



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CAMPUS AGRESTE
NÚCLEO DE FORMAÇÃO DOCENTE
CURSO DE FÍSICA - LICENCIATURA

PEDRO MACEDO VILAÇA DE SOUZA

MODELOS DE GASES REAIS NO ENSINO DE FÍSICA BÁSICA: uma análise
curricular de graduações de Física no Brasil

Caruaru
2023

PEDRO MACEDO VILAÇA DE SOUZA

MODELOS DE GASES REAIS NO ENSINO DE FÍSICA BÁSICA: uma análise
curricular de graduações de Física no Brasil

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação do Curso de
Física - Licenciatura do Campus Agreste
da Universidade Federal de Pernambuco
– UFPE, na modalidade de monografia,
como requisito parcial para a obtenção do
grau de licenciado em Física.

Área de concentração: Ensino de Física.

Orientador (a): Prof. Dr. Ernesto Arcenio Valdés Rodríguez

Caruaru

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Souza, Pedro Macedo Vilaça de.

Modelos de gases reais no ensino de Física básica: uma análise curricular
de graduações de Física no Brasil / Pedro Macedo Vilaça de Souza. - Caruaru,
2023.

40 : il., tab.

Orientador(a): Ernesto Arcenio Valdés Rodríguez

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de
Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste, Física - Licenciatura, 2023.

Inclui referências, apêndices.

1. ensino. 2. modelos. 3. gás real. 4. gás ideal. 5. física básica. I.
Rodríguez, Ernesto Arcenio Valdés . (Orientação). II. Título.

530 CDD (22.ed.)

PEDRO MACEDO VILAÇA DE SOUZA

MODELOS DE GASES REAIS NO ENSINO DE FÍSICA BÁSICA: uma análise
curricular de graduações de Física no Brasil

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação do Curso de
Física - Licenciatura do Campus Agreste
da Universidade Federal de Pernambuco
– UFPE, na modalidade de monografia,
como requisito parcial para a obtenção do
grau de licenciado em Física.

Aprovada em: 24/04/2023

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ernesto Arcenio Valdés Rodríguez (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Augusto César Lima Moreira (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^a. Dr^a. Paulo Henrique Ribeiro Peixoto (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Utilizo esse espaço para agradecer todas as pessoas que foram importantes no decorrer desse meu processo formativo. Agradeço primeiramente aos meus pais Adenilda e Genival, por terem tido como prioridade a educação de seus filhos e feito o possível para proporcionar as melhores condições para nos desenvolvermos. Agradeço também a minha irmã, Monalisa, por ter compartilhado suas experiências da graduação e estar sempre disposta a me ajudar com o que estivesse ao seu alcance.

Por terem tido influência direta no meu processo formativo, agradeço ao meu grande amigo Valdemir, por sempre compartilhar seus ensinamentos e estar presente do início ao fim desse ciclo; e ao também grande amigo Alan, pelo incentivo e pela força depositados em mim. Agradeço também a minha parceira de vida, Jucilayne, por ter caminhado ao meu lado no decorrer da graduação, potencializando e me ensinando características importantes na minha formação.

Por fim, agradeço a todos os professores que de alguma maneira estiveram presentes nessa etapa da minha vida, reconheço a contribuição de todos na minha formação. Em especial, agradeço ao meu orientador e amigo Ernesto Rodríguez por sempre ter acreditado em mim e me incentivado; e aos professores Everaldo Fernandes, Ana Lúcia e Paulo Peixoto, por terem sido marcos importantes na minha formação profissional e pessoal.

RESUMO

Neste trabalho foram analisados documentos curriculares de disciplinas de Física básica, provenientes de cursos de graduação em Física (licenciatura e bacharelado) de 13 unidades federativas do Brasil. Com a finalidade de verificar se há uma menção a gases reais ou a algum modelo específico de gás real. Como referenciais teóricos foi adotada a noção de modelo científico e do processo de modelagem científica de Brandão, Araujo e Veit (2011); Cupani e Pietrocola (2002); Silva e Catelli (2020). Assim como foram discutidas as potencialidades de abordar a noção de modelos e do processo de modelagem no ensino de Física, e também foi realizada uma discussão teórica acerca do modelo de gás ideal e do modelo de gás de van der Waals. Tendo como perspectiva as potencialidades que essa discussão acerca dos modelos de sistemas gasosos possuem dentro de uma disciplina de Física básica. Como resultado foram obtidos um total de 82,4% de documentos curriculares que não fazem menção a gases reais. Indicando que essa discussão acerca dos gases reais não é bem explorada no âmbito da Física básica. Esse resultado aponta para a necessidade de pensar a (re)formulação dos documentos curriculares de disciplinas do ciclo básico da Física, de modo a incentivar uma maior reflexão acerca da natureza do processo científico.

Palavras-chave: ensino; modelos; modelagem; gás real; gás ideal; física básica.

ABSTRACT

In this work, course syllabus of basic Physics courses from undergraduate programs in Physics (both licentiate and bachelor's degree) from 13 Brazilian federal units were analyzed. The purpose was to verify if there is any mention of real gases or any specific model of real gas. The theoretical references adopted were the notion of scientific model and the process of scientific modeling proposed by Brandão, Araujo, and Veit (2011); Cupani and Pietrocola (2002); Silva and Catelli (2020). The potentialities of approaching the notion of models and the process of modeling in Physics education were also discussed, as well as a theoretical discussion about the ideal gas model and the van der Waals gas model. The perspective was to explore the potentialities that this discussion about gas systems models has within a basic Physics course. As a result, a total of 82.4% of course syllabi did not mention real gases, indicating that this discussion about real gases is not well explored in basic Physics. This result points to the need to rethink the course syllabi of basic Physics courses, in order to encourage greater reflection on the nature of the scientific process.

Keywords: teaching; model; modeling; ideal gas; real gas; basic physics.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	8
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	10
2.1	OS MODELOS CIENTÍFICOS E A CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO NAS CIÊNCIAS FACTUAIS.....	10
2.2	A IMPORTÂNCIA DA NOÇÃO DE MODELOS E DO PROCESSO DE MODELAGEM CIENTÍFICA NO ENSINO DE FÍSICA.....	13
2.3	O MODELO DE GÁS IDEAL.....	16
2.4	MODELOS DE GASES REAIS.....	19
2.4.1	O fator de compressibilidade.....	20
2.4.2	O Modelo de van der Waals.....	22
3	METODOLOGIA.....	26
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA E JUSTIFICATIVA DA AMOSTRAGEM.....	26
3.2	PROCEDIMENTO DE COLETA DAS INFORMAÇÕES DOS DOCUMENTOS CURRICULARES.....	27
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
5	CONCLUSÃO.....	36
	REFERÊNCIAS.....	38
	APÊNDICE A – ACESSO AOS DADOS DA PESQUISA.....	40

1 INTRODUÇÃO

A Termodinâmica geralmente é apresentada, no caso da educação básica, no 2º ano do ensino médio e, no caso do ensino superior, em disciplinas que sucedem imediatamente as que abordam a mecânica. Dessa forma, o primeiro contato dos estudantes, em ambos os níveis de ensino, com relações entre grandezas e estruturas macroscópicas e microscópicas ocorre nessa área de estudo. Mais precisamente, no estudo dos gases.

Partindo de experiência pessoal do autor desta pesquisa sobre o ensino desse conteúdo na graduação em Física Licenciatura da Universidade Federal de Pernambuco – Centro Acadêmico do Agreste, e do estudo por meio de um livro didático conhecido por ser amplamente utilizado nas disciplinas de Física básica de nível superior no país e também no exterior, levantou-se a hipótese de que o ensino do conteúdo de gases tende a restringir-se à apresentação do modelo de gás ideal e à aplicação desse modelo em situações diversas, sem uma preocupação sobre a validade da aplicação desse modelo para as situações trabalhadas; uma vez que a experiência pessoal do autor apontou nesse sentido. Essa forma de apresentar o conteúdo pode levar os estudantes a pensar que o modelo estudado é aplicável a qualquer situação de estudo de um sistema gasoso, o que significa entender a lei de gases ideais como a descrição fiel do comportamento de um gás real.

Com base na análise do programa curricular da disciplina de Físico-química do curso de Química Licenciatura da mesma instituição, foi observado que o estudo dos gases parte do uso do modelo de gás ideal e em seguida são apresentados dois modelos de gás real: o modelo de Van der Waals e o modelo do Virial. Isso possibilita aos estudantes de Química a construção da compreensão de que o modelo de gás ideal possui um certo domínio de validade e quando a situação estudada transcende esse limite, outros modelos podem e devem ser utilizados para obter resultados mais precisos no estudo da situação. Essa compreensão é de extrema importância, tendo em vista que pesquisadores como Heidemann, Campomanes e Araujo (2021) defendem a importância de que as aulas de Física sejam bem fundamentadas epistemologicamente para a construção da visão de Ciência do estudante.

Segundo Borges (2006) e Heidemann et al. (2016), existem problemáticas que afetam o ensino de Física de maneira geral, como a ênfase demasiada na

memorização de fatos e fórmulas; e a resolução de problemas que se referem a objetos já idealizados. Essa abordagem, por desprezar diversos aspectos dos eventos reais, acaba limitando a aprendizagem do aluno a situações enfrentadas apenas nas salas de aula.

Esse ensino tradicional, que enfatiza a memorização de fórmulas para a aplicação em problemas já idealizados, por não fazer nenhuma conexão explícita entre o ideal e o real, tende a produzir na mente dos estudantes uma concepção de que a Física estudada está separada da realidade de tal forma que é pouco útil para lidar com problemas reais, ou mesmo uma concepção extremamente oposta, de que a Física estudada descreve a realidade “como ela é” – uma visão epistemológica de Ciência que pode-se classificar como um Realismo Ingênuo.

Uma vez que esse panorama descrito nos parágrafos anteriores refere-se ao ensino de Física a nível médio e superior, e tendo em vista que os profissionais que passam por uma formação com essas características tendem a reproduzi-las em sua atuação profissional, a presente pesquisa pretende focalizar o ensino de Física a nível superior. Mais especificamente o ensino de Física em graduações em Física, bacharelado e licenciatura. Pois entende-se que a formação inicial de professores de Física e de bacharéis em Física deve ser o ponto de partida para uma melhoria do Ensino de Física como um todo, uma vez que são esses profissionais que irão atuar no ensino de Física a nível básico e superior.

Dessa forma, a motivação deste estudo surge da busca pela melhoria da formação inicial dos profissionais da Física e de áreas afins, que têm como parte constituinte de suas formações iniciais o estudo da Física básica. Nesse sentido, os objetivos desta pesquisa resumem-se a investigar a presença de modelos de gases reais no ensino de disciplinas do ciclo básico nas graduações de Física (licenciatura e bacharelado) de grandes centros acadêmicos do país; e levantar a questão da necessidade de pensar a (re)formulação dos documentos curriculares de disciplinas do ciclo básico da Física, de modo a incentivar uma maior reflexão acerca da natureza do processo científico.

O texto segue com a apresentação do referencial teórico em que se baseou a realização do estudo; a metodologia de pesquisa adotada; os resultados e a discussão desses resultados articulando-os aos referenciais utilizados. Ao fim do texto é apresentada a conclusão da pesquisa.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O aporte teórico reunido nesta seção do texto, visa delimitar e apresentar a noção de Modelos adotada na pesquisa; pontuar considerações existentes na literatura acerca da importância de se trabalhar com Modelos no Ensino de Física; apresentar o modelo de gás que está presente no conteúdo programático de qualquer disciplina que aborde a termodinâmica, seja no ensino superior ou ensino básico: o modelo de gás ideal; e por último, apresentar o modelo de gás de van der Waals, que possui poder descritivo qualitativo e quantitativo maior que o modelo ideal.

2.1 OS MODELOS CIENTÍFICOS E A CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO NAS CIÊNCIAS FACTUAIS

Segundo Silva e Catelli (2019), o termo “modelo”, antes utilizado principalmente nas áreas técnicas e artísticas, foi inserido no debate científico no fim do século XIX e início do século XX, e seu significado foi apresentado por Ludwig Edward Boltzmann, em 1902, em um artigo na enciclopédia britânica. Com o passar do tempo, a compreensão do que seria um modelo científico e de qual seu papel na ciência modificou-se, dando origem a uma variedade de concepções e abordagens. De modo que não existe hoje uma noção única e universal de modelos científicos. Diante disso, convém delimitar qual noção de Modelos Científicos foi adotada na presente pesquisa.

De maneira geral, para Silva e Catelli (2019, p. 1), a evolução história do termo “parece girar em torno de dois sentidos mais usuais: o modelo como uma representação de algo pré-existente de um lado e de um modelo como representação simplificada, abstrata e idealizada da realidade, de outro lado.” A concepção adotada nesta pesquisa está situada dentro do segundo sentido usual apresentado por Silva e Catelli. Mais precisamente, foi adotada a concepção de Modelos Científicos apresentada por Brandão, Araujo e Veit (2011); Cupani e Pietrocola (2002); Silva e Catelli (2020); originada do trabalho do filósofo da ciência Mário Bunge.

Segundo esses autores, Bunge considera que a Ciência – sobretudo as ciências factuais (física, química, biologia, etc.) – funciona com base na construção

de modelos. Ele considera que o processo de apreensão da realidade desenvolvido pelas ciências¹, parte de um afastamento do real através da construção de uma representação idealizada dos fatos ou fenômenos analisados, os quais são chamados de referentes. Essa construção, que recebe o nome de Objeto-Modelo ou Modelo Conceitual, representa características de interesse do objeto concreto e negligencia outras que não são relevantes para os objetivos pretendidos. Essa seria a primeira etapa do processo de modelagem².

Na verdade, essa primeira etapa pode se dar de duas maneiras: a primeira consiste na criação de um único objeto-modelo para representar uma classe de objetos concretos, e a segunda consiste no uso de vários objetos-modelos para representar um único objeto real. Além disso, a construção do objeto-modelo não é arbitrária, ela é guiada pelas perguntas que se quer responder acerca do referente, em outras palavras, ela é guiada pelas questões de pesquisa. É importante realizar essas ressalvas para não favorecer uma percepção da modelagem como um processo algorítmico e impessoal.

A segunda etapa desse processo consiste em inserir o(s) objeto-modelo(s) em uma(s) das Teorias Gerais existentes, que embora sejam a “espinha dorsal” das ciências, não se pronunciam diretamente sobre a realidade, por seu caráter genérico, amplo e formal. Uma teoria geral é definida como:

[...] um *sistema de hipóteses* referente a um determinado âmbito de objetos. Trata-se de conjuntos articulados de suposições cujos enunciados são, ou bem afirmações primitivas (axiomas, definições, dados), ou bem afirmações demonstráveis dentro desse sistema (teoremas). As teorias são assim sistemas *hipotético-dedutivos* (CUPANI; PIETROCOLA, 2002, p. 108).

A partir dessa definição, fica evidente o caráter formal e abstrato das teorias gerais. Sendo assim, também fica evidente a impossibilidade das teorias se relacionarem diretamente com a realidade. Por isso, a inserção do objeto-modelo em uma teoria geral tem como objetivo a obtenção de um Modelo Teórico (ou Teoria Específica), que assim como a teoria geral, é um sistema hipotético-dedutivo, porém que “permite ao cientista especificar as peculiaridades da coisa ou fato investigado”

¹ Daqui em diante, ao citar “ciências”, estamos nos referindo especificamente às ciências factuais.

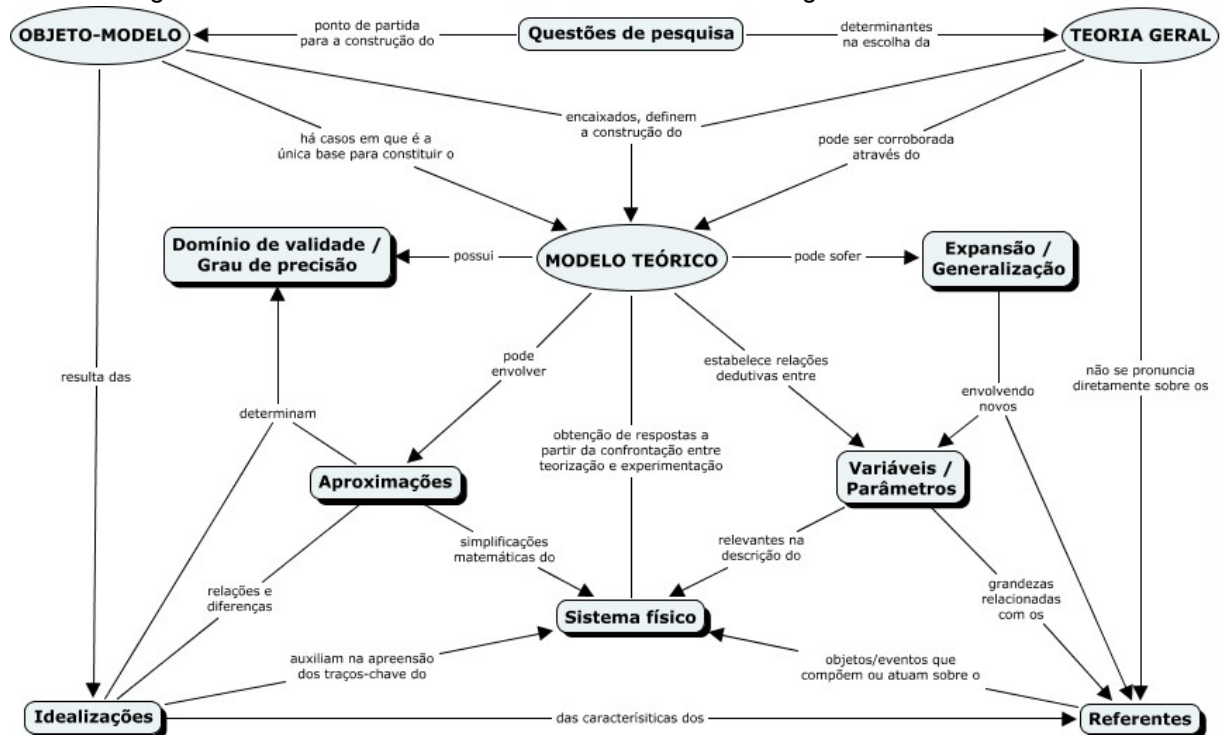
² Esse processo é chamado por alguns pesquisadores de modelagem e por outros, de modelização. Trataremos ambos como sinônimos.

(SILVA; CATELLI, 2020, p. 3). O modelo teórico pode ser definido como “um conjunto de ideias em interação que permitem com que este realize explicações e previsões sobre a realidade” (SILVA; CATELLI, 2020, p. 3). Ou seja, é o modelo teórico que irá realizar explicações e previsões acerca dos referentes, possibilitando assim, a contrastação empírica, o “teste” do modelo frente os dados da realidade e a eventual corroboração da teoria geral utilizada.

Outro aspecto acerca dos modelos teóricos que é importante deixar evidente é o fato de que por serem gerados a partir dos objetos-modelos, com todas as suas idealizações e aproximações, os modelos teóricos possuem um certo domínio de validade onde as previsões realizadas têm um bom grau de precisão. Saindo desse domínio, o grau de precisão se torna cada vez menor. Um exemplo seria modelar o movimento de corpos com base na mecânica clássica. O modelo gerado nesse processo apresenta boa precisão para velocidades pequenas em comparação à da luz. Diz-se então que o modelo funciona no domínio de baixas velocidades. Caso o corpo se movimente em velocidades comparáveis à velocidade da luz, as previsões do modelo serão imprecisas. Diz-se então que o modelo falha nessas situações. Com isso, seria necessário a construção de um outro modelo teórico, que fosse capaz de descrever essas situações. Para isso, utilizar a mecânica relativística ao invés da mecânica clássica, como base para a construção do modelo teórico seria mais eficaz.

Então, de modo geral, os cientistas constroem objetos-modelos para representar simbolicamente os fatos ou coisas da realidade, chamados de referentes. Esses objetos-modelos são representações ideais dos referentes, uma vez que só representam características relevantes para as questões de pesquisa. Ao inserir um objeto-modelo em uma teoria geral, que são sistemas hipotéticos-dedutivos, uma nova classe de relações hipotético-dedutivas específicas daquele objeto-modelo é gerada, o chamado modelo teórico. Esse processo de modelagem descrito, é muito didaticamente sintetizado no que Brandão, Araujo e Veit (2010) chamam de Estrutura Conceitual de Referência da Modelagem Científica em Física (Figura 1).

Figura 1 – Estrutura Conceitual de Referência da Modelagem Científica em Física



Fonte: Brandão, Araujo e Veit (2010).

A partir da análise da Figura 1, percebe-se que a relação entre teoria e realidade não é direta. Sendo assim, o processo de modelagem desempenha uma função de ponte entre teoria e realidade, tendo em vista que muito ocorre entre a teoria geral e os referentes. Além disso, pode-se perceber que, sendo a modelagem científica um processo em que o cientista está ativamente construindo representações de porções da realidade, a bagagem cultural e técnica do cientista tem influência no processo. Assim como também a sua criatividade.

A modelagem científica é, portanto, uma atividade dinâmica, complexa e sistemática, que está no cerne do trabalho científico. Por esse motivo, não é possível pensar a ciência, ou mesmo ensiná-la, sem passar pela noção de modelos científicos e do processo de modelagem.

2.2 A IMPORTÂNCIA DA NOÇÃO DE MODELOS E DO PROCESSO DE MODELAGEM CIENTÍFICA NO ENSINO DE FÍSICA

Sendo o professor o sujeito que possui um maior domínio e experiência com o conteúdo de ensino, além de ter como papel coordenar, orientar e conduzir o processo educativo em sala de aula, é natural que o estudante “assimile” um pouco

da forma como o professor aborda as situações trabalhadas em sala. Como aponta Brandão, Araujo e Veit (2011, p. 531), “os esquemas de pensamento que os estudantes costumam evocar no contexto da sala de aula dependem fortemente das situações e do modo como os professores de Ciências costumam abordá-las.”. Então, partindo do pressuposto de que a natureza da Ciência e do processo científico são conteúdos de interesse na educação científica, convém expor apontamentos e considerações acerca de algumas estratégias didáticas e abordagens do ensino de Física, que impactam no desenvolvimento desses conteúdos por parte dos estudantes.

As estratégias didáticas referidas estão bastante presentes no ensino de Física no Brasil segundo Borges (2006) e Moreira (2021), e são aquelas pautadas na aprendizagem mecânica, na memorização de fatos e fórmulas para a resolução de provas e de exercícios de fim de capítulo. Além disso, como apontam Heidemann, Araujo e Veit (2016, p. 4):

O ensino de Física tem sido frequentemente pautado pela resolução de problemas acadêmicos que fazem referência exclusivamente a eventos e objetos já idealizados, nos quais são desprezados diversos aspectos da complexidade característica dos eventos reais. Com isso, o significado dos conhecimentos abordados nas aulas torna-se em grande parte, restrito para as situações enfrentadas dentro das paredes da sala de aula.

Brandão, Araujo e Veit (2008, p. 10) também tecem críticas nesse sentido, ao citarem “estratégias didáticas que em momento algum estabelecem uma conexão entre o mundo abstrato (ideal) e o mundo concreto (real)”. Dessa maneira, dois tipos de construções significativas podem estar sendo estimuladas nos estudantes: uma em que a Física estudada está separada da realidade de tal forma que é pouco útil para lidar com problemas reais; e outra ligada ao Realismo Ingênuo, o qual, segundo Medeiros, A. e Medeiros, C. (2011, p. 5):

[...] advoga que não somente a realidade existe independentemente da nossa cognição, mas que, também, as afirmações da ciência são descrições fiéis de como a realidade é. A posição do realismo ingênuo equivale assim a uma adesão total ao objetivismo, à preponderância do objeto sobre o sujeito cognoscente. Para o realismo ingênuo as afirmações da ciência têm o status de 'verdades inquestionáveis' sem qualquer mediação humana.

A posição aqui defendida é a de que ambas construções significativas são prejudiciais à aprendizagem em Física e à própria educação científica de maneira ampla. A primeira por consistir em um erro claro, que despreza a importância e utilidade da Física na compreensão da realidade e na ação sobre ela. A segunda por estimular uma visão dogmática de Ciência, que é incongruente com o processo de produção de conhecimento científico visto na seção anterior.

Essas estratégias didáticas mencionadas por Borges (2006), Moreira (2021), Brandão, Araujo e Veit (2008) estão presentes no ensino básico e no superior e promovem um ensino que não estimula o desenvolvimento do pensar científico, que não incentiva nos estudantes o desenvolvimento da compreensão de como ocorre o processo de construção do conhecimento nas Ciências. Algo indispensável em qualquer nível de ensino, sobretudo no ensino superior, uma vez que os estudantes são futuros profissionais da Ciência e/ou tecnologia.

Nesse sentido, diversos autores (MOREIRA, 2021; BORGES, 2006; BRANDÃO; ARAUJO; VEIT, 2008; BRANDÃO; ARAUJO; VEIT, 2011; SILVA; CATELLI, 2020; HEIDEMANN; CAMPOMANES; ARAUJO, 2021) defendem a incorporação da noção de modelos científicos e do processo de modelagem no ensino de Física, como forma de promoção de reflexões acerca da natureza da Ciência e do trabalho científico. Silva e Catelli (2020, p. 7), por exemplo, afirmam que “a promoção da modelização no ensino forneceria uma ideia de como os cientistas realizam suas descobertas e invenções, de como relacionam as teorias e as observações, de como relacionam os conceitos e as medidas.”. Da mesma forma, Brandão, Araujo e Veit (2008, p. 10) indicam que:

[A adoção de] estratégias didáticas baseadas na noção e no uso de modelos surgem como alternativas para a inserção de conteúdos de natureza epistemológica que, imbricados com conteúdos de física, propiciam aos alunos uma visão mais holística sobre a natureza e a construção do conhecimento científico.

Com isso, fica evidente a importância do ensino de Física estimular a compreensão de características fundamentais do processo de modelagem científica como a noção de modelos científicos como representações aproximadas da

realidade, criados pelos cientistas por meio de idealizações e aproximações das coisas e fenômenos concretos, construindo assim modelos que possuem um domínio de validade no qual seu grau de precisão é considerado adequado – uma vez que a compreensão dessas características é considerada fundamental para a construção de uma visão epistemológica de Ciência mais próxima da defendida por Mário Bunge. Segundo Cupani e Pietrocola (2002, p. 104):

A ciência implica para Bunge um realismo não ingênuo, mas crítico, segundo o qual a realidade não é sempre, nem simplesmente tal, como parece aos nossos sentidos. O conhecimento perceptivo é deficiente “e deve ser enriquecido pelo conhecimento conceptual, particularmente o teórico”.

Essa visão de Bunge acerca da natureza da Ciência pode ser classificada como um Realismo Crítico, na medida em que assume a existência de uma realidade além da nossa cognoscibilidade, mas considera que a nossa percepção não é suficiente para determinar com segurança o que está contido na realidade. Assume-se então que existem aspectos da realidade que estão além de nossa percepção e por esse motivo o processo de apreensão da realidade passa por uma ação ativa, criativa de construção conceitual empreendida pelos cientistas.

Tendo sido apresentada a visão de modelos científicos adotada na pesquisa, e discutida a importância da noção de modelos no ensino de física, principalmente a nível superior, o texto segue com a apresentação do modelo de gás ideal, que é o modelo mais simples, que descreve o estado físico mais simples da matéria e que está presente em toda disciplina de qualquer curso de nível superior que trate da Termodinâmica. Logo após são apresentados dois modelos de gás real, que descrevem melhor qualitativamente e quantitativamente os sistemas gasosos reais.

2.3 O MODELO DE GÁS IDEAL

Na Termodinâmica da Física básica, os gases aparecem como o principal sistema que serve de objeto de estudo. Isso ocorre pela sua simplicidade em comparação com os outros sistemas físicos como sólidos e líquidos, que apresentam maior grau de complexidade, em função da interação existente entre as

moléculas constituintes do sistema. Em um sistema gasoso, essas interações são mais fracas. Isso torna as equações matemáticas que descrevem o sistema mais simples – o que facilita o estudo.

A respeito dessas equações matemáticas, sabe-se que o estado termodinâmico de um gás pode ser descrito por quatro grandezas: pressão, volume, temperatura e a quantidade de gás (NUSSENZVEIG, 2002). Uma equação que expresse uma dessas grandezas em função das outras três é chamada de equação de estado do sistema. A equação de estado mais simples e também a primeira a ser desenvolvida, é a Lei dos Gases Ideais ou Equação de Clausius-Clapeyron.

Historicamente, essa equação foi desenvolvida pela primeira vez por Benoît Émile Clapeyron em 1834 combinando os resultados empíricos descritos pela lei de Boyle-Mariotte e a lei de Charles. Posteriormente a equação foi deduzida através da teoria cinética dos gases, primeiro por August Krönig em 1856 e em seguida, por Rudolf Clausius em 1857 (LIMA, 2015).

Em livros de Física Básica como o Tipler e Mosca (2010), Nussenzveig (2002) e Sears *et al.* (2008) a dedução da lei dos gases ideais apresentada é aquela em que são combinados resultados empíricos, como a lei de Avogadro e as já mencionadas lei de Boyle-Mariotte e lei de Charles. Esses livros apresentam a teoria cinética dos gases em um momento posterior à dedução da equação de Clausius-Clapeyron. Já alguns livros como o de Feynman, Leighton e Sands (2008) e o de Alonso e Finn (1968), deduzem a lei de gases ideais partindo da teoria cinética dos gases. Para os propósitos deste trabalho convém apenas discutir o modelo de gás ideal sob a ótica da teoria cinética dos gases, sem a necessidade de deduzir rigorosamente a lei dos gases ideais.

Do ponto de vista da teoria cinética dos gases – teoria que relaciona grandezas macroscópicas de um gás com grandezas microscópicas das partículas que o constituem – o modelo de gás ideal considera que um sistema gasoso é constituído por uma grande quantidade de partículas esféricas indivisíveis, de tamanho desprezível em comparação com as distâncias médias entre elas, que só interagem umas com as outras e com as paredes do recipiente que confinam o gás através de colisões elásticas. De maneira prática isso significa dizer que as forças intermoleculares de atração e repulsão são desprezadas, e o tamanho e complexidade das moléculas constituintes do gás só são consideradas em cálculos específicos, como o do livre percurso médio e da determinação das capacidades

caloríficas (NUSSENZVEIG, 2002). Essas idealizações produzem a Lei dos Gases Ideais, dada por:

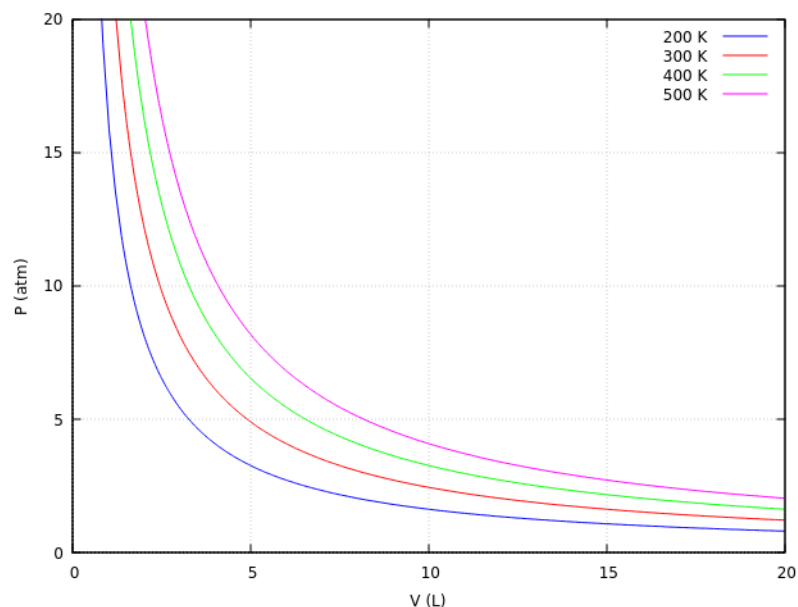
$$PV = NkT, \quad (1)$$

em que P é a pressão do gás, V o seu volume, N a quantidade de moléculas/átomos contidas no recipiente, k é a constante de Boltzmann e T é a temperatura do gás em uma escala absoluta. Outra forma de escrever essa equação é:

$$PV = nRT, \quad (2)$$

onde n é o número de mols de gás contidos no recipiente e R é a constante universal dos gases. Ao fixarmos uma quantidade de gás, é possível dispor as previsões da lei de gases ideais em um diagrama como o apresentado no Figura 2.

Figura 2 – Diagrama $P \times V$ de 1 mol de gás ideal para quatro valores de temperaturas



Fonte: O autor (2023).

O diagrama $P \times V$ é uma importante ferramenta no estudo de transformações gasosas. Através dele é possível verificar, por exemplo, se uma determinada transformação ocorre de maneira isobárica, isocórica ou isotérmica. Nesse caso, as curvas que aparecem nele são chamadas de isotermas, através delas pode-se observar (e prever) o que ocorre em transformações isotérmicas de gases.

Além disso, como comentado anteriormente que uma das idealizações do modelo de gás ideal é a de que as moléculas constituintes do gás não interagem entre si para além das colisões elásticas entre elas, essa idealização leva a desconsiderar a energia potencial das moléculas na expressão para a energia interna de um gás. A expressão então leva em conta apenas a energia cinética das moléculas.

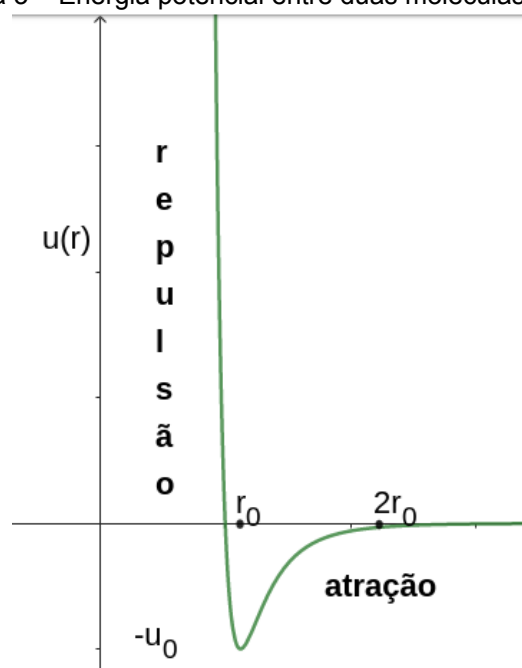
Enfim, esses são apenas alguns exemplos de como o modelo de gás ideal serve de objeto de estudo da termodinâmica básica, conduzindo os estudantes a mobilizar e desenvolver conhecimentos acerca das relações, grandezas e conceitos da termodinâmica, assim como também da própria estrutura da matéria.

2.4 MODELOS DE GASES REAIS

Como discutido, o modelo de gás ideal surge a partir de idealizações que consideram que os constituintes do gás interagem uns com os outros, e com as paredes do recipiente que contém o gás, apenas por meio de colisões elásticas. No entanto, é possível verificar que as moléculas dos gases reais interagem umas com as outras através de forças atrativas e repulsivas.

As forças atrativas são dominantes quando a distância entre as moléculas é muito maior que o diâmetro de qualquer uma delas. Já as forças repulsivas são dominantes a um curto alcance, quando a distância entre os centros das moléculas é tão pequena quanto a estimativa do “diâmetro” das moléculas (ATKINS; PAULA, 2008). Um modelo matemático do início do século XX, que é muito utilizado para estudar a região de interação eletrostática, é o do potencial de Lennard-Jones (Figura 3), que representa a relação da energia potencial com a distância na região de interação atrativa e repulsiva de duas moléculas similares.

Figura 3 – Energia potencial entre duas moléculas de gás



Fonte: O autor (2023).

Na Figura 3, r_0 é a distância entre os centros das moléculas quando a energia é um mínimo (SCHROEDER, 2000). Assim, na medida em que a separação entre as moléculas de um gás aumenta, a energia potencial existente entre elas se aproxima de zero. Como a pressão de um gás é diretamente proporcional à densidade de moléculas, quando o gás é submetido a baixas pressões, a energia potencial das moléculas pode ser desprezada e o comportamento do gás é próximo ao comportamento de um gás ideal. Já quando a pressão do gás é grande, as interações intermoleculares são relevantes e o modelo de gás ideal não descreve de maneira precisa o comportamento do gás. Uma maneira de medir esse desvio da idealidade, que os gases reais apresentam, se dá a partir do fator de compressibilidade.

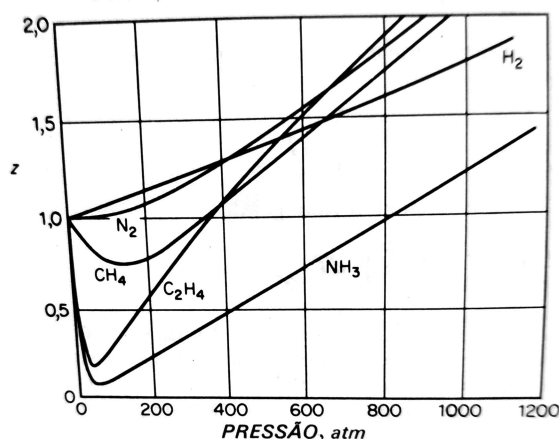
2.4.1 O fator de compressibilidade

O fator de compressibilidade (Z) é definido como a razão entre o volume molar do gás obtido experimentalmente (V_m^{exp}) e o volume molar do gás obtido do modelo ideal (V_m^{ideal}). Assim:

$$Z \equiv \frac{V_m^{exp}}{V_m^{ideal}} \quad (3)$$

Como ambos os volumes são funções de P e T, para obter Z calcula-se V_m^{ideal} através da equação (2) e V_m^{exp} é obtido experimentalmente submetendo o gás aos mesmos valores de P e T aplicados à equação (2). Naturalmente o fator de compressibilidade de um gás ideal é sempre igual a 1, então o desvio que os gases apresentam da unidade é uma medida do desvio do gás em relação ao comportamento ideal. A Figura 4 mostra valores experimentais do fator de compressibilidade de vários gases à temperatura 0 °C em função do aumento da pressão.

Figura 4 – Fator de compressibilidade de vários gases a 0 °C



Fonte: Moore (1976).

O fator de compressibilidade do NH₃ e do C₂H₄, visto na Figura 4, para altas pressões refere-se às substâncias já no estado líquido (MOORE, 1976). Dito isso, percebe-se que os gases que se liquefazem com maior facilidade apresentam uma queda mais brusca do fator Z. É especialmente para esses casos que o modelo ideal falha em prever o comportamento da substância com precisão.

A partir da análise da Figura 4 fica evidente também a influência das forças atrativas e repulsivas entre as moléculas. Uma vez que sendo o fator $Z > 1$ as forças repulsivas são dominantes e $Z < 1$ as forças atrativas são dominantes.

Sendo assim, diante de casos em que o modelo de gás ideal falha em prever e descrever o comportamento dos gases reais, novos modelos são desenvolvidos, levando em conta aspectos que o modelo ideal não leva, como as interações intermoleculares.

2.4.2 O Modelo de van der Waals

Um modelo que leva em conta de maneira aproximativa as interações entre as moléculas do gás foi proposto pelo físico holandês Johannes Diderik van der Waals, em 1873. As previsões desse modelo apresentam boa concordância quantitativa com os dados experimentais para situações em que o desvio da idealidade é moderado; quando o desvio é maior, o modelo fornece ao menos uma descrição qualitativa do que ocorre com o sistema (MOORE, 1976).

Van der Waals desenvolveu seu modelo realizando duas modificações no modelo ideal para considerar as forças atrativas e repulsivas entre as moléculas (NUSSENZVEIG, 2002). Como as forças repulsivas são de curto alcance, agindo quando as moléculas estão em “contato” (vide Figura 3), para considerá-las ele partiu da ideia de que as moléculas possuíam um volume não nulo, diferentemente do que aponta a lei dos gases ideais para situações extremas de pressões muito grandes e temperaturas muito pequenas. Então ele modificou a equação de Clausius-Clapeyron inserindo uma constante b , que consiste em um valor aproximado para o volume de uma molécula de determinada substância – quando as moléculas do gás estão em contato umas com as outras –, multiplicando-a pela quantidade de moléculas N e subtraindo essa quantidade do volume total do recipiente. Assim:

$$P(V - Nb) = NkT \quad (4)$$

Com essa correção, a equação (4) apresenta Nb como volume mínimo do gás, uma vez que é preciso pressão infinita para comprimir o gás para um valor inferior de volume.

Uma maneira de entender como van der Waals considerou as forças atrativas entre as moléculas, é pensar nas moléculas de um gás paradas, sem energia

cinética. Nesse caso, a única energia existente é a energia potencial resultado da atração entre as moléculas. Sendo injetado mais gás no recipiente, a energia potencial aumentaria, uma vez que teriam mais moléculas puxando umas às outras. Com isso, é fácil identificar que a energia potencial em uma única molécula do gás, depende da densidade do sistema, ou seja, de um fator N/V . Considerando as N moléculas do gás, a energia potencial do sistema é proporcional a um fator N^2/V (SCHROEDER, 2000). Adicionando uma constante de proporcionalidade a tem-se:

$$U = - \frac{aN^2}{V} \quad (5)$$

Se imaginarmos uma variação infinitesimal do volume do gás mantendo a entropia constante, podemos aplicar (5) na identidade termodinâmica $P = -(\partial U / \partial V)_S$ para encontrar a contribuição das forças atrativas entre as moléculas para a pressão do gás (SCHROEDER, 2000). Fazendo isso, obtemos:

$$P_{\text{devido a forças atrativas}} = - \frac{aN^2}{V^2} \quad (6)$$

Assim, isolando P na equação (4) e incluindo essa contribuição das forças atrativas para a pressão do gás mostrada na equação (6), obtém-se a equação de estado de van der Waals:

$$P = \frac{NkT}{V-Nb} - \frac{aN^2}{V^2}, \quad (7)$$

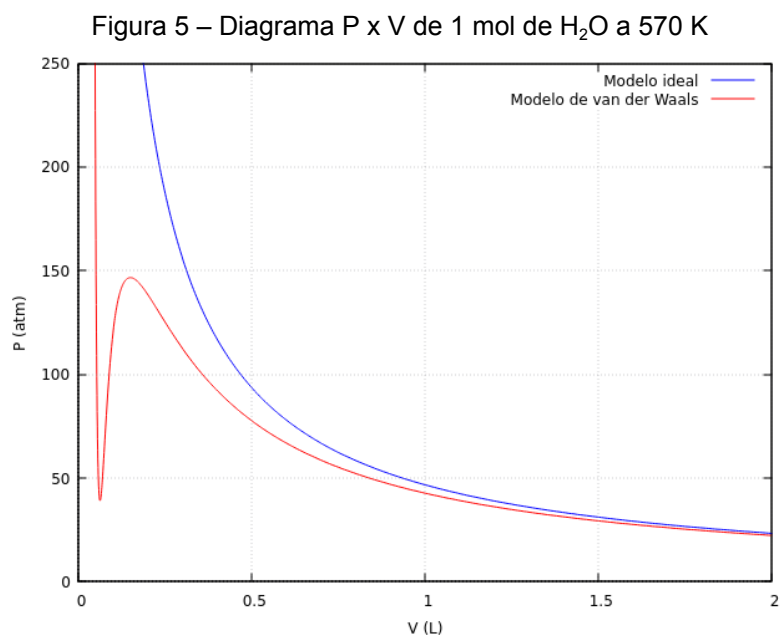
que pode ser reorganizada para uma forma mais parecida com a forma conhecida da lei dos gases ideais:

$$\left(P + \frac{aN^2}{V^2}\right)(V - Nb) = NkT, \quad (8)$$

onde a é uma constante positiva que tem relação com a energia de vaporização do líquido (CASTELLAN, 2015) e tanto a como b nas equações (7) e (8) são

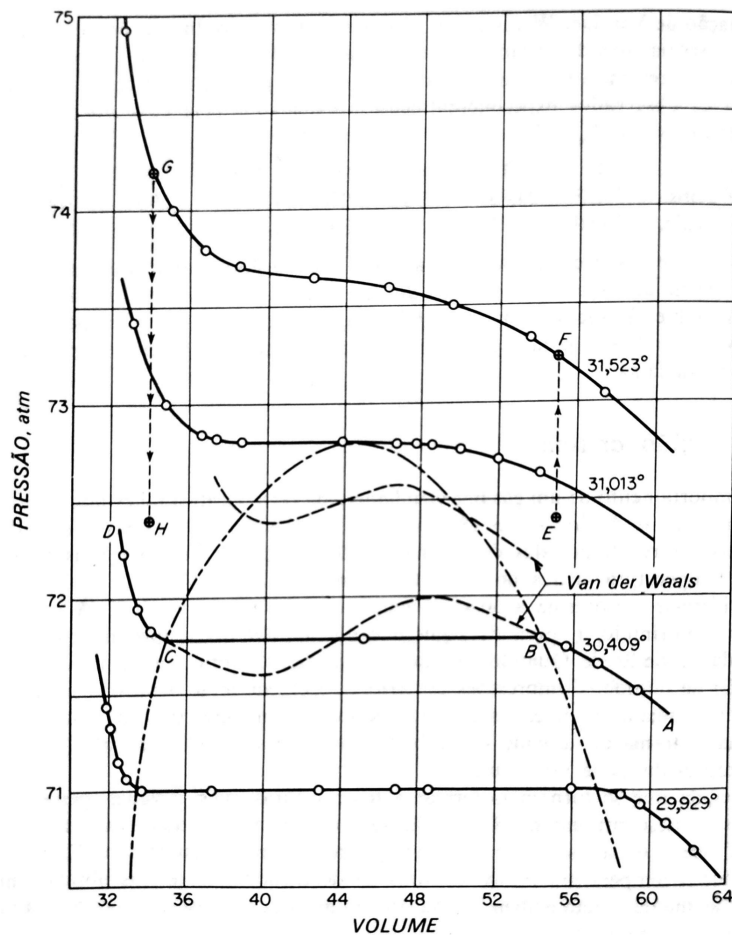
constantes, chamadas de constantes de van der Waals, que dependem do tipo do gás.

A Figura 5 apresenta uma comparação das previsões do modelo ideal e do modelo de van der Waals para 1 mol de H_2O .



Fonte: O autor (2023).

É possível perceber que para pequenos valores de pressão (seguindo as curvas da direita para a esquerda) os modelos apresentam certa concordância, como era de se esperar, mas para pressões mais elevadas os modelos discordam razoavelmente. Um fator que salta aos olhos ao observar a Figura 5 é a presença de máximos e mínimos na isoterma de van der Waals. Esse comportamento estranho ocorre porque o modelo foi construído para um gás homogêneo (SCHROEDER, 2000). Como na realidade o que ocorre com o aumento da pressão sobre um gás é o aparecimento de heterogeneidades, gerando inclusive o surgimento de duas fases da substância, então nessas condições o modelo de van der Waals não descreve precisamente o que ocorre com gases reais. No entanto, o próprio comportamento estranho fornece a informação qualitativa da existência de duas fases da substância, como pode-se ver na Figura 6, onde são apresentados isotermas de dióxido de carbono próximos ao ponto crítico (ponto em que independentemente do aumento da pressão não há diferenciação entre fases da substância).

Figura 6 – Isotermas do CO₂ próximas ao ponto crítico

Fonte: Moore (1976).

As linhas contínuas que aparecem na Figura 6 são isotermas experimentais do CO₂. Como pode-se perceber, o comportamento estranho das isotermas de van der Waals coincide com a compressão à pressão constante das isotermas experimentais. Além disso, a Figura 3 mostra uma certa concordância das isotermas de van der Waals com as isotermas experimentais nas condições em que o CO₂ já se encontra na forma líquida, indicando que o modelo pode ser adequado para descrever líquidos pouco densos.

3 METODOLOGIA

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA E JUSTIFICATIVA DA AMOSTRAGEM

A metodologia adotada para a pesquisa pode ser caracterizada como documental, uma vez que se trata da análise de documentos curriculares de disciplinas (FONSECA, 2002); de abordagem quantitativa, por se tratar de informações que são quantificadas na pesquisa (FONSECA, 2002); com objetivo descritivo, tendo em vista que se propõe a descrever uma realidade circunscrita (TRIVIÑOS, 1987).

Segundo o Censo da Educação Superior de 2020 (INEP, 2022) o Brasil possui um total de 360 cursos de graduação em Física (licenciatura e bacharelado) incluindo cursos de instituições públicas e privadas, além de cursos ofertados na modalidade de ensino à distância (EaD). Diante do fato de que o tempo necessário para analisar documentos curriculares de disciplinas de todos os cursos seria muito grande, optou-se por restringir o número de cursos a serem analisados. Nesse processo de filtragem dos cursos, buscou-se uma amostragem que fornecesse um recorte relevante da realidade brasileira, no que diz respeito ao objeto de interesse da pesquisa.

O caminho encontrado para realizar a seleção dos cursos foi segmentá-los por unidades federativas e basear a escolha das unidades em dois critérios. O primeiro critério sendo o da quantidade de cursos, e o segundo, a relevância no cenário da pesquisa em Física e ensino de Física no país. Sendo assim, a seleção dos cursos que serviram de objeto de análise foi obtida do cruzamento das 10 unidades federativas que possuem o maior quantitativo de cursos de Física (licenciatura e bacharelado) do país, e das que possuem as 20 instituições que mais produzem trabalhos acadêmicos em Física e Astronomia, obtida do levantamento realizado por Schulz (2021).

O Censo da Educação Superior de 2020 (INEP, 2022) apresenta os seguintes estados brasileiros com o maior quantitativo de cursos de Física: São Paulo, Minas Gerais, Paraná, Rio Grande do Sul, Rio de Janeiro, Ceará, Bahia, Piauí, Santa Catarina e Pernambuco. O levantamento de Schulz (2021) apresenta as seguintes unidades federativas como aquelas em que estão localizadas as instituições que mais produzem em Física e Astronomia: São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro,

Rio Grande do Sul, Paraná, Distrito Federal, Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte. A combinação das informações resulta portanto em 13 unidades federativas: SP, MG, RJ, RS, PR, DF, PB, PE, RN, CE, PI, SC e BA. Totalizando 220 cursos de graduação em Física, o que corresponde a 61,11% da totalidade de cursos de Física do país.

Em um primeiro momento, foi estabelecida a meta de análise de documentos curriculares de disciplinas de todos os 220 cursos. No entanto, ao iniciar a busca pelos documentos, verificou-se uma dificuldade de acesso a eles provenientes de instituições privadas e de cursos na modalidade EaD. Por esse motivo, foi realizada uma nova amostragem excluindo esses cursos. Fixou-se então como amostragem de estudo os cursos presenciais de instituições públicas das 13 unidades federativas mencionadas. O que resultou em 198 cursos, 55% do total.

A respeito da escolha das disciplinas para análise dos documentos curriculares, como o objetivo é investigar a presença de modelos de gás real no ensino de disciplinas do ciclo básico, buscou-se as disciplinas obrigatórias que primeiro abordam a Termodinâmica, por ser a área de estudo em que o estudo dos gases está inserido. Convém ressaltar, no entanto, que alguns cursos possuem disciplinas introdutórias de Física que abordam o conteúdo a nível de ensino médio, sem o uso do cálculo diferencial e integral. Há também cursos que possuem disciplinas que abordam a Física em nível conceitual. Essas disciplinas introdutórias e conceituais, mesmo que sejam obrigatórias de acordo com o projeto pedagógico de seus cursos, não foram alvos da análise realizada nesta pesquisa. Nosso interesse repousou nas disciplinas do que pode-se classificar como o ciclo básico da Física, que são disciplinas que fazem uma primeira abordagem da Física com o uso do cálculo diferencial e integral.

3.2 PROCEDIMENTO DE COLETA DAS INFORMAÇÕES DOS DOCUMENTOS CURRICULARES

O procedimento para a realização da coleta das informações dos documentos curriculares iniciou com o acesso à plataforma e-MEC (MEC, 2022) para consulta das instituições públicas de ensino superior de cada unidade federativa. Em seguida foram acessados os sites das instituições, uma por uma, verificada a oferta do curso de graduação em Física e então realizada a busca pelo Projeto Político-Pedagógico

do curso. Seguindo com a análise da estrutura curricular do curso, a fim de identificar a disciplina de interesse, e a busca pelo documento curricular da disciplina. De posse do documento, foi verificado se tratava-se do programa curricular, que detalha os conteúdos programáticos para a disciplina, ou apenas da ementa, que apresenta de maneira muito sintetizada os conteúdos a serem apresentados na disciplina. Após isso, procedeu-se com a busca das seguintes informações no documento:

- Nome da disciplina;
- Período em que é ofertada;
- Carga horária da disciplina;
- Porcentagem da carga horária estimada para Termodinâmica;
- Há citação direta a gases reais (ou Equação de van der Waals)?;
- Bibliografia Básica e Complementar.

As informações foram incluídas em uma planilha com os complementos: instituição, região (do país) e tipo de curso. Foi então realizado o *download* do documento curricular e o seu arquivamento para consulta futura, em caso de eventual necessidade. Repetiu-se esse mesmo procedimento para cada documento curricular encontrado. Um *print* de parte da planilha pode ser visto na Figura 7 e *links* para acesso da planilha e dos documentos curriculares estão presentes no APÊNDICE A.

Figura 7 – Planilha para análise dos documentos curriculares

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Instituição	Região	Tipo do curso	Nome da disciplina	Período (°)	A disciplina é	Carga horária da disciplina (h)	Porcentagem estimada para a Teoria Cinética dos Gases (TCG) e Termodinâmica	Há citação direta a gases reais (ou Equação de van der Waals?)
2	UFPE - CAA (UF)	PE (NE)	Licenciatura	Fundamentos de Física III	4	Obrigatória	60	50	Sim
3	UFPE (UF)	PE (NE)	Licenciatura	Física L2	3	Obrigatória	60	33	Não
4	UFPE (UF)	PE (NE)	Bacharelado	Física Geral 2	2	Obrigatória	60	37	Sim
5	IFPE (IF)	PE (NE)	Licenciatura	Termodinâmica	5	Obrigatória	72	100	Não
6	IF SERTÃO-PE (Petrobrás) (IF)	PE (NE)	Licenciatura	Fundamentos de Física 2	3	Obrigatória	60	40	Não
7	IF SERTÃO-PE (Salgueiro) (IF)	PE (NE)	Licenciatura	Física Geral III	4	Obrigatória	90	55	Não
8	IF SERTÃO-PE (Serra Talhada) (IF)	PE (NE)	Licenciatura	Física Geral III	4	Obrigatória	60	75	Não
9	IFBA (IF)	BA (NE)	Licenciatura	Física Clássica da Matéria e da Luz	2	Obrigatória	90	59	Sim

Fonte: O autor (2023).

Convém salientar que os dados relativos à bibliografia básica e complementar das disciplinas não foram utilizados nesta pesquisa, mas servirão para trabalhos futuros. O texto segue com os resultados do tratamento dessas informações coletadas dos documentos curriculares e a consequente discussão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estrutura adotada para comunicar e discutir os resultados da pesquisa parte das informações mais abrangentes para as mais específicas. Inicia-se com informações como o número de documentos curriculares por unidade federativa, por tipo de curso e por tipo de documento, seguindo com o quantitativo de disciplinas por período, encerrando com as informações relativas à menção de gases reais nos documentos curriculares.

Como comentado na seção anterior, foram selecionados 198 cursos de graduação em Física para terem o documento curricular de uma de suas disciplinas analisado. Dessa forma, foi adotada a meta de analisar 198 documentos curriculares. Desse quantitativo, foi possível encontrar 165 deles, sendo 75 programas curriculares e 90 ementas. A Tabela 1 apresenta a quantidade de documentos curriculares encontrados, discriminado por unidade federativa, tipo de curso e tipo de documento.

Tabela 1 – Número de documentos curriculares encontrados

Unidade Federativa	Tipo de Curso	Meta	Encontrados	Programa Curricular	Ementa
MG	Bacharelado	7	6	3	3
	Licenciatura	20	19	7	12
SP	Bacharelado	10	6	4	2
	Licenciatura	24	18	13	5
RJ	Bacharelado	6	4	2	2
	Licenciatura	11	11	5	6
CE	Bacharelado	2	2	2	0
	Licenciatura	18	13	10	3
BA	Bacharelado	5	5	1	4
	Licenciatura	10	10	3	7
PR	Bacharelado	4	4	0	4
	Licenciatura	15	10	0	10
RS	Bacharelado	4	4	3	1
	Licenciatura	10	10	6	4
PI	Bacharelado	1	1	1	0
	Licenciatura	11	10	2	8
PB	Bacharelado	2	2	1	1
	Licenciatura	8	7	3	4
SC	Bacharelado	1	1	1	0
	Licenciatura	8	8	1	7

PE	Bacharelado	1	1	1	0
	Licenciatura	8	6	2	4
RN	Bacharelado	1	1	0	1
	Licenciatura	8	3	1	2
DF	Bacharelado	1	1	1	0
	Licenciatura	2	2	2	0

Fonte: O autor (2023).

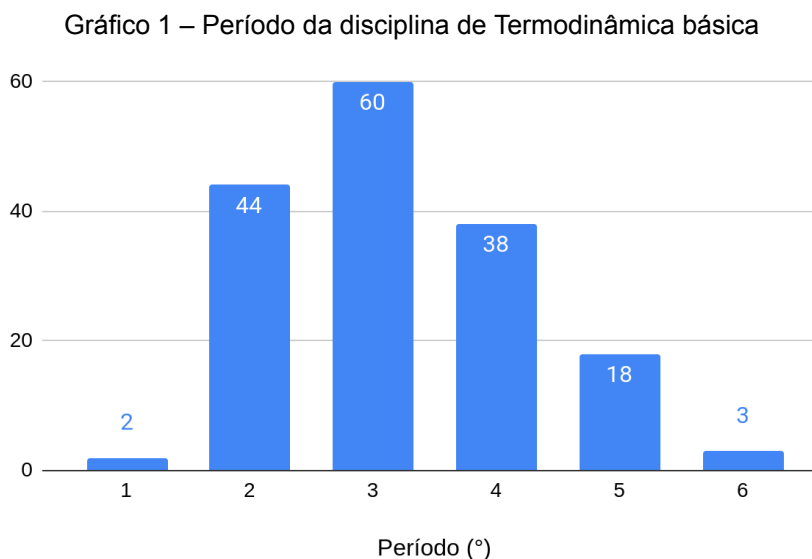
Como pode ser visto na Tabela 1, dos 165 documentos curriculares encontrados, 127 são de cursos de licenciatura e 38 de bacharelado. Essa diferença entre o quantitativo de cursos de licenciatura e bacharelado é natural e esperada, uma vez que a demanda social por cursos de formação de professores é maior que a de formação de cientistas.

Acerca do número de documentos curriculares por região do país, o sudeste é a região com o maior número de documentos encontrados, 64 do total, seguido da região nordeste com 61, a região sul com 37 e a centro-oeste com apenas 3. No entanto, como comentado anteriormente, apenas 75 dos 165 documentos encontrados eram programas curriculares, os quais apresentam de maneira detalhada todos os conteúdos que devem ser apresentados na disciplina. Sendo assim, dado que os objetivos da pesquisa dizem respeito a identificar a presença de um conteúdo específico no documento curricular, a análise de ementas não é suficiente para atingir os objetivos da pesquisa. Por isso, apenas os programas curriculares foram alvos da pesquisa no que diz respeito à identificação de menção a gases reais no documento curricular.

Dos 75 programas curriculares, 34 são provenientes da região sudeste, 27 da região nordeste, 11 da região sul e 3 da região centro-oeste. Como pode ser observado, essa distribuição segue basicamente o mesmo padrão de distribuição dos 165 documentos curriculares encontrados, isso indica que a distribuição dos 75 programas curriculares por unidade federativa reflete os dois critérios adotados no processo de filtragem dos cursos. Mas além disso, excluir os cursos que apenas apresentaram ementas como documentos curriculares da análise central da pesquisa, que é a identificação de menção a gases reais no documento curricular, configura-se como um segundo filtro. Nesse caso, um filtro que seleciona os cursos mais “transparentes” no que diz respeito à disponibilização de documentos curriculares detalhados das disciplinas ofertadas no curso, como é o caso do

programa curricular. Nesse sentido, a análise de menção a gases reais nos documentos curriculares foi realizada entre os cursos que resultaram da filtragem seguindo os dois critérios estabelecidos na seção 3.1 do texto e o critério de “transparência” aqui explicado e revelado pelo tipo de documento curricular disponibilizado. Acredita-se que essa amostragem fornece um recorte representativo e relevante da realidade nacional.

No que diz respeito ao âmbito da estrutura dos cursos, o Gráfico 1 apresenta o período em que consta, na matriz curricular dos cursos, a disciplina que aborda a termodinâmica em nível de Física básica. Como essa informação foi obtida analisando o PPC dos cursos, para essa análise foram considerados os 165 cursos que tiveram documentos curriculares encontrados.



Fonte: O autor (2023).

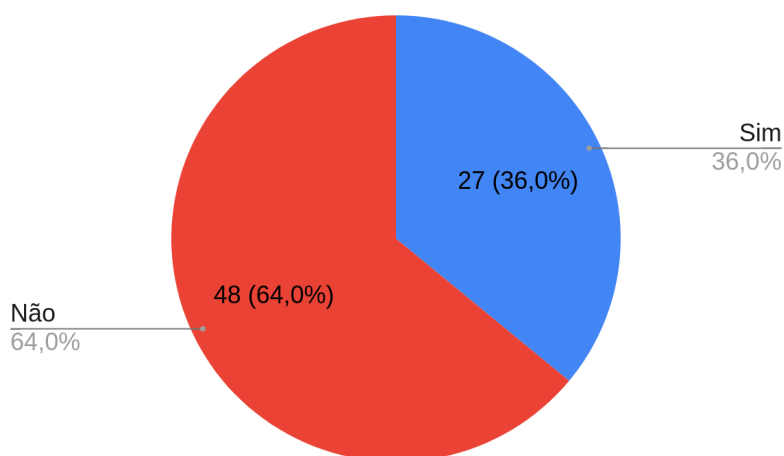
Conforme o Gráfico 1 indica, a imensa maioria dos cursos estruturam sua matriz curricular de modo a situar a disciplina responsável pela Termodinâmica básica na primeira metade do curso. Mais especificamente entre o segundo e o quarto períodos. Esse é um resultado esperado, uma vez que a sequência tradicional de abordagem da Física básica passa pela mecânica newtoniana, oscilações e ondas, antes de chegar a Termodinâmica.

Dentro dessa sequência de conteúdos tradicionalmente seguida no ensino da Física básica, é com a Termodinâmica que se iniciam as discussões acerca da estrutura da matéria, e onde se estabelecem relações entre grandezas macroscópicas e microscópicas, como ocorre com a energia interna de um sistema e

com a visão estatística dos conceitos de temperatura e pressão. Discussões em que o estudo dos gases ocupa um papel central. Sendo assim um conteúdo que possui muitas potencialidades em termos de aprendizagem de conhecimentos físicos e de desenvolvimento da visão de Ciência do estudante. Entendemos que uma dessas potencialidades reside na abordagem de modelos de gás real e tivemos como hipótese que essa potencialidade não é bem explorada pela maior parte dos cursos de Física do país.

Nesse sentido, o Gráfico 2 apresenta os resultados acerca do número de documentos curriculares que fazem menção direta a gases reais. É importante ressaltar que a presença do conteúdo no programa curricular não garante o ensino dele. Da mesma maneira, um professor pode decidir ensinar um conteúdo específico que não esteja no programa da disciplina. No entanto, entendemos que esses são casos pontuais que fogem à regra, uma vez que sendo o programa curricular o documento oficial da disciplina, a conduta natural do professor é a de tentar ao menos dar conta dos conteúdos programáticos nele contidos. Assumimos também como mais provável eventuais não abordagens de conteúdos presentes no programa, do que ensinamentos de conteúdos para além dos contidos nele.

Gráfico 2 – Há citação direta a gases reais no programa curricular?

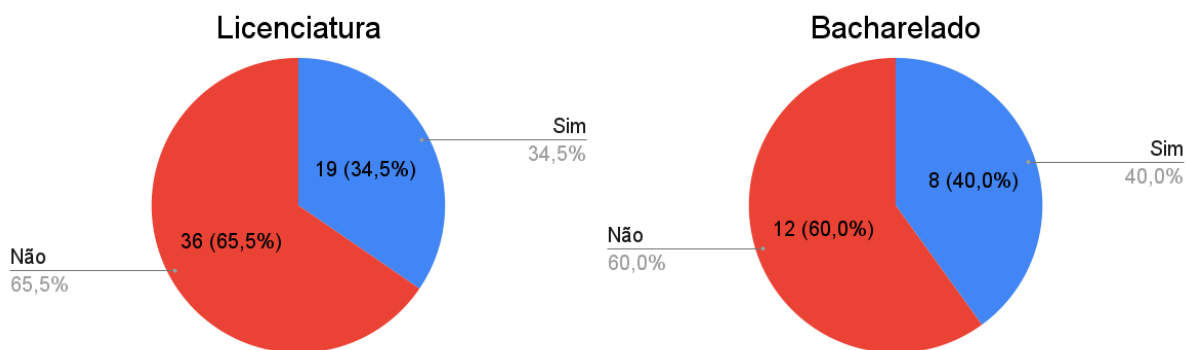


Fonte: O autor (2023).

O gráfico 2 fornece sólidos indícios de que, de fato, modelos de gás real não são explorados na Física básica, tendo em vista que 64,0% dos cursos de Física não os estabelecem como conteúdo programático da disciplina de Termodinâmica

básica. Inclusive, isso se mantém independente do tipo de curso, como mostram os dados da Figura 8.

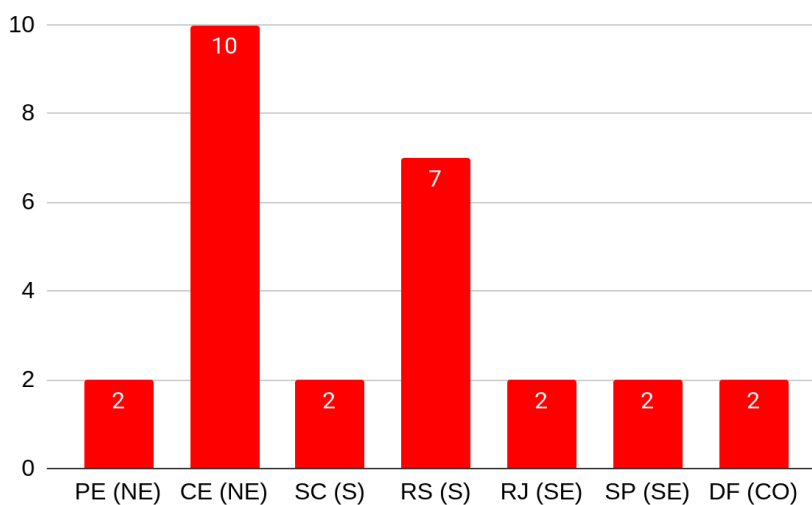
Figura 8 – Comparação entre tipos de curso quanto à menção a gases reais



Fonte: O autor (2023).

Como é possível observar, não há diferença significativa entre bacharelados e licenciaturas no que diz respeito à abordagem de gases reais na Física básica.

Gráfico 3 – Número de programas curriculares que fazem menção a Gases Reais



Fonte: O autor (2023).

A comparação do gráfico do Gráfico 3 com os dados da Tabela 1 mostra que apenas 7 das 12 unidades federativas que fizeram parte do estudo (levando em conta que os documentos curriculares do PR eram todos ementas, os cursos da unidade federativa não foram alvo desta análise) possuem cursos que determinam o ensino de modelos de gases reais na Física básica. Os 5 estados que não estão inclusos são MG, PB, PI, BA e RN. No entanto, essa informação não é tão relevante,

uma vez que como os números apontam para a não menção a gases reais como sendo a realidade mais comum. O importante é observar que das 7 unidades federativas que apresentam programas curriculares com menção a gases reais, 2 delas apresentam poucos programas em comparação com o total de programas curriculares da UF. No RJ são 2 de 7 programas e em SP são 2 de 17 programas. Isso aponta para um número pequeno de unidades federativas responsáveis pela maior fração de programas curriculares que fazem menção a gases reais.

As unidades federativas que aparecem em destaque no Gráfico 3 como as que possuem o maior número de cursos que abordam os gases reais no ensino de Física básica, Ceará e Rio Grande do Sul, juntos, são responsáveis por 17 dos 27 cursos que abordam gases reais na amostragem selecionada. O que significa aproximadamente 63% dos cursos. Por esse motivo, merecem um olhar mais destrinchado. No caso do Ceará, 10 dos 12 cursos analisados apresentaram gases reais na ementa. E desses, 2 cursos são da Universidade Estadual do Ceará, 1 bacharelado e 1 licenciatura; e 8 são de campus diferentes do Instituto Federal do Ceará, todos licenciatura. No caso do Rio Grande do Sul, 7 dos 9 cursos analisados apresentaram gases reais na ementa. E desses, 3 são da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2 licenciaturas e 1 bacharelado; 3 são da Universidade Federal de Santa Maria, 2 licenciaturas e 1 bacharelado; e 1 é do Instituto Federal do Rio Grande do Sul, 1 licenciatura. Então, em resumo, 63% dos programas curriculares que fazem menção a gases reais são provenientes de 5 instituições de ensino superior. Isso ressalta ainda mais a falta de menção a gases reais na maior parte dos cursos de Física do país, indicando que a realidade mais comum do ensino de Termodinâmica básica é a apresentação apenas do modelo de gás ideal.

5 CONCLUSÃO

Diante do dado apresentado na seção anterior, de que apenas 75 dos 165 cursos que foram alvo da pesquisa disponibilizaram o programa curricular e não apenas a ementa, o que representa menos da metade da totalidade de cursos da amostragem selecionada, entendemos que a disponibilização de um documento curricular detalhado para cada disciplina do curso não é um hábito majoritário dos cursos de Física do país. Nesse sentido, pensamos ser válida a reflexão acerca da disponibilização desses documentos curriculares de maneira mais efetiva, uma vez que essa disponibilização proporciona, dentre outras possibilidades, estudos como esse, que visam a melhora do ensino de Física de nível superior nas instituições de ensino do país

Tendo como base as discussões apresentadas nas seções 2.2, 2.3 e 2.4 do presente texto, entendemos que a mobilização de discussões teóricas acerca da limitação do modelo de gás ideal e da existência de modelos de gás real, como o modelo de van der Waals, são importantes para a formação do estudante de Física básica. Essa importância se justifica em termos de conceitos, por possibilitar discussões mais profundas, por exemplo, acerca de como as forças entre as moléculas do sistema afetam o comportamento macroscópico dele. Mas além disso, também se justifica em termos do desenvolvimento de uma visão da natureza da Ciência e do trabalho científico, mais alinhado ao realismo crítico. Uma vez que, ao discutir a própria noção de modelos científicos, assim como os limites deles e aspectos do processo de modelagem científica, no âmbito dos modelos de sistemas gasosos, propicia condições favoráveis à construções significativas, por parte dos estudantes, que favorecem o desenvolvimento de visões de Ciência mais alinhadas ao realismo crítico.

Do resultado obtido da análise dos 75 programas curriculares de disciplinas de Termodinâmica básica, de cursos de graduação em Física de 12 unidades federativas do Brasil, verificou-se que a maior parte dos cursos não mencionam gases reais nas ementas de suas disciplinas de Termodinâmica básica. O que consideramos ser prejudicial, na medida em que não mencionando a existência de modelos de gás real, pode-se acabar estimulando o entendimento do modelo de gás ideal como o único desenvolvido, e portanto, aplicável a todos os sistemas gasosos reais. Além de que, consideramos que a não menção a gases reais durante a Física

básica constitui uma perda de oportunidade de mobilizar reflexões importantes na formação dos estudantes de Física. Nesse sentido, consideramos ser importante e relevante que os professores dos cursos de Física reflitam sobre a necessidade de reformulação dos documentos curriculares de modo a fazerem menção a modelos de gases reais no ensino da Termodinâmica básica.

REFERÊNCIAS

- ALONSO, M.; FINN, E. J. **Fundamental University Physics: Quantum and Statistical Physics**. [S.l.]: Addison-Wesley, ed. 1, v.3, 1968.
- ATKINS, P. W.; DE PAULA, J. **Físico-química**. Rio de Janeiro: LTC, ed. 8, v. 1, 2008.
- BORGES, O. Formação inicial de professores de Física: Formar mais! Formar Melhor!. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 2, p. 135-142, 2006.
- BRANDÃO, R. V.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. A modelagem científica de fenômenos físicos e o ensino de física. **Física na Escola**, v. 9, n. 1, 2008.
- BRANDÃO, R. V.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. Concepções e dificuldades de professores de física no campo conceitual da modelagem científica. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, Vigo, v. 9, n. 3, p. 669-695, dez. 2010.
- BRANDÃO, R. V.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. A Modelagem Científica vista como um Campo Conceitual. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 3: p. 507-545, dez. 2011.
- CASTELLAN, G. W. **Fundamentos de físico-química**. 1.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015. [reimpr.]. xx, 527 p. ISBN 9788521604891.
- CUPANI, A.; PIETROCOLA, M. A relevância da epistemologia de Mario Bunge para o Ensino de Ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, número especial: p. 100-125, jun. 2002.
- FEYNMAN, R. P.; LEIGHTON, R. B.; SANDS, M. **Lições de Física**. Porto Alegre: Bookman, ed. 1, v. 1, 2008.
- FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Ceará: 2002. 127 p. Apostila digital. Disponível em: <http://www.ia.ufrj.br/ppgea/conteudo/conteudo-2012-1/1SF/Sandra/apostilaMetodologia.pdf>. Acesso em: 20 out. 2022.
- HEIDEMANN, L. A.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. Modelagem Didático-científica: integrando atividades experimentais e o processo de modelagem científica no ensino de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 33, n. 1, p. 3, 25 abr. 2016.
- HEIDEMANN, L. A.; CAMPOMANES, R. R.; ARAUJO, I. S. A contrastação empírica de um modelo teórico sobre o movimento de corpos com massa variável como forma de promover discussões epistemológicas em aulas de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, 2021.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA. Sinopse Estatística da Educação Superior 2020. Brasília: Inep, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/inep/pt-br/acesso-a-informacao/dados-abertos/sinopses-estatisticas/educacao-superior-graduacao>. Acesso em: 20 out. 2022.

LIMA, L. S. Lei dos gases ideais. **Revista de Ciência Elementar**, [S. l.], v. 3, n. 1, 2015. Disponível em: <https://rce.casadasciencias.org/rceapp/art/2015/095/>. Acesso em: 5 abr. 2023.

MEDEIROS, A.; MEDEIROS, C. Questões epistemológicas nas iconicidades de representações visuais em livros didáticos de física. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, [S. l.], v. 1, n. 1, 2011. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4188>. Acesso em: 21 mar. 2023.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO (MEC). e-MEC, 2022. Cadastro Nacional de Cursos e Instituições de Educação Superior. Disponível em: <https://emec.mec.gov.br/>. Acesso em: 26 out. 2022.

MOORE, W. J. **Físico-química**. São Paulo: Edgard Blucher, 1976. v. 1. ISBN 9788521200130.

MOREIRA, M. A. Desafios no ensino de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, suppl. 1, 2021.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de física básica**. São Paulo: Edgard Blücher, ed. 4, v. 2, 2002.

SCHROEDER, D. V. **Introduction to thermal physics**. [S.l.]: Addison-Wesley Longman, 2000.

SCHULZ, P. A. **Números da Física no Brasil 2020**. São Paulo, jun. 2021. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/arquivos/Numeros-da-Fisica-Brasil-2020.pdf>. Acesso em: 26 out. 2022.

SEARS, F. W.; ZEMANSKY, M. W.; YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física II: termodinâmica e ondas**. 12. ed. São Paulo: A. Wesley, ed. 12, 2008. xix, 329 p.

SILVA, F. S.; CATELLI, F. Os modelos na ciência: traços da evolução histórico-epistemológica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 41, n. 4, 2019.

SILVA, F. S.; CATELLI, F. Os modelos no Ensino de Ciências: Reações de estudantes ao utilizar um objeto-modelo mecânico concreto analógico didático (OMMCAD). **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 42, 2020.

TIPLER, P. A.; MOSCA, G. **Física para cientistas e engenheiros**. v. 1, ed. 6, Rio de Janeiro: LTC, 2010 [Reimpr.]. ISBN 9788521617105.

TRIVIÑOS, A. N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação**. São Paulo: Atlas, 1987.

APÊNDICE A – ACESSO AOS DADOS DA PESQUISA

Link de acesso à planilha com os dados das ementas analisadas:

<https://encurtador.com.br/mLQV6>

Link de acesso à pasta contendo as ementas analisadas:

<https://encurtador.com.br/dsxEl>