Ignacio; GÓMEZ CRESPO, Miguel Ángel. **A aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico**. Tradução de Naila Freitas. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 296 p.

POZO, Juan Ignacio. Más allá del cambio conceptual: el aprendizaje de la ciencia como cambio representacional. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 17, n. 3, p. 513-520, 1999.

ROCHA, Glauco Eduardo. **Construção e aplicação em sala de aula de análogo mecânico para o ensino da Teoria Cinética dos Gases**. 2020. 94 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró, 2020.

SÁIZ JABARDO, José María; CABEZAS GOMEZ, Luben; FARIÑAS ALVARIÑO, Pablo. **Introdução à Termodinâmica**. A Coruña: Universidade da Coruña, Servizo de Publicacións, 2025. 801 p. (Manuais, n.º MA-36.2).

SANTOS, Antonio Nacílio Sousa *et al.* Paulo Freire e o currículo escolar – da prática cotidiana dos educandos à superação da “educação bancária”. **Revista Aracê**, v. 7, n. 1, 2025.

SANTOS, Arthur; MUENCHEN, Cristiane. A formação inicial de professores e a abordagem temática: o processo de reorientação curricular no PIBID/Física da UFSM. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 42, n. 3, p. 653-682, dez. 2025.

SANTOS, Cleber de Jesus *et al.* Descargas elétricas atmosféricas: uma aplicação da sequência didática dos três momentos pedagógicos. **Educação Pública - Divulgação Científica e Ensino de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 3, out. 2022.

SILVA, J. M. N. da; NASCIMENTO, S. M. N. do; RAMOS, M. da C. P. A educação profissional na rede estadual do Rio Grande do Norte: em busca da consolidação. **Holos**, v. 4, ano 36, e10053, p. 1-17, 2020.

TORRES, Carlos Magno A.; FERRARO, Nicolau Gilberto; SOARES, Paulo Antonio de Toledo. **Física – Ciência e Tecnologia: Volume 2**. 2. ed. São Paulo: Moderna, 2010.

UREL, D. E. Paulo Freire e os três momentos pedagógicos. **Scientia Naturalis**, Rio Branco, v. 4, n. 1, p. 49-59, 2022.

VIEIRA, Crislan Alves; PIRES, M. O. C. Aerodinâmica de autos para o ensino médio na abordagem dos Três Momentos Pedagógicos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 44, e20210437, 2022.