

## A DEFINIÇÃO DE ENERGIA INTERNA E O ENUNCIADO DA PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA NOS LIVROS DIDÁTICOS

---

### LA DEFINICIÓN DE ENERGÍA INTERNA Y EL ENUNCIADO DE LA PRIMERA LEY DE LA TERMODINÁMICA EN LOS LIBROS DIDÁCTICOS

**Jornandes Jesús Correia**

Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB

**Wanderson Costa Oliveira**

Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB

#### **Resumo**

Este trabalho tem como objetivo investigar em livros didáticos de Física tanto as definições de Energia Interna de um Sistema quanto o enunciado da Primeira Lei da Termodinâmica e comparar com as definições cientificamente aceita, tanto do ponto de vista da Termodinâmica Clássica, quanto da Mecânica Estatística, bem como destacar os aspectos que contribuem ou que prejudicam a aprendizagem dos princípios da Termodinâmica. Visa analisar também se a definição de Energia Interna em cada fonte didática obedece à Lógica Aristotélica, considerando a formação do estudante de ensino médio defendida pelos Parâmetros Curriculares Nacionais, bem como na Formação do Espírito Científico descrito por Gaston Bachelard. Foram analisadas 42 fontes didáticas e observou-se que a maioria das obras de nível médio não diferencia a Primeira Lei da Termodinâmica do Princípio de Conservação da Energia e que buscam preferencialmente definir a Energia Interna com base na Teoria Cinética. Já os livros de nível superior são os que abordam de forma mais clara, mesmo apresentando um tratamento matemático transcendente.

# A DEFINIÇÃO DE ENERGIA INTERNA E O ENUNCIADO DA PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA NOS LIVROS DIDÁTICOS

**Palavras-Chave:** Livros didáticos. Definição de Energia Interna. Primeira Lei da Termodinâmica. Obstáculos epistemológicos.

## Resumen

Este trabajo tiene como objetivo investigar en libros didáticos de Física tanto las definiciones de Energía Interna de un Sistema como el enunciado de la Primera Ley de la Termodinámica y comparar con las definiciones científicamente aceptada tanto desde el punto de vista de la Termodinámica Clásica como de la Mecánica Estadística, así como destacar los aspectos que contribuyen o que perjudican el aprendizaje de los principios de la Termodinámica. El objetivo de este trabajo es analizar la relación entre la calidad de la información y la calidad de la información. Se analizaron 42 fuentes didácticas y se observó que la mayoría de las obras de nivel medio no diferencian la Primera Ley de la Termodinámica del Principio de Conservación de la Energía y que buscan preferentemente definir la Energía Interna con base en la Teoría Cinética. Los libros de nivel superior son los que abordan de forma más clara, incluso presentando un tratamiento matemático trascendente.

**Palabras Clave:** Libros didáticos. Definición de Energía Interna. Primera Ley de la Termodinámica. Obstáculos epistemológicos.

## 1 Introdução

Energia é uma das grandezas da Física que mais nos desafia para defini-la. É notável como uma grandeza tão presente no cotidiano e tão inseparável da linguagem humana, apresente uma complexidade de significado ainda não superada pela Física, mesmo depois das elaborações conceituais que impulsionaram as grandes transformações nos últimos tempos. Mas, com base na análise dos sistemas físicos ao longo de toda história, que concebeu a Física até a atualidade, pode-se postular que há uma grandeza nos sistemas isolados que pode assumir diferentes formas, mas sempre é conservada. Feynman argumenta em suas lições:

Existe um fato, ou se você preferir, uma *lei* que governa todos os fenômenos naturais que são conhecidos até hoje. Não se conhece nenhuma exceção a essa lei – ela é exata até onde sabemos. A lei é chamada de *conservação da energia*.

## A DEFINIÇÃO DE ENERGIA INTERNA E O ENUNCIADO DA PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA NOS LIVROS DIDÁTICOS

Nela enuncia-se que existe uma certa quantidade, que chamamos de energia, que não muda nas múltiplas modificações pelas quais a natureza passa. Essa é uma ideia muito abstrata, por que é um princípio matemático; ela diz que existe uma quantidade numérica que não muda quando algo acontece. Não é a descrição de um mecanismo ou algo concreto; é apenas um estranho fato de que podemos calcular algum número e, quando terminamos de observar a natureza fazer seus truques e calcularmos o número novamente, ele é o mesmo (FEYNMAN, 2008, seção 4-1, grifo do autor).

A dificuldade em se definir energia está relacionada à enorme diversidade que ela pode apresentar nos sistemas, mantendo uma dinâmica complexa e muitas vezes desconhecida. Se sua natureza é indeterminada, nos resta então a representação da energia em forma de definições. É preciso salientar, todavia, que energia, assim como o tempo e a carga elétrica, é um conceito fundamental da Física que não se deixa esgotar em definições. Moreira (1998, p. 6). defende que:

Tais definições podem ajudar na aquisição do conceito, porém, no fundo, os conceitos como esses [energia, carga elétrica, tempo, etc] são, de fato, adquiridos através de sucessivos contatos com exemplos e analogias, e do contínuo relacionamento com outros conceitos que já se conhece. No caso específico do conceito de energia, uma definição operacional como a de que “energia é a capacidade de produzir trabalho”, embora fisicamente incorreto, pode ajudar na compreensão deste conceito, mas ele não terá sido, de fato, adquirido enquanto o indivíduo não fora capaz de entendê-lo como “alguma coisa” que permanece constante em qualquer processo físico, isto é, como uma regularidade nos processos físicos.

E entendemos que uma boa definição de uma grandeza fundamental, como a energia deve ser capaz de facilitar a compreensão de conceitos que proporcionem a descrição de fenômenos físicos. Costa traz uma definição de energia concebida por Kelvin e Planck:

Energia de um sistema material em um certo estado, referido a um estado normal escolhido convenientemente, é igual à soma algébrica dos equivalentes mecânicos de todos os efeitos exteriores ao sistema, quando ele passa de um modo qualquer do primeiro ao segundo estado (COSTA, 1971, p. 28).

Nessa definição está presente a ideia de que diante da indeterminação da energia, o interesse principal é obter sua variação.

# A DEFINIÇÃO DE ENERGIA INTERNA E O ENUNCIADO DA PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA NOS LIVROS DIDÁTICOS

Sabe-se que energia de um sistema possui duas parcelas: a Energia Externa, que está relacionada às condições externas desse sistema, como o seu movimento (energia cinética) ou sua posição (energia potencial); e a Energia Interna, que está relacionada às propriedades intrínsecas do sistema. Na Termodinâmica a definição de Energia Interna não aborda a natureza da energia e nem cria modelos para explicar os fenômenos, mas usa-os como ponto de partida.

Apesar da Termodinâmica estudar leis gerais e fenomenológicas, muitos textos didáticos associam o modelo molecular da Teoria Cinética junto ao estudo da Termodinâmica para se definir Energia Interna. Veremos que poucos livros discutem a Energia Interna dentro do escopo conceitual da Termodinâmica. Wuo (2000, p. 18) pode lançar luz sobre essa preferência dos livros:

Historicamente, o desenvolvimento da ciência segue caminhos muitas vezes contraditórios, não exclusivamente os que deveria ter seguido *logicamente*, e isto pode tornar obscuros, para fins educacionais, muitos pontos metodológicos e pertinentes às relações entre ciência e outros campos (como, por exemplo, a tecnologia e a vida da sociedade de uma maneira geral). (Grifo do autor).

E mais adiante:

A organização do saber científico para transmissão pela via escolar muitas vezes exige maior atenção aos aspectos didáticos e pedagógicos, o que faz com que, geralmente, se considere a ciência um edifício perfeitamente definido e de consistência quase monolítica. (WOU, 2000, p. 23).

Os textos didáticos, entendidos como ferramentas essenciais no processo de ensino, incorpora em sua estrutura elementos do saber científico transmitido pela via escolar, interagindo com esse saber, realimentando e perpetuando aqueles elementos. Wuo (2000) observa que ensino escolar, e conseqüentemente os livros, vem tendo como principal objetivo o de convencer sobre a importância de determinados conceitos e do seu poder explicativo para despertar o interesse dos alunos, ao invés de se ocupar da formação de um espírito científico conforme defendido por Bachelard ou a formação de um cidadão consciente capaz de intervir em sua realidade conforme defendido pelos Parâmetros Curriculares.

Bachelard (1996, p. 31) já nos advertia da estruturação persuasiva dos textos didáticos:

## A DEFINIÇÃO DE ENERGIA INTERNA E O ENUNCIADO DA PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA NOS LIVROS DIDÁTICOS

Peguem um livro de ensino científico moderno: apresenta a ciência como ligada a uma teoria geral. Seu caráter orgânico é tão evidente que será difícil pular algum capítulo. Passadas as primeiras páginas, já não resta lugar para o senso comum; nem se ouvem as perguntas do leitor.

Não é difícil notar nos livros didáticos de física atuais que a observação de Bachelard ainda está presente, quiçá mais enfático do que em sua época. Podemos ver isso quando notamos os conteúdos de Termodinâmica onde prevalece o entendimento de que persuadir sobre a natureza da Energia Interna é um problema mais fundamental que discutir a definição de Energia Interna juntamente com a Primeira Lei da Termodinâmica, pois estão seguindo uma sequência lógica que pede antes uma descrição com base na Teoria Cinética.

Dessa forma, ocorre que nesse processo de transposição didática para tornar os conteúdos logicamente bem estruturados, muitos aspectos importantes do conhecimento científico se perdem como por exemplo o entendimento da ciência como uma construção humana, a natureza temporária e flexível das teorias científicas e o papel da criação de modelos diante das evidências empíricas. O primeiro é, inclusive, defendido pelos Parâmetros Curriculares sobre a concepção da Ciência Física:

(...) a Física deve vir a ser reconhecida como um processo cuja construção ocorreu ao longo da história da humanidade, impregnado de contribuições culturais, econômicas e sociais, que vem resultando no desenvolvimento de diferentes tecnologias e, por sua vez, por elas sendo impulsionado. (BRASIL, 2006, p. 59)

Muitas pesquisas relativas aos conceitos físicos e a construção do pensamento científico nos livros didáticos vem sendo feitas de modo a examinar quais as concepções que esses textos passam sobre a ciência e sua evolução. Trabalhos como Correia *et al* (2008), Correia *et al* (2010), Correia e José (2013) e Correia (2017) no estudo dos conceitos da Termodinâmica tem mostrado as limitações conceituais e os obstáculos à aprendizagem que os livros didáticos estabelecem.

As definições de Energia Interna nos livros didáticos de Física serão analisadas com base no Silogismo de Aristóteles, em que a definição atual esteja amparada por premissas claras para o estudante, uma vez que

# A DEFINIÇÃO DE ENERGIA INTERNA E O ENUNCIADO DA PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA NOS LIVROS DIDÁTICOS

Silogismo é um enunciado no qual, uma vez estabelecidas certas coisas, segue-se necessariamente outra coisa distinta destas pelo fato destas serem assim. Por ‘estas serem assim’ entendo o ocorrer por causa delas, e o ‘ocorrer por causa delas’ entendo o carecer de nenhum termo exterior além daqueles que foram estabelecidos para gerar o necessário (...) (PRI. AN. I, 1 24b, p. 19-27 apud OLIVEIRA, 2016, p. 51).

É nessa perspectiva que se espera que o teor da definição de Energia Interna seja redigido em livros didáticos, com base na Logica Aristotélica.

## 2 Materiais e Métodos

O alvo desta pesquisa são livros didáticos que abordam a Energia Interna no campo de ensino da Termodinâmica, tanto os destinados ao nível médio, quanto os de ensino superior, com predominância quantitativa para os livros de nível médio. As análises são de obras cuja publicação datam entre 1960 a 2016, que se distribuem da seguinte forma: os livros mais antigos destinados ao nível médio publicados antes do ano 2000 Bôas, Doca e Biscuola (1995), Bonjorno *et al.* (1998), Calçada e Sampaio (1998), Carron e Guimarães (1999), Del Giudice Neto (1982), Gonçalves (1974), GREF (1998), Machado (1987), Maia (1960), Melo Júnior (1985), Moretto (1982), Netto, Carneiro Neto e Rodrigues (1983), Parada e Cinquetto (1985), Paraná (1994), PSSC (1966), Ramalho Júnior, Ferraro e Soares (1993), Soares, Ferraro e Santos (1984) e Ueno e Yamamoto (1982) somam 18 obras; os livros Anna *et al.* (2010), Bonjorno *et al.* (2013), Bonjorno *et al.* (2016), Bonjorno *et al.* (2001), Ferraro, Soares e Fogo (2009), Gonçalves Filho e Toscano (2010), Gonçalves Filho e Toscano (2016), Gaspar (2005), Ramalho Junior, Ferraro e Soares (2003), Kazuhito e Fuke (2016), Luz e Álvares (2010), Luz e Álvares (2007), Penteado e Torres (2001), Pietrocola *et al.* (2016), Sampaio e Calçada (2005a), Sampaio e Calçada (2005b), Silva e Barreto Filho (2010), Torres, Ferraro e Soares (2010) e Válio *et al.* (2016) somam 19 livros mais recentes publicados após o ano 2000 também destinados ao nível médio; e os livros Güémez *et al.* (1998), Oliveira (2005), Sears e Salinger (1979), Van Wylen e Sonntag (1995) e Zemansky (1978) são os 5 livros de nível superior.

A investigação dos livros é dividida em dois momentos: no primeiro momento se analisa a definição de Energia Interna; e no segundo momento é analisada a discussão apresentada sobre a Primeira Lei da Termodinâmica. O estudo da definição da Energia Interna se inicia com a classificação dos textos em dois conjuntos iniciais: os livros que definem a Energia Interna

# A DEFINIÇÃO DE ENERGIA INTERNA E O ENUNCIADO DA PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA NOS LIVROS DIDÁTICOS

com base na Teoria Cinética Molecular e os livros que definem a energia Interna concomitantemente a discussão da Primeira Lei da Termodinâmica. No primeiro conjunto separa-se mais dois subconjuntos: os livros que definem a Energia Interna diretamente para o gás ideal considerando-a como a soma da Energia Cinética de translação das moléculas e os livros que definem a Energia Interna considerando as várias formas de energia da molécula, como a vibracional, rotacional e Energia Potencial.

A investigação do enunciado da Primeira Lei da Termodinâmica inicia-se classificando os textos em dois grupos: os livros que apresentam a Primeira Lei da Termodinâmica como uma aplicação do Princípio da Conservação da Energia e os livros que não fazem essa abordagem de forma explícita. No primeiro grupo, há textos que inicialmente fazem uma discussão do processo de conversão de calor em trabalho e textos que não fazem. Daqueles, há ainda os livros que apresentam a discussão de forma ilustrativa com um exemplo numérico ou em uma exposição mais geral baseada no modelo da expansão de um gás em um pistão.

A análise no primeiro e no segundo momento serão balizadas pelo Silogismo de Aristóteles, orientada pelas concordâncias das competências exigidas nos Parâmetros Curriculares Nacionais e na formação do Espírito Científico de Gaston Bachelard.

## 3 Resultados e Discussão

Iniciamos nossa investigação com as 18 obras mais antigas destinadas ao nível médio publicadas antes do ano 2000. Nelas encontramos a expressão “Energia Cinética do Gás” o que hoje os livros chamariam de Energia Interna para um gás ideal ou Energia Térmica. Esse termo está presente nas obras Calçada e Sampaio (1998), Del Giudice Neto (1982), Melo Júnior (1985) e Moretto (1982). No grupo das 18 obras, a Teoria Cinética aparece inseparável da argumentação em uma ordem lógica bem estruturada: primeiro se defini a Energia Interna para depois enunciar a Primeira Lei da Termodinâmica. Os livros Gonçalves (1974), GREF (1998), Netto, Carneiro Neto e Rodrigues (1983) e PSSC (1966) são uma exceção a essa regra. O livro Gonçalves (1974) apresenta o enunciado da Primeira Lei como sendo o Princípio da Conservação da Energia, para em seguida definir a Energia Interna; o livro GREF (1998) não se preocupa em fazer uma definição para Energia Interna, embora esse termo seja usado de modo bastante natural como se a expressão “Energia Interna” fosse autodescritiva; o livro Netto, Carneiro Neto e Rodrigues (1983) apresenta a definição de Energia Interna

## A DEFINIÇÃO DE ENERGIA INTERNA E O ENUNCIADO DA PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA NOS LIVROS DIDÁTICOS

concomitantemente ao enunciado da Primeira Lei da Termodinâmica; o livro PSSC (1966), apesar de não ser uma exceção ao tratamento cinético-molecular, apresenta uma discussão bastante diferenciada das outras obras não só pela ordem de organização dos temas discorridos, mas também pela própria exposição que enfatiza o aspecto experimental e conceitual.

Dos 18 livros presentes nesse grupo, as obras Bôas, Doca e Biscuola (1995), Bonjorno *et al.* (1998), Melo Júnior (1985), Moretto (1982) e Soares, Ferraro e Santos (1984) definem a Energia Interna somente para o gás ideal sem comentar a dependência da Energia Interna com outras parcelas de energia. Os livros Melo Júnior (1985) e Moretto (1982) apresentam as hipóteses para o gás ideal e deduzem a expressão matemática para a Energia Interna partindo da definição de Energia Cinética de Translação de uma partícula. Os livros Bonjorno *et al.* (1998) e Soares, Ferraro e Santos (1984) também apresentam essa dedução, porém com menos rigor matemático, fazendo uso de expressões como: “é possível mostrar que...”. Já o livro Bôas, Doca e Biscuola (1995) define a Energia Interna para gases ideais como uma relação linear da Temperatura, inferindo-a a partir do experimento de expansão livre de um gás que obedece à Lei de Joule, sem, todavia, relacionar a Energia Interna com a energia das moléculas.

As obras Calçada e Sampaio (1998), Carron e Guimarães (1999), Machado (1987), Paraná (1994), PSSC (1966), Ramalho Júnior, Ferraro e Soares (1993) e Ueno e Yamamoto (1982) definem a Energia Interna para um gás como sendo a soma de várias energias nas moléculas, relacionadas à vibração, rotação e energia potencial. Nos livros Calçada e Sampaio (1998), Carron e Guimarães (1999), Machado (1987), Paraná (1994) e Ramalho Júnior, Ferraro e Soares (1993) os autores reduzem a definição para o gás ideal, levando em conta apenas a energia cinética dos constituintes do sistema. Já o Ueno e Yamamoto (1982) não faz essa redução tratando a Energia Interna como um conceito mais geral relacionada a “agitação das partículas”. O livro PSSC (1966) considera o conceito de Energia Interna mais amplo ao não tratar a Energia Interna somente para um gás. A discussão segue com base em uma ilustração mecânica:

Considere, por um momento, uma caixa fechada dentro da qual movem-se, para diante e para trás, duas bolas de mesma massa  $m$ . Suponha que uma delas se dirige para o norte com velocidade  $v$ , e a outra para o sul, à mesma velocidade, e que se cruzam no ponto médio. O sistema não tem quantidade de movimento total e, de fora, não notamos qualquer movimento. Não aparece energia cinética alguma, a menos que olhemos dentro da caixa.

## A DEFINIÇÃO DE ENERGIA INTERNA E O ENUNCIADO DA PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA NOS LIVROS DIDÁTICOS

Imagine, agora, que o sistema formado pela caixa e pelas bolas se move para o norte e passe por nós com velocidade  $V$ , enquanto as bolas se movem para adiante e para trás, dentro da caixa, com velocidade  $v$  em relação à caixa. A energia cinética aparente  $\frac{1}{2}MV^2$  é apenas uma parte da energia cinética total. A energia cinética total  $E_c$  é constituída pela energia cinética da caixa  $M_c$ , que se move á velocidade  $V$ , mais a energia cinética das bolas (PSSC, 1966, p. 146).

Assim, o texto associa Energia Interna à energia devido aos movimentos internos do sistema juntamente com a configuração das posições dos constituintes.

Os livros Del Giudice Neto (1982), GREF (1998), Maia (1960) e Parada e Cinquetto (1985) trazem apenas uma noção de Energia Interna sem mencionar a relação com as energias de vibração, rotação e energia potencial das moléculas em um gás. Os livros Gonçalves (1974), Netto, Carneiro Neto e Rodrigues (1983) e Moretto (1982) não fazem referência imediata à estrutura microscópica do sistema e definem Energia Interna juntamente com a Primeira Lei da Termodinâmica para, em seguida, apresentarem Energia Interna como a soma das energias cinéticas das moléculas e argumentam de modo semelhante ao que é feito pelos livros de ensino superior, evocando o Princípio de Conservação da Energia para defender que há uma grandeza intrínseca ao sistema que varia quando nem todo Calor é transformado em Trabalho.

Os livros Bôas (1995), Bonjorno *et al.* (1998), Calçada e Sampaio (1998), Carron e Guimarães (1999), Machado (1987) e Paraná (1994) podem induzir o leitor a entender que a variação da Energia Interna é consequência da variação da Temperatura, ou não deixam claro que são processos como o Calor e o Trabalho que são capazes de variar a Energia Interna de um sistema, a exemplo do livro Bôas, Doca e Biscuola (1995):

Para uma determinada massa de gás perfeito ( $n = constante$ ), o **aumento da temperatura absoluta corresponde a um aumento da energia interna** e a variação de energia interna  $\Delta U$  é positiva ( $\Delta U > 0$ ).

Para uma **diminuição de temperatura, a energia interna diminui** e sua variação é negativa ( $\Delta U < 0$ ). Quando a temperatura permanece constante a energia interna também mantém-se constante e sua variação é nula ( $\Delta U = 0$ ). (BÔAS, DOCA e BISCUOLA, 1995, p. 76). (grifo nosso).

Correia (2017) já denunciava que é comum encontrar nos textos definições que atribuem Temperatura ao Calor.

Após a definição da Energia Interna, os livros seguem para discussão da Primeira Lei da Termodinâmica, com exceção do livro Netto, Carneiro Neto e Rodrigues (1983), que define

## A DEFINIÇÃO DE ENERGIA INTERNA E O ENUNCIADO DA PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA NOS LIVROS DIDÁTICOS

a Energia Interna juntamente com a Primeira Lei, os livros Gonçalves (1974) e Parada e Cinquetto (1985) que enunciam a Primeira Lei para, em seguida, apresentarem uma definição de Energia Interna e o GREF (1998) que não explicita uma definição para Energia Interna.

Para expressar o conteúdo da Primeira Lei da Termodinâmica na forma matemática, os textos usam dois tipos de equação; na forma A, o Calor aparece no primeiro membro e a soma do Trabalho com a variação da Energia Interna aparecem no segundo membro; na forma B, a variação da Energia Interna aparece no primeiro membro e a diferença entre o Calor e o Trabalho no segundo membro. Temos como exceção o livro PSSC (1966) que não traz nenhuma dessas expressões.

Dos 18 livros analisados, os livros Del Giudice Neto (1982) e Machado (1987) enunciam a Primeira Lei da Termodinâmica sem fazer uma referência explícita a aplicação do Princípio da Conservação. Del Giudice Neto (1982, p. 96) apresenta a Primeira Lei da Termodinâmica ilustrando a realização de Trabalho por meio de um resistor ligado um gerador impulsionado por um peso que desce. Com esse sistema, o texto argumenta que a Energia Interna é alterada pela “dissipação de calor no resistor” e enuncia a Primeira Lei da Termodinâmica: “O trabalho adiabático realizado sobre um sistema é independente da forma em que é realizado o trabalho, dependendo apenas dos estados inicial e final do sistema.” Em seguida acrescenta que o sistema pode interagir com o exterior trocando energia na forma de Calor ou de Trabalho, cujo resultado é uma variável de estado denominada Energia Interna. Nessa mesma perspectiva, o livro Machado (1987) apresenta a Primeira Lei discutindo processos de transformação de Calor em Trabalho em um cilindro de gás com um êmbolo. O texto segue explicando que pode ocorrer que nem todo Calor é convertido em Trabalho e essa diferença será então acrescida na Energia Interna do sistema. Por fim apresenta a expressão matemática para a Primeira Lei da Termodinâmica na forma B.

O restante dos livros discute o Princípio da Conservação na apresentação da Primeira Lei. Desses livros, Bôas, Doca e Biscuola (1995), Carron e Guimarães (1999), Gonçalves (1974), Maia (1960) e Paraná (1994) não discutem o processo de conversão de Calor em Trabalho, mas expõe a Primeira Lei para sistemas que sofrem transformações devido a processos de Calor e Trabalho e apresenta as expressões matemáticas na forma B, com exceção do livro Maia (1960) que usa a forma A. O livro Bôas, Doca e Biscuola (1995, p.77), por exemplo, argumenta:

## A DEFINIÇÃO DE ENERGIA INTERNA E O ENUNCIADO DA PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA NOS LIVROS DIDÁTICOS

Para todo sistema termodinâmico, existe uma função característica, denominada energia interna. A variação dessa energia interna ( $\Delta U$ ) entre dois estados quaisquer de equilíbrio pode ser determinada pela diferença algébrica (levando-se em conta o sinal positivo ou negativo apresentado) do calor ( $Q$ ) e do trabalho ( $W_{\text{gás}}$ ) trocados com o meio externo, quando esse sistema sofre uma transformação termodinâmica.

Os livros Bonjorno *et al.* (1998), Parada e Cinquetto (1985) e Ramalho Júnior, Ferraro e Soares (1993) discutem o processo de conversão de Calor em Trabalho através de um exemplo numérico. Tomemos como exemplo:

A variação de energia interna  $\Delta U$  sofrida pelo sistema é consequência do balanço energético entre essas duas quantidades. Por exemplo, se o gás, numa transformação isobárica, recebeu do meio exterior uma quantidade de calor  $Q = 20 \text{ J}$  e realizou um trabalho sobre o meio exterior  $W = 3 \text{ J}$ , sua energia interna aumentou de  $\Delta U = 17 \text{ J}$ . Realmente, o gás recebeu  $20 \text{ J}$  de energia do meio exterior (sob a forma de calor), perdeu  $3 \text{ J}$  de energia (sob a forma de trabalho), tendo absorvido  $17 \text{ J}$  de energia que aumentaram a energia cinética de suas moléculas e, portanto, sua energia interna. (RAMALHO JÚNIOR, FERRARO E SOARES, 1993, p. 178).

Em seguida, o livro Bonjorno *et al.* (1998) reafirma o Princípio de Conservação da Energia, de modo que energia não pode ser criada nem destruída, mas transformada de uma espécie para outra e apresenta a expressão matemática na forma A, enquanto que os livros Parada e Cinquetto (1985) e Ramalho Júnior, Ferraro e Soares (1993) expressam que a variação da Energia Interna é dada pela diferença entre o Calor e o Trabalho e apresentam a expressão matemática na forma B. Os livros Calçada e Sampaio (1998), Melo Júnior (1985), Moretto (1982), Netto, Carneiro Neto e Rodrigues (1983), Soares, Ferraro e Santos (1984) e Ueno e Yamamoto (1982) discutem o processo de conversão de Calor em Trabalho de modo mais geral, tomando a expansão de um gás em um cilindro com êmbolo. Essa discussão é ricamente relacionada à uma representação gráfica do Trabalho. Já a Primeira Lei é expressa na forma A pelos livros Melo Júnior (1985), Moretto (1982) e Ueno e Yamamoto (1982) e na forma B pelos livros Calçada e Sampaio (1998), Netto, Carneiro Neto e Rodrigues (1983) e Soares, Ferraro e Santos (1984).

O GREF (1998) apresenta a Primeira Lei da Termodinâmica como uma exigência do Princípio de Conservação na descrição do funcionamento de Máquinas Térmicas. O texto argumenta que a uma parte da Energia Térmica fornecida à máquina “pelo combustível aumenta

## A DEFINIÇÃO DE ENERGIA INTERNA E O ENUNCIADO DA PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA NOS LIVROS DIDÁTICOS

a sua energia interna realizando trabalho.” e expressa matematicamente na forma  $A$ . O livro PSSC (1966) apresenta uma exposição bastante singular em relação aos outros textos. O caráter investigativo é bastante destacado ao longo de todo o estudo, sempre relacionando à descrição com aspectos experimentais reais, com perguntas e argumentos sequenciados, e discute a Primeira Lei a partir dos processos gerais de transformação de energia, não apenas de conversão de Calor em Trabalho. A expressão “Primeira Lei da Termodinâmica” aparece uma única vez ao longo da discussão e enfatiza a equivalência entre as formas de energia. Apesar de fazer uso exaustivo de expressões como “fluxo de calor”, e “dissipação de calor”, o texto busca estabelecer a compreensão da Primeira Lei da Termodinâmica não com o clássico exemplo do êmbolo com um gás, mas com a água em um banho quente e um eixo com pás. Inicialmente o texto aborda Calor do ponto de vista histórico, citando os estudos dos cientistas Joule, Mayer e Rumford. Em seguida descreve o experimento da equivalência de energia mecânica com a energia térmica de Joule, para argumentar que em vários experimentos foi mostrado que uma quantidade Energia Mecânica proporciona uma quantidade equivalente de Energia Térmica. Em seguida discute o seguinte experimento:

Suponha que temos 1 g de água, circundada por um banho de óleo quente, estando o conjunto isolado do resto do mundo; um pequeno eixo feito de material isolante aciona uma roda de pás dentro da água. Agora, dissipamos 1 joule de energia mecânica em 1 g de água, girando as pás; permitimos também que 3,2 joules fluam para a água vindo do óleo como é indicado pela queda de temperatura do banho de óleo. Portanto, a energia interna da água sofreu um acréscimo de 4,2 joules. Isso é indicado pela elevação de 1 °C que ocorreria se transferíssemos 4,2 joules para 1g de água unicamente por fluxo de calor, ou apenas por meios mecânicos. Em geral, o acréscimo de energia interna é dado por  $\Delta T + \Delta Q$  (PSSC, 1966, p. 149).

Diferentemente dos outros textos, esse não é um experimento meramente ilustrativo, mas está muito próximo do que é feito em laboratório, quiçá idêntico. Dessa forma, o texto não busca chegar a algum resultado para ser destacado, mas vai construindo os argumentos necessários para a descrição do fenômeno de modo natural com base no Princípio de Conservação. A única vez que o texto faz uso da expressão “Primeira Lei da Termodinâmica” nessa discussão aparece na seguinte passagem: “O fato de que, toda energia que muda de forma é integralmente transformada, é uma versão da primeira lei da termodinâmica.” (PSSC, 1966, p. 151). Nesse sentido, a exposição não difere muito dos outros textos que visualizam a Primeira

## A DEFINIÇÃO DE ENERGIA INTERNA E O ENUNCIADO DA PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA NOS LIVROS DIDÁTICOS

Lei da Termodinâmica como uma mera aplicação do Princípio da Conservação da Energia. Um último aspecto também ausente no grupo dos livros mais antigos é a compreensão do pensamento científico como uma construção humana, onde modelos são criados conforme a sua adequação com os experimentos. Percebe-se isso em passagens como:

Acreditamos, atualmente, que calor e energia mecânica são apenas duas formas diferentes de energia, e que nenhuma energia se perde ao passar de uma forma para outra. (...) Mas, para chegar a essa conclusão, tivemos de medir quantidades de calor e seguir a pista da energia que se localiza como energia interna, além de medir a energia cinética macroscópica e a energia potencial dos objetos que são elevados contra a força da gravidade. Nenhuma experiência isolada nos leva por si só à convicção de que a energia é conservada. Mas admitimos a conservação pensando em todas as espécies de processos físicos e químicos (PSSC, 1966, p. 151).

Após a análise das obras mais antigas, seguimos para os livros de nível médio mais recentes publicados após o ano 2000. A maioria dos livros desse grupo apresentam um estudo similar ao feito pelas obras mais antigas: inicialmente se define a Energia Interna e em seguida se inicia a discussão sobre a Primeira Lei. É uma exceção o livro Pietrocola *et al.* (2016) que apresenta a Energia Interna como uma exigência do Princípio da Conservação de Energia, culminando na expressão matemática para a Primeira Lei, e o livro Válio *et al.* (2016) que define a Energia Interna para um corpo muito antes de tratar da Primeira Lei.

Ao apresentar a definição de energia interna de um sistema, os livros iniciam uma análise com base na Teoria Cinética dos gases. Dos 19 livros pertencentes a esse grupo, somente o livro Pietrocola *et al.* (2016) não faz uma referência inicial à natureza microscópica da matéria. Observamos que esse é único que discute o conceito de Energia Interna mais próximo do escopo Termodinâmico. Há ainda o livro Válio *et al.* (2016) que embora discuta a Energia Interna para o caso do gás ideal, inicialmente apresenta a Energia Interna de modo a considerar várias formas de energia. Dos livros que tratam a Energia Interna iniciando uma discussão com base na Teoria Cinética, os livros Bonjorno *et al.* (2013), Bonjorno *et al.* (2016), Bonjorno *et al.* (2001), Ferraro, Soares e Fogo (2009), Gonçalves Filho e Toscano (2010), Gonçalves Filho e Toscano (2016) e Penteado e Torres (2001) definem a Energia Interna diretamente para o gás ideal. Dessa definição, exceto os livros Gonçalves Filho e Toscano (2010) e Gonçalves Filho e Toscano (2016), segue imediatamente a expressão matemática da Energia Interna como uma função dependente somente da Temperatura e proporcional a ela. Essa energia é relacionada

## A DEFINIÇÃO DE ENERGIA INTERNA E O ENUNCIADO DA PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA NOS LIVROS DIDÁTICOS

exclusivamente com a Energia Cinética de Translação das moléculas. Os livros Bonjorno *et al.* (2013) e Bonjorno *et al.* (2016) apresentam uma pequena dedução de como obter a energia interna do gás ideal a partir da definição de energia cinética de translação das moléculas e mencionam, ao final da definição da Energia Interna para gases ideais, que para gases não monoatômicos a Energia Interna é formada pela soma de energias cinéticas de translação, rotação, vibração e a energia potencial de configuração. Os livros Gonçalves Filho e Toscano (2010) e Gonçalves Filho e Toscano (2016) não apresentam a expressão matemática para a Energia Interna, mas mencionam que essa energia não depende apenas da Temperatura, mas do número de moléculas do gás.

Os livros Anna *et al.* (2010), Ramalho Júnior, Ferraro e Soares (2003), Torres, Ferraro e Soares (2010) e Penteado e Torres (2001) usam a dependência linear da Energia Interna com a Temperatura para deprender a Lei de Joule, levando o leitor a aceitar que o experimento da expansão livre de Joule é um resultado exato de passos definidos, como se Joule soubesse antes de realizar seu experimento o que seria observado, enquanto que historicamente o experimento de Joule antecede à descrição da Energia Interna pela Teoria Cinética. Distorções como essas no desenvolvimento das ideias termodinâmicas empobrecem a compreensão desta como uma ciência fundamentalmente empírica, cujas leis são independentes dos modelos para a matéria.

A naturalidade com que esses textos depreendem a Lei de Joule a partir de uma simples equação, traduz um antigo hábito dos livros em apresentar suas discussões de forma simplistas, criando textos muito corretos, ignorando o caráter aproximativo inseparável dos experimentos. Bachelard, já em 1938, denunciava defeitos como esses nos livros de Física:

Os livros de física, que há meio século são cuidadosamente copiados uns dos outros, fornecem aos alunos uma ciência socializada, imóvel, que graças à estranha persistência do programa dos exames universitários, chega a passar como *natural*; mas não é; já não é natural. Já não é a ciência da rua e do campo. É *uma* ciência elaborada num mau laboratório mas que traz assim mesmo a feliz máscara desse laboratório (BACHELARD, 1996, p. 30).

Dos livros Anna *et al.* (2010), Gaspar (2005), Kazuhito e Fuke (2016), Luz e Álvares (2007), Luz e Álvares (2010), Ramalho Junior, Ferraro e Soares (2003), Sampaio e Calçada (2005a), Sampaio e Calçada (2005b), Silva e Barreto Filho (2010), Torres, Ferraro e Soares (2010), e Válio *et al.* (2016) que abordam a Energia Interna como a soma das várias formas de energia das moléculas, os livros Luz e Álvares (2007) e Luz e Álvares (2010) não reduzem a

## A DEFINIÇÃO DE ENERGIA INTERNA E O ENUNCIADO DA PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA NOS LIVROS DIDÁTICOS

análise para o caso do gás ideal, nem relacionam a Energia Interna como uma função da temperatura. Esses textos começam fazendo uma breve discussão sobre o conceito de calórico, tal como descreve o livro Luz e Álvares (2010, p. 106):

Em outras palavras, a energia empregada na realização daquele trabalho era transferida para as peças, provocando uma elevação em suas temperaturas. Portanto, a antiga ideia de que um corpo mais aquecido possui maior quantidade de calórico começava a ser substituída pela idéia de que este corpo possui, realmente, maior quantidade de energia em seu interior (LUZ e ÁLVARES, 2010).

Essa exposição inicial enriquece o entendimento do aluno em relação à Termodinâmica, oportunizando explorar a evolução histórica das ideias da Física juntamente com os personagens importantes nessa construção. Falar das antigas concepções da Física possibilita a compreensão de uma construção humana, e, portanto, dinâmica, de verdades temporárias, ao contrário do ensino de Física como uma ciência de verdades imutáveis que prevalecem no ensino tradicional. Brasil (2006, p. 67) defende a importância dessa compreensão e destaca como uma das competências a ser adquirida na educação básica: “Compreender o desenvolvimento histórico dos modelos físicos para dimensionar corretamente os modelos atuais, se dogmatismo ou certezas definitivas.”

Os livros Anna *et al.* (2010), Gaspar (2005), Kazuhito e Fuke (2016), Ramalho Júnior, Ferraro e Soares (2003), Sampaio e Calçada (2005a), Sampaio e Calçada (2005b), Silva e Barreto Filho (2010), Torres, Ferraro e Soares (2010) e Válio *et al.* (2016) após a apresentarem a definição da Energia Interna, fazem as idealizações necessárias para descrever o caso do gás perfeito. Nessas considerações, os autores levam em conta apenas a energia cinética dos constituintes do sistema e a partir disso relacionam a Energia Interna com a temperatura culminando na expressão matemática.

Retomando ao conjunto de livros que abordam a definição de Energia Interna do ponto de vista microscópico, temos que as obras Anna *et al.* (2010), Bonjorno *et al.* (2001), Bonjorno *et al.* (2013), Bonjorno *et al.* (2016), Gaspar (2005), Kazuhito e Fuke (2016), Penteado e Torres (2001), Sampaio e Calçada (2005b), Torres, Ferraro e Soares (2010) e Válio *et al.* (2016) podem induzir o leitor a entender que a variação da Energia Interna é consequência da variação da Temperatura ou não deixam claro que são os processos de Calor e Trabalho que são capazes de

# A DEFINIÇÃO DE ENERGIA INTERNA E O ENUNCIADO DA PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA NOS LIVROS DIDÁTICOS

variar a Energia Interna de um sistema. Podemos ver claramente isso em textos como o livro Sampaio e Calçada:

Como vimos acima, no caso do gás ideal monoatômico, a energia interna é função da temperatura ( $U = \frac{3}{2}nRT$ ); **se a temperatura aumenta, U também aumenta e, se a temperatura diminui, U também diminui** (SAMPAIO E CALÇADA, 2005b, p. 285, grifo nosso).

Embora os textos se restrinjam ao gás ideal, o fato de não citar outros sistemas em que ocorre variação da Energia Interna mesmo não havendo variação na sua Temperatura, pode causar no leitor a impressão de que isso seja válido para outros sistemas. De fato, a busca por generalizações é uma tendência natural no processo de aprendizagem. Isso é ainda mais efusivo na Física, em que as regularidades encerram a compreensão de muitas abstrações. Todavia, o conhecimento geral constitui um dos obstáculos para o conhecimento científico identificado por Bacherlard (1996). O autor, com o exemplo da queda livre, defende a limitação conceitual gerada pelo enunciado inferido empiricamente: *no vácuo, todos os corpos caem à mesma velocidade*. E conclui:

Em suma, mesmo seguindo um ciclo de *idéias exatas*, percebe-se que a generalidade imobiliza o pensamento, que as variáveis referentes ao aspecto geral ofuscam as variáveis matemáticas essenciais. No exemplo, a noção de velocidade esconde a noção de aceleração. É, no entanto, a noção de aceleração que corresponde à realidade dominante (BACHERLARD, 1996, p. 72, grifo do autor).

Embora o autor apresente um exemplo da Mecânica, algo muito similar ocorre com a Termodinâmica. Quando os textos não deixam claro que são os processos de Calor e Trabalho que são capazes de alterar a Energia Interna de um sistema e enfatizam a sua dependência unicamente da Temperatura, a noção de temperatura esconde a noção de calor. São imprecisões como essas que perpetuam nos alunos a típica confusão entre Calor e Temperatura ou o Calor como uma espécie de substância presente em um corpo. Correia (2008) traz uma ampla discussão sobre o Calor nos livros, mostrando que é muito comum nas publicações didáticas o do Calor ser apresentado com qualidades de substância.

Apenas o livro Kazuhito e Fuke (2016) menciona a dependência da Energia Interna com outras variáveis termodinâmicas que não a Temperatura (a pressão e o volume). Os livros Bonjorno *et al.* (2013) e Bonjorno *et al.* (2016) também fazem essa ressalva considerando o

## A DEFINIÇÃO DE ENERGIA INTERNA E O ENUNCIADO DA PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA NOS LIVROS DIDÁTICOS

caso do aumento da Energia Interna devido ao aumento do número de moléculas. Isso decorre da fixação dos textos em definir a Energia Interna somente para o gás ideal. Em contrapartida, os livros Ramalho Júnior, Ferraro e Soares (2003) e Silva e Barreto Filho (2010) não mencionam a dependência da Energia Interna com outras variáveis de estado, mas expõem que há sistemas em que a variação da Energia Interna não necessariamente depende da variação da Temperatura. Temos ainda o livro Bonjorno *et al.* (2001) que associa a variação da Temperatura à ocorrência do Calor: “Quando um sistema (gás) recebe uma determinada quantidade  $Q$  de calor, sofre um aumento  $\Delta U$  de sua energia interna e conseqüentemente um aumento  $\Delta t$  de temperatura.” (BONJORNO *et al.*, 2001, p. 257). Encontramos aqui mais um obstáculo gerado pela generalização semelhante ao caso analisado em alguns parágrafos anteriores. Com base nessa afirmação, o estudante pode sentir dificuldades em compreender a realização de Trabalho em processo isotérmico, pois nesse processo não há variação da Temperatura.

O livro Pietrocola *et al.* (2016) é o único que não faz referência imediata à estrutura microscópica do sistema e define a Energia Interna juntamente com a Primeira Lei da Termodinâmica. Esse texto levanta uma argumentação semelhante ao que é feito pelos livros de ensino superior, evocando o Princípio de Conservação da Energia para defender que há uma grandeza intrínseca ao sistema que varia quando nem todo Calor é transformado em Trabalho. Essa definição deixa claro que são os processos de Calor e Trabalho capazes de alterar a Energia Interna de um sistema. Esse livro é o que mais se aproxima da Termodinâmica em seu aspecto fenomenológico enquanto que os outros textos trazem uma definição com base na teoria cinética dos gases.

Após a definição da energia interna, os livros seguem para a discussão sobre a Primeira Lei da Termodinâmica. Dos 19 livros analisados que foram publicados após o ano 2000, os livros Sampaio e Calçada (2005a) e Pietrocola *et al.* (2016) são os que apresentam a Primeira Lei sem fazer uma referência explícita ao Princípio de Conservação. O livro Ramalho Sampaio e Calçada (2005a) apresenta a Primeira Lei construindo uma situação em que o Calor é convertido em Trabalho pela expansão de um sistema gasoso e o livro Pietrocola *et al.* (2016) discute a Primeira Lei para o caso geral de conversão de Calor em Trabalho em Máquinas Térmicas. Esse último, argumenta ser inevitável que uma parte do Calor não ser convertida em Trabalho acrescentando à Energia Interna, obtém a expressão matemática para a Primeira Lei fazendo o balanceamento entre o Calor, o Trabalho e a variação da Energia Interna

## A DEFINIÇÃO DE ENERGIA INTERNA E O ENUNCIADO DA PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA NOS LIVROS DIDÁTICOS

expressando-a finalmente na equação da forma A. Não é verdade que é impossível converter Calor totalmente em Trabalho sem variar a Energia Interna. Essa conversão pode ocorrer no caso ideal em que o gás se expande isotermicamente convertendo todo Calor em Trabalho. Esse é um dos típicos enunciados isolados que aparecem sem as ressalvas e podem dificultar o entendimento do ciclo de Carnot por exemplo. O texto Sampaio e Calçada (2005a) segue com mais cuidado explicando que pode ocorrer que nem todo Calor é convertido em Trabalho e essa diferença será então acrescida na Energia Interna do sistema e, por fim, apresenta a expressão matemática para a Primeira Lei na forma B.

Nos outros 17 livros, a Primeira Lei da Termodinâmica é apresentada como uma aplicação do Princípio de Conservação da Energia. Elas podem ser divididas em dois grandes grupos: as que enunciam a Primeira Lei sem discutir o processo de conversão de Calor em Trabalho que corresponde aos livros Bonjorno *et al.* (2013), Bonjorno *et al.* (2016), Ferraro, Soares e Fogo (2009), Penteado e Torres (2001), Torres, Ferraro e Soares (2010) e Válio *et al.* (2016) e as obras que enunciam a Primeira Lei após discutir a conversão de Calor em Trabalho e corresponde aos livros: Anna *et al.* (2010), Bonjorno *et al.* (2001), Gaspar (2005), Gonçalves Filho e Toscano (2010), Gonçalves Filho e Toscano (2016), Kazuhito e Fuke (2016), Luz e Álvares (2007), Luz e Álvares (2010), Ramalho Júnior, Ferraro e Soares (2003), Sampaio e Calçada (2005b) e Silva e Barreto Filho (2010).

No primeiro grupo, a Primeira Lei é enunciada de forma tal que a variação da Energia Interna de um sistema é dada pela diferença entre o Calor e o Trabalho, matematicamente escrevendo-a na forma B. Como exemplo tomamos o enunciado dado pela obra Ferraro, Soares e Fogo (2009, p. 325): “A variação da energia interna  $\Delta U$  de um sistema é expressa por meio da diferença entre a quantidade de calor  $Q$  trocada com o meio ambiente e o trabalho  $W$  realizado durante a transformação.  $\Delta U = Q - W$ .” Temos algumas observações. Embora a Primeira Lei da Termodinâmica seja válida para qualquer sistema, os livros Bonjorno *et al.* (2013), Penteado e Torres (2001) e Torres, Ferraro e Soares (2010) especificam a Primeira Lei somente para o gás ideal. Essa restrição ao caso ideal é um defeito herdado pela definição da Energia Interna dada por esses textos. Uma vez que a energia interna foi restrita para o gás perfeito, o texto se vê obrigado a se limitar ao caso ideal. Em todos os enunciados segue imediatamente a expressão matemática da Primeira Lei.

No segundo grupo, as obras que enunciam a Primeira Lei após discutir a conversão de Calor em Trabalho podem ser classificadas em dois subgrupos. Os livros Anna *et al.* (2010),

## A DEFINIÇÃO DE ENERGIA INTERNA E O ENUNCIADO DA PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA NOS LIVROS DIDÁTICOS

Luz e Álvares (2007), Luz e Álvares (2010), Ramalho Júnior, Ferraro e Soares (2003) e Silva e Barreto Filho (2010) discutem a conversão de Calor em Trabalho por meio de um exemplo numérico. Em seguida, os textos apresentam o enunciado da Primeira Lei como uma síntese dos resultados numéricos, expressando a variação da Energia Interna pela diferença entre o Calor e o Trabalho e apresentam a expressão matemática na forma B. Como exemplo tomamos o Ramalho Júnior, Ferraro e Soares (2003, p. 144): “A variação da energia interna de um sistema é dada pela diferença entre o calor trocado com meio exterior e o trabalho realizado no processo termodinâmico.”

Os livros Bonjorno *et al.* (2001), Gaspar (2005), Gonçalves Filho e Toscano (2010), Gonçalves Filho e Toscano (2016), Kazuhito e Fuke (2016), Pietrocola *et al.* (2016) e Sampaio e Calçada (2005b) discutem a conversão de Calor em Trabalho por meio de um sistema mais geral que recebe uma certa quantidade de Energia Térmica. Os textos procuram mostrar que quando o sistema se expande realizando Trabalho, pode ocorrer que nem todo Calor seja convertido em Trabalho e que a diferença é a responsável pela variação da Energia Interna, a exemplo do livro Sampaio e Calçada (2005b, p. 200):

Consideremos um sistema qualquer formado por um ou mais corpos. Quando fornecemos ao sistema uma quantidade de energia  $Q$ , na forma de calor, essa energia pode ser usada de dois modos: uma parte da energia poderá ser usada para o sistema realizar um trabalho ( $W$ ), expandindo-se ( $W > 0$ ) ou contraindo-se ( $W < 0$ ). Eventualmente pode acontecer de o sistema não alterar seu volume: assim o trabalho será nulo. A outra parte da energia será absorvida pelo sistema, transformando-se em energia interna. Dito de outro modo: essa outra parte da energia é igual à variação da energia ( $\Delta U$ ) do sistema. Eventualmente pode acontecer  $\Delta U=0$ ; significa que, nesse caso, todo o calor  $Q$  foi usado para a realização de trabalho.

O enunciado da Primeira Lei para esse conjunto de livros segue como uma síntese da discussão dos processos de conversão de Calor em Trabalho. São também expressas de três formas diferentes: Os livros Gonçalves Filho e Toscano (2010) e Gonçalves Filho e Toscano (2016) enunciam a Primeira Lei em que o Calor “recebido” pelo sistema é igual à variação da Energia Interna desse sistema, acrescido do Trabalho realizado por ele; os livros Gaspar (2005), Kazuhito e Fuke (2016), Pietrocola *et al.* (2016) e Sampaio e Calçada (2005b), apresentam a expressão matemática na forma A ou B para a Primeira Lei sem o seu enunciado destacado, mas desenvolvido durante o texto; e o livro Bonjorno *et al.* (2001) expressa que a variação da energia interna dada pela diferença entre o Calor e o Trabalho e apresenta a

## A DEFINIÇÃO DE ENERGIA INTERNA E O ENUNCIADO DA PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA NOS LIVROS DIDÁTICOS

expressão matemática na forma B. Os livros Bonjorno *et al.* (2013) e Bonjorno *et al.* (2016) chegam a mencionar que a Primeira Lei da Termodinâmica é um resultado empírico, mas apresentam esse fato como se fosse possível medir a variação da Energia Interna por meio da variação da Temperatura. Todos os livros que apresentaram essa análise fizeram de modo ilustrativo, seja numérico como os livros ou de modo geral. O conceito de variáveis de estado não é explorado em nenhum dos textos. Apenas os livros Gaspar (2005), Luz e Álvares (2007), Luz e Álvares (2010), Penteado e Torres (2001) e Torres, Ferraro e Soares (2010) mencionam os termos estado inicial e final, mas não fazem nenhuma discussão pormenorizada.

O que talvez mais chama atenção na apresentação da Primeira Lei é como os livros a relaciona com o Princípio de Conservação. Todos os livros que fazem essa relação afirmam que a Primeira Lei é uma aplicação do Princípio da Conservação e reforçam isso através da equação matemática, principalmente na forma A. Podemos ver isso em trechos como:

As quantidades de cada modalidade de energia podem variar, mas é certo que a soma de ambas deve ser igual ao acréscimo de energia fornecido. **Não há novidade aqui: este é o Princípio da Conservação da Energia.** (KAZUHITO e FUKU, 2016, p. 91, grifo nosso).

Em contrapartida, os Parâmetros Curriculares Nacionais criticam de um modo mais amplo esse reducionismo, notando a sua relação com a seleção dos conhecimentos para o ensino de física:

A seleção desse conhecimento tem sido feita, tradicionalmente, em termos de conceitos considerados centrais em áreas de fenômenos de natureza física diferentes, delimitando os conteúdos de Mecânica, Termologia, Ótica e Eletromagnetismo a serem abordados. Isso resulta, quase sempre, em uma seleção tal que os índices dos livros didáticos de ensino médio se tornam, na verdade, uma versão abreviada daqueles utilizados nos cursos de física básica do ensino superior, ou uma versão um pouco mais estendida dos que vinham sendo utilizados na oitava série do ensino fundamental. Nessas propostas, os critérios de seleção para definir os conteúdos a serem trabalhados, na maior parte das vezes, restringem-se ao conhecimento e à estrutura da Física, sem levar em conta o sentido mais amplo da formação desejada (BRASIL, p. 61)

Por fim, seguimos à análise das 4 obras de nível superior. O livro Zemansky (1978) inicia a discussão sobre a Primeira Lei evocando a definição de trabalho adiabático. O texto busca convencer o leitor do fato experimental de que dado o estado inicial de um sistema, pode-

## A DEFINIÇÃO DE ENERGIA INTERNA E O ENUNCIADO DA PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA NOS LIVROS DIDÁTICOS

se chegar a um estado final por meio de vários processos adiabáticos diferentes. O autor faz isso ilustrando um modelo experimental, no qual descreve quatro processos adiabáticos, que levam o sistema de um estado inicial a um estado final. Essas colocações culminam na evidência experimental de que, independentemente do processo, o Trabalho adiabático é sempre o mesmo ao modificar o estado do sistema de uma configuração inicial para uma configuração final e afirma: “Se um sistema é obrigado a passar de um estado inicial a um estado final, utilizando unicamente processos adiabáticos, o trabalho realizado é o mesmo para todas as trajetórias adiabáticas que unam ambos os estados” (ZEMANSKY, 1978, p. 72).

Até esse momento, o autor não faz uso do termo “Energia Interna”, apresentando-a posteriormente. Essa maneira de exposição está coerente com a estrutura das definições da Termodinâmica: obter a definição das grandezas que caracterizam um sistema a partir das evidências experimentais. Em seguida, a expressão matemática para a variação da função de Energia Interna como o trabalho adiabático é discutida enfatizando que nem sempre é possível obter a expressão matemática para a Energia Interna, mas que é suficiente saber que ela existe e como medir sua variação.

Observemos que a natureza da Energia Interna continua desconhecida. De fato, o texto mais adiante dá uma interpretação física do que seja a variação da Função Energia Interna e afirma que é uma representação da variação da energia do sistema. A expressão “função de energia interna” expressa que o interesse do estudo é a função que representa a energia interna e não ela mesma. Assim, pelo texto, podemos dizer somente que existe associada ao sistema uma função de Energia Interna, a sua dependência é com as variáveis termodinâmicas do sistema e sua variação é dada pelo Trabalho de um processo que não é, mas que se iguala a variação da função. O texto ainda enfatiza que a formulação da Primeira Lei possui muito mais conteúdo que o Princípio da Conservação da Energia: “Ela estabelece que existe uma função energia tal que a variação de energia do sistema é igual à diferença dos dois valores da referida função.” (ZEMANSKY, 1978, p. 72). Portanto, a Primeira Lei da Termodinâmica, como uma mera aplicação do princípio da conservação ou uma generalização desse princípio, como é apresentado pela maioria dos livros didáticos de nível médio, é um tanto reducionista. Esse aspecto remete a perpetuação do ensino tradicional pelos livros analisados, que enxergam o ensino de Física do ensino médio como uma simplificação da Física estudada no nível superior, conforme já citado pelos Parâmetros Curriculares.

## A DEFINIÇÃO DE ENERGIA INTERNA E O ENUNCIADO DA PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA NOS LIVROS DIDÁTICOS

O livro Van Wylen e Sonntag (1995) reconhece a dificuldade em definir com precisão o que é energia e se contenta com uma definição dada como a capacidade de produzir um efeito. Essa concepção operacional de energia até hoje é muito presente nos textos didáticos sobre mecânica, principalmente nos livros de nível médio.

Uma definição de energia é incompleta se não levar em conta o Princípio de Conservação (MOREIRA, 1998). Como “a capacidade de produzir um efeito” não é algo que se conserva, temos que essa não é uma definição consistente. Porém, do ponto de vista operacional conforme buscado pelos textos mais técnicos, é uma definição que possibilita realizar manipulações matemáticas úteis. Segundo o autor, a interpretação da Termodinâmica Estatística do ponto de vista molecular sobre a Energia Interna é útil para a Termodinâmica Clássica, assim o autor faz uma pequena introdução dessa interpretação identificando três formas de energia em um sistema composto por gás:

- Energia potencial intermolecular, que é associada às forças entre as moléculas;
- Energia cinética molecular, que é associada à velocidade de translação das moléculas;
- Energia intramolecular (relativa a cada molécula), que é associada com a estrutura molecular e atômica; (VAN WYLEN, 1995, p.20)

As formas de energia são equivalentes. Em um sistema, a energia dos seus constituintes pode passar de cinética para potencial, por exemplo, mas a energia total se mantém constante. Portanto, definir a energia Interna de um sistema como uma soma das diferentes formas de energia dos seus constituintes é preciso para garantir o Princípio de Conservação. Além disso, embora o texto não comente, a Energia Interna como a soma das energias dos seus constituintes só é possível devido à propriedade aditiva da energia. Isso não é dessa forma para todas as grandezas da Física como é o caso da Temperatura, e sua confirmação é experimental. Como a energia pode passar de uma forma para outra em um dado sistema, ocorre que nesse processo de transformação o Princípio da Conservação sempre é respeitado. Portanto, definir a Energia Interna como a soma das energias dos seus constituintes é também garantir a propriedade da aditividade da Energia Interna. Assim, a dificuldade em se definir a energia interna de um sistema é transferida para a dificuldade em se definir a energia dos seus constituintes. Para discutir o enunciado da Primeira Lei o texto afirma: “(...) durante qualquer ciclo percorrido por um sistema, a integral cíclica do calor é proporcional a integral cíclica do trabalho.” (VAN WYLEN e SONNTAG, 1995, p.73). Um ciclo é um conjunto de processos adjacentes

## A DEFINIÇÃO DE ENERGIA INTERNA E O ENUNCIADO DA PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA NOS LIVROS DIDÁTICOS

caracterizados pelo retorno do sistema ao estado do qual partiu. Um processo é definido pela trajetória formada pelo conjunto de estados assumidos pelo sistema, portanto um sistema realiza um processo. Como um ciclo é formado por um conjunto de processos, dizemos então que um sistema realiza um ciclo. Assim quando o autor se refere ao sistema como “percorrer um ciclo” entendemos que se trata de “realizar um ciclo”.

Esse enunciado da Primeira Lei é uma equação matemática. O autor discute essa equação de forma ilustrativa, demonstrando que seu interesse são as manipulações e aplicações da Lei. Isso é característico dos textos técnicos, que costumam assumir uma série de princípios não evidentes como verdadeiros. Mas nesse caso, o autor leva o leitor a pensar que o enunciado dessa forma exposto, decorre dos experimentos, direta ou indiretamente, concluindo que a independência da trajetória implica na existência de uma função cuja diferencial é dada pela diferença das diferenciais entre Calor e Trabalho. Portanto, essa função é uma propriedade do sistema e finaliza:

O significado físico da propriedade  $E$  [energia interna] é o de representar toda energia de um sistema em um dado estado. Essa energia pode estar presente numa multiplicidade de formas, tais como: a energia cinética ou a energia potencial do sistema em relação a um sistema de coordenadas, energia associada com o movimento e posição das moléculas; energia associada com a estrutura do átomo; ou sob várias outras formas. No estudo da termodinâmica é conveniente considerar-se separadamente as energias cinéticas e potencial e admitir que as outras formas de energia do sistema sejam representadas por uma única propriedade que chamaremos de energia interna (VAN WYLEN, 1995, p. 75).

O livro Güémez *et al.* (1998) inicialmente evoca o Princípio de Conservação da Energia salientando que essa conservação depende de certas condições: “Energia interna é uma forma do conceito genérico de energia, isto é, uma grandeza que se conserva num dado sistema físico se forem satisfeitas certas condições. Mas a energia interna não teria realmente significado sem um meio de a medir.” (GÜÉMEZ *et al.*, 1998, p. 73). O autor se ocupa com a definição de Energia Interna como uma grandeza necessária e presente em todo sistema para assegurar o Princípio de Conservação da Energia. É necessário que uma grandeza definida como a energia interna exista pois há sistemas que realizam trabalho mesmo mantendo a energia externa invariante. Como na realização de trabalho as variáveis que descrevem os estados do sistema se modificam, ocorre então que a energia interna do sistema deve depender dessas variáveis.

## A DEFINIÇÃO DE ENERGIA INTERNA E O ENUNCIADO DA PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA NOS LIVROS DIDÁTICOS

Com isso, o enunciado da Primeira Lei aparece da necessidade de se medir a variação dessa energia e como comprovação experimental da existência da energia interna: “O trabalho adiabático sobre um sistema termodinâmico (com energias cinéticas e potencial constantes) só depende dos estados inicial e final e não do processo realizado entre estes dois estados. Existe, por isso, a função de estado energia interna” (GÜÉMEZ *et al.*, 1998, p. 75).

O livro Sears e Salinger (1979) apresenta a Primeira Lei da Termodinâmica por meio de uma análise de três processos adiabáticos representados no Diagrama de Clapeyron. Os processos permutam as possibilidades de realização de Trabalho, visando ser o mais geral possível, e, por fim, a análise termina no fato experimental de que embora as trajetórias adiabáticas sejam diferentes, todas realizam o mesmo trabalho. Ao final dessa discussão, o texto apresenta uma síntese na forma da Primeira Lei da Termodinâmica: “O trabalho total é o mesmo em todos os processos adiabáticos entre quaisquer dois estados de equilíbrio tendo a mesma energia cinética e a mesma energia potencial” (SEARS e SALINGER, 1979, p. 66). Manter a energia cinética e potencial do sistema invariante é uma forma de expressar que a energia interna do sistema é também uma forma de energia de modo que o Trabalho realizado por esse sistema terá origem nessa Energia Interna. A partir do enunciado da Primeira Lei da Termodinâmica, os autores argumentam que existe uma propriedade do sistema, tal que a sua variação entre dois estados seja igual ao Trabalho Adiabático que, por sua vez, é o mesmo em todas as trajetórias. A essa propriedade chama-se de Energia Interna. Ainda dessa independência da trajetória, conclui-se que a diferencial da Energia Interna deve ser uma diferencial exata. Nesse momento, não há referências a quais variáveis a Energia Interna é dependente.

O Princípio da Conservação é mencionando mais adiante, ilustrando o trabalho realizado por um sistema com êmbolo em um processo adiabático, quando se mantem a Energia Potencial e Cinética constantes. Ora, se o sistema realiza trabalho mesmo mantendo constante a Energia Potencial e Cinética invariantes, então esse trabalho é realizado à custa da Energia Interna (SEARS e SALINGER, 1979). Por fim, os autores comentam sobre a natureza da Energia Interna:

Note que nenhuma suposição ou afirmação a respeito da natureza da energia interna precisa ser feita a partir de um ponto de vista molecular. Veremos mais tarde, como os métodos da teoria cinética e da termodinâmica estatística tornam possível interpretar a energia interna de um sistema em termos das

## A DEFINIÇÃO DE ENERGIA INTERNA E O ENUNCIADO DA PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA NOS LIVROS DIDÁTICOS

energias das partículas que constituem o sistema. Do ponto de vista da termodinâmica é suficiente saber que existe a propriedade da energia interna e saber como ela é definida (SEARS e SALINGER, 1979, p. 66).

Como os autores comentam, a Termodinâmica não faz modelos que buscam explicar os experimentos como efeito. Toda sua estrutura é com base nas evidências experimentais. Isso resulta uma construção sólida que possivelmente nunca será substituída por outras abordagens como ocorre em outras áreas da Física. Nesse aspecto, o escopo termodinâmico é herdeiro da filosofia natural pensada pelo próprio Isaac Newton. Em uma das suas cartas em resposta às críticas da época aos Principia, Newton escreve:

Não consigo julgar eficaz, para a determinação da verdade, examinar as diversas maneiras pelas quais os fenômenos podem ser explicados, a menos que haja uma perfeita enumeração de todas essas maneiras. O senhor sabe que o método adequado para investigar as propriedades das coisas é deduzi-las de experimentos. E eu lhe disse que a teoria que propus evidenciou-se para mim, não por inferência de que assim é por não ser de outro modo, ou seja, não por ser deduzida apenas de uma refutação de suposições contrárias, mas por ser derivada de experimentos que chegaram a conclusões positivas e diretas. O modo de examiná-la, por conseguinte, é considerando se os experimentos que propus realmente comprovam as partes da teoria a que se aplicam, ou buscando outros experimentos que a teoria possa sugerir para seu exame (WESTFALL, 1995, p. 93).

Oliveira (2005) enfatiza o aspecto matemático operacional em detrimento dos conceitos ao definir a Energia Interna. Inicialmente, com o auxílio do diagrama de Clapeyron, o texto rotula um ponto de referência e atribui a esse ponto uma energia inicial. Em seguida, o texto determina a energia em qualquer ponto escolhendo um processo composto por uma adiabática seguida de uma isocórica. Assim, a energia nesse ponto será a energia do ponto de referência acrescida do Trabalho com o Calor desenvolvido durante o processo. O texto expressa essa relação matematicamente de acordo com os respectivos sinais de Calor e Trabalho e conclui: “Como quaisquer dois estados podem ser ligados por uma adiabática seguida de uma isocórica, então a energia interna do gás está definida para qualquer estado” (OLIVEIRA, 2005, p. 12). Em seguida o texto trata da conservação da energia enunciado o princípio de joule: “(...) a energia de um estado de equilíbrio independe do processo utilizado para atingi-lo (OLIVEIRA, 2005, p. 12).

# A DEFINIÇÃO DE ENERGIA INTERNA E O ENUNCIADO DA PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA NOS LIVROS DIDÁTICOS

O texto relaciona então esse princípio com a discussão anterior no diagrama de Clapeyron, argumentando que a energia em qualquer ponto partindo do ponto de referência será independente da trajetória, generalizando essa afirmação com a expressão matemática na forma B como nos livros de ensino básico. Ainda como nos textos de nível básico, o autor limita a se referir a Primeira Lei da Termodinâmica como o Princípio de Conservação da Energia.

Esse é um típico texto logicamente bem estruturado: primeiro se define a energia interna para em seguida se apresentar a primeira lei. Essa sequência perde a oportunidade de explorar vários aspectos importantes como as características da investigação científica real feita nos laboratórios ou ainda a construção postulacional das leis da termodinâmica. Além disso, apesar do texto tomar um estado como ponto de referência, a ideia de que a energia interna não é uma grandeza que se mede de forma direta, mas apenas a variação dela, é melhor trabalhada partindo-se do tratamento empírico com sistemas modelos tratados pelos livros anteriores.

## 4 Considerações Finais

É notável a predominância da apresentação, nos livros didáticos de Física, quanto à definição da Energia Interna com base na Teoria Cinética. A Teoria Cinética tem a conveniente característica de encerrar em si mesma uma construção lógica-dedutiva, partindo de um modelo simples para se chegar a um resultado inquestionável que, nos livros, culmina em uma expressão matemática para a Função Energia Interna. Por outro lado, uma definição de Energia Interna com base na Termodinâmica exige uma ampla discussão da transformação de Calor em Trabalho, uma descrição experimental dos dispositivos que realizam essa transformação e uma noção clara de Variáveis de Estado, de modo que o estilo reducionista simplista que os livros optam por não abordar, mas optam pela abordagem Cinético-Molecular mais estruturada didaticamente.

Nenhuma das obras de nível médio mais recente, publicadas após o ano 2000, faz uma referência satisfatória à natureza experimental que culminou na Primeira Lei da Termodinâmica; mesmo no conjunto dos livros mais antigos, publicados antes do ano 2000, a exceção do PSSC (1966). As obras de nível superior, por sua vez, são capazes de contemplar esse aspecto. Correia e Ortigoza (2015) já notam que: “a maioria dos livros analisados faz uma abordagem quantitativa do Princípio de Conservação da Energia e que, apesar dos avanços tecnológicos, em todas as vias de informação, detecta-se pobreza de abordagem

## A DEFINIÇÃO DE ENERGIA INTERNA E O ENUNCIADO DA PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA NOS LIVROS DIDÁTICOS

fenomenológica nos princípios da Física” (CORREIA e ORTIGOZA, 2015, p. 95) concordando com o resultado dessa pesquisa para a Primeira Lei da Termodinâmica. A abordagem quantitativa matemática em detrimento dos conceitos também se repete em outros conceitos físicos. Correia e José (2011) observam que o conceito de Trabalho de uma força em muitos dos livros didáticos se limitam apenas ao uso da expressão matemática e vimos que similar acontece com a Função Energia Interna para um gás.

A Primeira Lei da Termodinâmica garante que existe uma função característica do sistema que depende apenas do estado inicial e final de um sistema. Dentre as obras de nível médio analisadas, somente o livro Gaspar (2005) menciona esse aspecto que deveria ser melhor explorado.

Outro problema identificado nos livros analisados foi a limitação de um sistema ao caso ideal para definir a Energia. Isso ocorre com ainda mais destaque quando o caso ideal é evocado sem nenhuma menção aos sistemas reais que, inclusive, são abundantes em exemplos no cotidiano. Uma discussão experimental caberia no momento em que se analisa os processos de conversão de Calor em Trabalho. Infelizmente, o reducionismo dos conteúdos é um padrão nos livros de Física. Correia e José (2013) também notaram esse reducionismo nos livros em relação ao conceito de Entropia: “Via de regra, os livros pesquisados apenas abordam algumas propriedades, limitando a alguns exemplos matematizados e simples, mas não estabelecem conexões as suas propriedades físicas e a sua quantidade.” (CORREIA e JOSÉ, 2013, p. 209)

Da análise observa-se que a discussão apresentada pelos livros tende a manter o mesmo estilo de acordo com os autores presentes na obra. Observamos isso nos livros que definem a Energia Interna somente para o gás ideal. Essas obras são, como vimos, os livros: Bonjorno *et al.* (2001), Bonjorno *et al.* (2013), Bonjorno *et al.* (2016), Ferraro, Soares e Fogo (2009), Gonçalves Filho e Toscano (2010), Gonçalves Filho e Toscano (2016) e Penteado e Torres (2001). Os autores do livro Bonjorno *et al.* (1998) que foi publicado antes do ano 2000 também estão presentes nos livros Bonjorno *et al.* (2013), Bonjorno *et al.* (2016) e Bonjorno *et al.* (2001). Os livros Bonjorno *et al.* (2013) e Bonjorno *et al.* (2016) inclusive são obras aprovadas pelo PNLDEM 2015 e 2018 respectivamente. O mesmo ocorre com os autores do livro Gonçalves Filho e Toscano (2010) que também escreve o livro Gonçalves Filho e Toscano (2016). A única exceção são os autores do livro Penteado e Torres (2001) que escreve o livro Soares, Ferraro e Santos (1984) classificado em outro grupo. Seguindo com a tese, encontramos mais dois casos que a corroboram: o livro Luz e Álvares (2007) publicado depois do ano 2000

## A DEFINIÇÃO DE ENERGIA INTERNA E O ENUNCIADO DA PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA NOS LIVROS DIDÁTICOS

e não aprovado pelo PNLDEM, não reduz o estudo da Energia Interna ao caso ideal e apresenta uma breve discussão do conceito de calórico. Os autores do livro Luz e Álvares (2007) estão presentes no livro Luz e Álvares (2010) aprovado no PNLDEM 2012 e o texto também faz essa abordagem. O livro Ramalho Júnior, Ferraro e Soares (1993) publicado antes do ano 2000 que pode induzir o leitor a pensar o experimento de Joule como uma comprovação de resultados teóricos do modelo Cinético também está presente na obra Ramalho Júnior, Ferraro e Soares (2003) publicado após o ano 2000 também comete esse erro.

Podemos concluir que os livros de nível superior apresentam definições de Energia Interna com mais fidelidade ao seu real significado. Uma constatação é que embora possa parecer que a Primeira Lei da Termodinâmica define Energia Interna, a representação matemática dessa lei na Termodinâmica garante a Conservação da Energia. Essa equação quantifica a variação da Energia Interna, uma vez que quantificar a Energia Interna de um sistema é irrelevante. Por outro lado, não são os livros aprovados pelo PNLDEM que definem Energia Interna com mais clareza. E ainda, definir Energia Interna como a soma de todas as energias de um sistema, embora seja uma verdade, não esclarece.

Finalizando, definir Energia Interna, de modo simplificado, ainda é um desafio.

### Referências

ANNA, B. S. *et al.* **Conexões com a Física**. São Paulo: Moderna, 2010. v. 2: Estudo do calor, óptica geométrica e fenômenos ondulatórios. p. 165 – 168.

BACHELARD, G. **A formação do espírito científico**: Uma contribuição para a psicanálise do conhecimento. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

BÔAS, N. V.; DOCA, R. H.; BISCOLOLA, G. J. **Tópicos de Física 2**. 12ª ed. São Paulo: Saraiva, 1995. v.2: Termologia, ondas e óptica. p. 76.

BONJORNO, J. R. *et al.* **Física**. 2ª ed. São Paulo: FTD, 2013. v.2: Termologia, óptica e ondulatória. p. 91 – 94.

\_\_\_\_\_. **Temas de Física 2**. São Paulo: FTD, 1998. v.2: Termologia, óptica geométrica e ondulatória p. 115.

\_\_\_\_\_. **Física**. 3ª ed. São Paulo: FTD, 2016. v. 2: Terminologia, óptica, ondulatória. p. 93 e 104.

\_\_\_\_\_. **Física completa**. 2ª ed. São Paulo: FTD, 2001. p. 257.

# A DEFINIÇÃO DE ENERGIA INTERNA E O ENUNCIADO DA PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA NOS LIVROS DIDÁTICOS

BRASIL, **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+). Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias.** Brasília: MEC, 2006.

CALÇADA, D. S; SAMPAIO, J. L. **Física Clássica.** São Paulo: Atual, 1998. v.2: Termologia, fluidodinâmica e análise dimensional. p. 229 – 286.

CARRON, W; GUIMARÕES, O. **Física.** São Paulo: Moderna, 1999. p. 121.

CORREIA, J. J. Definições de Temperatura em Fontes Didáticas. **Revista Binacional Brasil – Argentina.** v. 6, n. 1, p. 201-220, jun. 2017.

CORREIA, J. J; JOSÉ, W. D. O conceito de entropia e as leis da termodinâmica em livros didáticos de física. **Atas do X Colóquio do Museu Pedagógico.** Vitória da Conquista, v. 10, p. 199 – 212, ago. 2013.

CORREIA, J. J; JOSÉ, W. D. O conceito de trabalho de uma força em livros didáticos. **IX colóquio do Museu Pedagógico.** Vitória da Conquista, v. 9, p. 2123 – 2136, out. 2011.

CORREIA, J. J; MAGALHÃES, L. D. R.; LIMA, L. S. Obstáculos Epistemológicos e o Conceito de Calor. **Scientibus Série Ciências Físicas 04.** p. 1 – 10, 2008.

CORREIA, J. J; ORTIGOZA, L. V. O conceito de conservação de energia em Livros didáticos: uma análise histórico-didática. **Revista Binacional Brasil – Argentina.** v. 4, n. 2, p. 91 – 103, dez. 2015.

COSTA, E. C. **Física Industrial – Enciclopédia Técnica Universal.** Tomo I, termodinâmica, I Parte. Porto Alegre: Globo, 1971.

DEL GIUDICE NETO, L. **Física.** São Paulo: FTD S. A, 1982. v. 2: Termologia, óptica e movimento ondulatório. p. 95 – 97.

FERRARO, N. G; SOARES, P. A. de T; FOGO, R. **Física básica.** São Paulo: Atual, 2009. p. 324 – 326.

FEYNMAN, R. P; LEIGHTON, R. B; SANDS, M. **Lições de física de Feynman.** Porto Alegre. Bookman, 2008.

GASPAR, A. **Física.** São Paulo: Ática, 2005. p. 345 – 347 e 374 – 375.

GIL PÉREZ. D. et. al. Para uma Imagem Não Deformada do Trabalho Científico. **Ciência e Educação,** v.7, n.2, p. 125 – 153, 2001.

GONÇALVES FILHO, A; TOSCANO, C. **Física e realidade.** São Paulo: Scipione, 2010. p. 82.

GONÇALVES FILHO, A; TOSCANO, C. **Física: interação e tecnologia.** 2ª ed. São Paulo. Leya, 2016. v. 2. p. 21 e 89.

# A DEFINIÇÃO DE ENERGIA INTERNA E O ENUNCIADO DA PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA NOS LIVROS DIDÁTICOS

GONÇALVES, D. **Física do científico e do vestibular**. Rio de Janeiro: Ao livro técnico S.A, 1974. p.171 – 173.

REF. **Leitura de física – física térmica**. São Paulo: IFUSP, 1998. p. 73 – 80. Disponível em: <http://www.if.usp.br/gref/termo/termo4.pdf>. Acesso: 19 de setembro de 2018.

GÜÉMEZ, J. *et al.* **Fundamentos de termodinâmica do equilíbrio**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1998.

KAZUHITO, Y; FUKU, L. F. **Física para o ensino médio**. 4ª ed. São Paulo: Saraiva, 2016. v. 2: Termologia, óptica, ondulatória. p. 87 – 88 e 91 – 92.

LUZ, A. M. R. da; ÁLVARES, B. A. **Curso de Física**. São Paulo: Scipione, 2010. v. 2. p.72 – 7 e 89 – 90.

LUZ, A. M. R. da; ÁLVARES, B. A. **Física: ensino médio**. São Paulo: Scipione, 2007. v. 2. p. 105 – 106 e 118.

MACHADO, F. **Física para o colégio**. 2ª ed. São Paulo: Editora Scipione: 1987. p. 110.

MAIA, L. P. M.; **Problemas de calor e acústica: Física para o colégio e vestibular**. Rio de Janeiro: Nacionalista, 1960. p. 95 – 96.

MELO JÚNIOR, E. **Física: Geral e elementar**. Minas Gerais: Lê, 1985. v.2. p. 84 – 88.

MOREIRA, M. A. **Energia, entropia e irreversibilidade**. Porto Alegre: Instituto de Física – UFRGS, 1998.

MORETTO, V. P. **Física em módulos de ensino**. São Paulo: Ática, 1982. v. 2: Ótica, ondas e calor. p. 442 – 454.

NETTO, H. P; CARNEIRO NETO, O. de S; RODRIGUES, O. **Fundamentos da Física Geral**. São Paulo: Nobel, 1983. v. 2. p. 91 – 93.

OLIVEIRA, M. J. **Termodinâmica**. Editora Livraria da Física. São Paulo. 2005.

OLIVEIRA, T. S. F. O silogismo perfeito em Aristóteles. **Argumentos**, Fortaleza, v. 8, n. 16, p. 51, jul/dez. 2016.

PARADA, A. A; CINQUETTO, M. J. **Física**. São Paulo: Scipione, 1985. v.2: Termologia, óptica e ondas p. 88 – 91.

PARANÁ. D. N. **Física**. São Paulo: Ática, 1994. p. 233 – 234.

PENTEADO, N; TORRES, T. **Física ciência e tecnologia**. São Paulo: Moderna, 2001. p. 268 – 269.

# A DEFINIÇÃO DE ENERGIA INTERNA E O ENUNCIADO DA PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA NOS LIVROS DIDÁTICOS

PIETROCOLA, M *et al.* **Física em contextos**. São Paulo: Editora do Brasil, 2016. v. 2. p. 164 – 165.

PSSC, Physical Science Study Committee. **Física**: parte 3. São Paulo: Edart, 1966. p. 138 – 152.

RAMALHO JUNIOR, F.; FERRARO, N. G; SOARES, P. A. de T. **Os fundamentos da Física**. São Paulo: Moderna, 2003. v. 2: Termologia, óptica e ondas. p. 143 – 144.

RAMALHO JUNIOR, F; FERRARO, N. G; SOARES, P. A. de T. **Os fundamentos da física**. 6ª ed. São Paulo: Moderna. 1993. p. 177 – 178.

SAMPAIO, J. L; CALÇADA, C. S. **Física**. 2ª ed. São Paulo: Atual, 2005a. p. 199.

SAMPAIO, J. L; CALÇADA, C. S. **Universo da Física 2**: Hidrostática, termologia, óptica. 2ª ed. São Paulo: Atual, 2005b. p.284 – 285.

SEARS, F.W; SALINGER, G.L. **Termodinâmica, teoria cinética e termodinâmica estatística**. 3ª ed. São Paulo: Guanabara Dois S.A, 1979.

SILVA, C. X. da; BARRETO FILHO, B. **Física aula por aula**. São Paulo: FTD, 2010. v.2: Mecânica dos fluidos, termologia, óptica. p. 190 – 191.

SOARES, P. A. T.; FERRARO, N. G.; SANTOS, J. I. C. **Aulas de Física**. São Paulo: Atual, 1984. v.2. p. 110 – 112.

TORRES, C. M. A; FERRARO, N. G; SOARES, P. A. de T. **Física, ciência e tecnologia**. São Paulo: Moderna, 2010.

UENO, P. T; YAMAMOTO, I. **Estudos de física**. São Paulo: Moderna, 1982. v.2. p. 123 – 126.

VÁLIO, A. B. M. et. al. **Ser protagonista**: física. 3ª ed. São Paulo: Edições SM, 2016. v.2. p.12 e 92 – 94.

VAN WYLEN, G.J., SONNTAG, R. J. **Fundamentos da termodinâmica clássica**. 4ª ed. São Paulo. Editora Blucher, 1995.

WESTFALL, R.S. **A vida de Isaac Newton**. Tradução: Vera Ribeiro. Rio de Janeiro: Nova Fronteira S.A, 1995. Tradução de: The life of Isaac Newton.

WUO, W. **A Física e os livros**: uma análise do saber em Física nos livros didáticos adotados para o ensino médio. São Paulo: EDUC/FAPESP, 2000.

ZEMANSKY, M.W. **Calor e Termodinâmica**. 5ª ed. Rio de Janeiro. Guanabara Dois S.A, 1978.

# A DEFINIÇÃO DE ENERGIA INTERNA E O ENUNCIADO DA PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA NOS LIVROS DIDÁTICOS

## Sobre os autores:

**Jornandes Jesús Correia.** Licenciado e Bacharel em Física pela Universidade Federal da Bahia (UFBA) e concluiu a Pós-Graduação *Lato Sensu* em Matemática Superior pela Fundação Educacional Severino Sombra. É Mestre em Meteorologia Agrícola, pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), na Área de Radiação Solar e Terrestre e Doutor em Física pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), na Área de Física Atômica e Molecular. Desenvolve trabalhos na Área de Ensino de Física no Grupo de Pesquisa DIDÁTICA DAS CIÊNCIAS EXPERIMENTAIS E DA MATEMÁTICA (GDICEM), junto ao Museu Pedagógico Casa Padre Palmeira (MP). É Professor Pleno vinculado ao Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas (DCET), Campus de Vitória da Conquista, da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB). Endereço eletrônico: [jornandes.correia@uesb.edu.br](mailto:jornandes.correia@uesb.edu.br)

**Wanderson Costa Oliveira.** Estudante de graduação do curso de Licenciatura em Física, na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Campus de Vitória da Conquista. Endereço eletrônico: [jwanderson36@gmail.com](mailto:jwanderson36@gmail.com)