

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO

Rosicler Matiasso

ENSINO DA PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA  
POR MEIO DE SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS  
NO CONTEXTO DA METODOLOGIA DA SALA DE  
AULA INVERTIDA

Passo Fundo

2022

Rosicler Matiasso

ENSINO DA PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA  
POR MEIO DE SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS  
NO CONTEXTO DA METODOLOGIA DA SALA DE  
AULA INVERTIDA

Dissertação apresentada ao curso de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, do Instituto de Ciências Exatas e Geociências, da Universidade de Passo Fundo, sob a orientação do Dr. Juliano Tonezer da Silva e coorientação do Dr. Carlos Ariel Samudio Pérez.

Passo Fundo

2022

CIP – Catalogação na Publicação

---

M433e Matiasso, Rosicler

Ensino da primeira lei da termodinâmica por meio de simulações computacionais no contexto da metodologia da sala de aula invertida / Rosicler Matiasso. – 2022.

104 f. : il., color. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Juliano Tonezer da Silva.

Coorientador: Prof. Dr. Carlos Ariel Samudio Pérez.

Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) –Universidade de Passo Fundo, 2022.

1. Física - Estudo e ensino. 2. Ensino - Meios auxiliares. 3. Didática. 4. Tecnologia educacional. I. Silva, Juliano Tonezer da, orientador. II. Pérez, Carlos Ariel Samudio, coorientador. III. Título.

CDU: 372.853

---

Catalogação: Bibliotecário Luís Diego Dias de S. da Silva – CRB 10/2241

Rosicler Matiasso

ENSINO DA PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA  
POR MEIO DE SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS  
NO CONTEXTO DA METODOLOGIA DA SALA DE  
AULA INVERTIDA

A banca examinadora abaixo, APROVA em 29 de março de 2022, a Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática – Mestrado Profissional da Universidade de Passo Fundo, como requisito parcial de exigência para obtenção de grau de Mestre em Ensino de Ciências e Matemática, na linha de pesquisa Tecnologias de informação, comunicação e interação aplicadas ao ensino de Ciências e Matemática.

Dr. Juliano Tonezer da Silva – Orientador  
Universidade de Passo Fundo

Dr. Carlos Ariel Samudio Pérez – Coorientador  
Universidade de Passo Fundo

Dr. Nelson Luiz Reyes Marques  
Instituto Federal Sul-rio-grandense

Dr. Luiz Marcelo Darroz  
Universidade de Passo Fundo

## RESUMO

A presente pesquisa parte da necessidade de contribuir com a qualificação do processo de ensino-aprendizagem em Física, por meio da utilização de estratégias para o ensino da Primeira Lei da Termodinâmica. Tem como objetivo geral investigar as potencialidades da utilização da metodologia sala de aula invertida associada às simulações computacionais no processo de ensino da Termodinâmica com alunos do segundo ano do Ensino Médio. As metodologias ativas, as quais envolvem na prática o ensino presencial e *online*, despertam o interesse e a autonomia do aluno para a pesquisa e a curiosidade do uso das ferramentas tecnológicas, o que vem se tornando uma das formas de ensino, também referenciado por autores como “ensino híbrido”. O ensino híbrido pode ser classificado em modelos de ensino, dentre os quais se encontra o *flipped classroom* ou a sala de aula invertida, um modelo pedagógico que inverte o ensino tradicional de aprendizagem. As simulações computacionais permitem ao estudante alterar valores iniciais dos parâmetros das variáveis e com isso observar como se comporta o fenômeno físico perante as mudanças. O Produto Educacional, embasado na metodologia ativa sala de aula invertida, foi estruturado em três momentos: pré-aula, durante a aula e pós-aula, nos quais se conceitua e se caracteriza Trabalho, Calor, Energia Interna e a Primeira Lei da Termodinâmica. Metodologicamente, a pesquisa proposta neste estudo caracteriza-se como abordagem qualitativa; em termos de seus objetivos, como explicativa; quanto aos procedimentos técnicos, como pesquisa participante. O produto didático proposto será avaliado pela técnica Delphi. Para tal, será submetido à avaliação qualitativa de onze professoras e professores da Educação Básica – com formação em pós-graduação, que atuam (ou atuaram) como docentes em turmas de alunos do 2º ano do Ensino Médio, na disciplina de Física –, por meio de um protocolo de avaliação, produzido especificamente para analisar diferentes aspectos do produto didático em questão. Mediante esta avaliação, por especialistas e que atuam em sala de aula, obedecendo as etapas do método Delphi, foi possível concluir que os objetivos geral e específicos da dissertação foram cumpridos. E que o Produto Educacional oportuniza ao estudante estratégia de compreensão, interpretação e representação gráfica dos conceitos relacionados à Primeira Lei da Termodinâmica. Por fim, destaca-se que a presente dissertação é composta de um Produto Educacional na forma de sequência de atividades desenvolvida com o objetivo de fornecer subsídio didático-metodológico aos professores de Física do Ensino Médio e que estará disponível em <<http://educapes.capes.gov.br/handle/capes/701629>>.

**Palavras-chave:** Ensino de Física. Sala de aula invertida. Simulações computacionais. Primeira Lei da Termodinâmica.

## ABSTRACT

This research is based on the need to contribute to the qualification of the teaching-learning process in Physics, through the use of strategies for teaching the 1st Law of Thermodynamics. Its general objective is to investigate the potential of using the inverted classroom methodology associated with computer simulations in the process of teaching Thermodynamics with high school students. Active methodologies, which in practice involve in-person and online teaching, arouse the interest and autonomy of the student for research and curiosity in the use of technological tools, which has become one of the forms of teaching, also referenced by authors as “hybrid education”. Hybrid teaching can be classified into teaching models, including flipped classroom teaching, or inverted classroom, a pedagogical model that inverts the traditional teaching of learning. Computer simulations allow the student to change initial values of variable parameters and thus observe how the physical phenomenon behaves in the face of changes. The educational product, based on the active inverted classroom methodology, was structured in three moments: pre-class, during class and after-class, in which it conceptualizes and characterizes Work, Heat, Internal Energy and the 1st law of Thermodynamics. Methodologically, the research proposed in this study is characterized as a qualitative approach, and in terms of its objectives as explanatory and in terms of technical procedures as participatory research. The proposed didactic product will be evaluated using the Delphi technique and, for this purpose, it will be submitted to the qualitative evaluation of eleven teachers from the Basic Education - with postgraduate training, who work (or acted) as teachers in classes of 2nd year high school students, in the discipline of Physics -, through an assessment protocol, produced specifically to analyze different aspects of the didactic product in question. Through this evaluation, by specialists who work in the classroom, following the steps of the Delphi method, it was possible to conclude that the general and specific objectives of the dissertation were fulfilled. And that the Educational Product provides students with a strategy of understanding, interpretation and graphic representation of concepts related to the First Law of Thermodynamics. Finally, it is noteworthy that this dissertation (in the qualification phase) is composed of an educational product in the form of a sequence of activities developed with the aim of providing didactic-methodological support to high school physics teachers and which will be available in <<http://educapes.capes.gov.br/handle/capes/701629>>.

**Keywords:** Physics teaching. Flipped classroom. Computer simulations. 1st law of thermodynamics.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ilustração esquemática do estado de agitação molecular em função da temperatura. ....	24
Figura 2 - Termômetros de uso comum.....	25
Figura 3 - Escalas termométricas. ....	26
Figura 4 - Cilindros. ....	27
Figura 5 - Diagrama do Trabalho dado pelo volume variando e pressão constante.....	28
Figura 6 - Diagrama do Trabalho dado pelo volume e pressão variando.....	29
Figura 7 - Representação da separação das moléculas devido ao aumento da agitação térmica. ....	30
Figura 8 - Seringas.....	32
Figura 9 - Representação esquemática experimento transformação Isobárica.....	33
Figura 10 - Representação transformação Isovolumétrica. ....	34
Figura 11 - Panela com pipoca. ....	39
Figura 12 - Captura da tela do simulador. ....	43
Figura 13 - Modelos híbridos de aprendizagem. ....	46
Figura 14 - Os três momentos da Sala de Aula Invertida.....	50
Figura 15 - Organização da Sala de Aula Invertida.....	62
Figura 16 - Síntese das avaliações à afirmação 1 da parte introdutória do PE.....	68
Figura 17 - Síntese das avaliações à afirmação 2 da parte introdutória do PE.....	69
Figura 18 - Síntese das avaliações à afirmação 3 da parte introdutória do PE.....	69
Figura 19 - Síntese das avaliações à afirmação 4 da parte introdutória do PE.....	70
Figura 20 - Síntese das avaliações à afirmação das atividades da Etapa 1 – pré-aula do PE.....	71
Figura 21 - Síntese das avaliações à afirmação das atividades da Etapa 1 – momento durante a aula do PE. ....	72
Figura 22 - Síntese das avaliações das atividades da Etapa 1 – momento pós-aula do PE. ....	72
Figura 23 - Síntese das avaliações à afirmação das atividades da Etapa 2 – momento pré-aula do PE.....	74
Figura 24 - Síntese das avaliações à afirmação das atividades da Etapa 2 – momento durante a aula do PE. ....	74
Figura 25 - Síntese das avaliações à afirmação das atividades da Etapa 2 – momento pós-aula do PE. ....	75

Figura 26 - Síntese das avaliações à afirmação das atividades da Etapa 3 – momento pré-aula do PE.....	76
Figura 27 - Síntese das avaliações à afirmação das atividades da Etapa 3 – momento durante a aula do PE. ....	77
Figura 28 - Síntese das avaliações à afirmação das atividades da Etapa 3 – momento pós-aula do PE. ....	77
Figura 29 - Síntese das avaliações do questionário final do PE. ....	79
Figura 30 - Síntese das avaliações à primeira afirmação da etapa das perguntas gerais do PE.....	80
Figura 31 - Síntese das avaliações à segunda afirmação da etapa das perguntas gerais do PE.....	81
Figura 32 - Síntese das avaliações à terceira afirmação da etapa das perguntas gerais do PE.....	82
Figura 33 - Síntese das avaliações à quarta afirmação da etapa das perguntas gerais do PE.....	82

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Relação das dissertações pesquisadas. ....	53
Quadro 2 - Descrição das diferentes rodadas de implementação do Delphi. ....	59
Quadro 3 - Sistematização do PE. ....	63
Quadro 4 - Organização dos encontros da sequência de atividades. ....	64
Quadro 5 - Dados dos avaliadores. ....	67
Quadro 6 - Síntese das respostas dos avaliadores.....	83

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BNCC	Base Nacional Comum Curricular
PE	PE
EJA	Educação de Jovens e Adultos
TDIC	Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação
CGS	Centímetro, grama e segundo
SI	Sistema Internacional
C	Celsius
K	Kelvin
F	Fahrenheit
Q	Quantidade de calor
$\tau$ (tau)	Trabalho
p	Pressão
V	Volume
T	Temperatura
$\Delta U$	Varição de Energia interna
n	Número de mols do gás
R	Constante universal dos gases perfeitos

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>TERMODINÂMICA</b> .....	<b>16</b>
<b>2.1</b>	<b>Resgate histórico da Termodinâmica</b> .....	<b>16</b>
<b>2.2</b>	<b>A Termodinâmica nos livros didáticos</b> .....	<b>17</b>
<b>2.3</b>	<b>A Termodinâmica na BNCC</b> .....	<b>19</b>
<b>2.4</b>	<b>A importância do estudo da Termodinâmica</b> .....	<b>20</b>
<b>2.5</b>	<b>Compreendendo a Termodinâmica</b> .....	<b>21</b>
2.5.1	<i>Conceitos fundamentais</i> .....	22
2.5.1.1	Calor.....	22
2.5.1.1.1	Quantidade de calor .....	22
2.5.1.1.2	Calor específico .....	23
2.5.1.2	Temperatura .....	23
2.5.1.2.1	Termômetros .....	24
2.5.1.2.2	Escalas de temperatura.....	25
2.5.1.3	Trabalho .....	27
2.5.2	<i>Fenômenos térmicos</i> .....	29
2.5.2.1	Dilatação térmica .....	29
2.5.3	<i>Propriedades térmicas da matéria</i> .....	30
2.5.3.1	Gases .....	30
2.5.4	<i>A Primeira Lei da Termodinâmica</i> .....	35
2.5.4.1	Energia Interna.....	36
2.5.4.2	Processos Termodinâmicos.....	37
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>40</b>
<b>3.1</b>	<b>Simulações computacionais</b> .....	<b>40</b>
<b>3.2</b>	<b>Metodologia ativa sala de aula invertida</b> .....	<b>43</b>
3.2.1	<i>Metodologias ativas – modelos híbridos</i> .....	43
3.2.2	<i>Sala de Aula Invertida</i> .....	47
<b>3.3</b>	<b>Estudos relacionados</b> .....	<b>51</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA DA PESQUISA</b> .....	<b>58</b>
<b>5</b>	<b>PRODUTO EDUCACIONAL E SUA APLICAÇÃO</b> .....	<b>62</b>
<b>6</b>	<b>ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	<b>67</b>
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>87</b>

<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>90</b>
<b>APÊNDICE A - Convite e instruções para avaliadores do PE.....</b>	<b>93</b>
<b>APÊNDICE B - Cadastro de avaliador do PE.....</b>	<b>95</b>
<b>APÊNDICE C - Questionário de avaliação do PE .....</b>	<b>96</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Pesquisas indicam que o ensino de Física no Ensino Médio pouco tem despertado a atenção dos estudantes, pois as aulas são basicamente expositivas, com imagens estáticas e com uso excessivo da física matemática. Muitas vezes, não há espaço em sala de aula para discussão de temas de interesse dos discentes, prevalecendo uma desvalorização dos conhecimentos que emergem fora da sala de aula, o que ocasiona um afastamento do contexto vivido e do que é estudado na escola. Assim, as aulas, frequentemente, se limitam a um repertório semelhante de metodologias, que pouco propicia a independência e autonomia do pensamento dos alunos, pouco alimenta a criticidade e o diálogo e apenas enfatiza a memorização das informações, em que o centro do processo de ensino-aprendizagem é o professor. A falta de contextualização e o pouco uso de experimentos reais ou virtuais e das tecnologias modernas são aspectos que limitam o aprendizado da Física pelos alunos. Nessa linha, Bonadiman e Nonenmacher (2007, p. 196) afirmam:

As causas que costumam ser apontadas para explicar as dificuldades na aprendizagem da física são múltiplas e as mais variadas. [...], o enfoque demasiado na chamada física matemática em detrimento de uma física mais conceitual, o distanciamento entre o formalismo escolar e o cotidiano dos alunos, a falta de contextualização dos conteúdos desenvolvidos com as questões tecnológicas, a fragmentação dos conteúdos e a forma linear como são desenvolvidos em sala de aula, sem a necessária abertura para as questões interdisciplinares, a pouca valorização da atividade experimental e dos saberes do aluno, a própria visão da ciência, e da física em particular, geralmente entendida e repassada para o aluno como um produto acabado.

A Física é uma ciência com forte viés experimental e está diretamente ligada ao nosso cotidiano. Quando o assunto trabalhado em aula é abordado através da aula experimental e/ou simulações, o aluno consegue visualizar melhor o fenômeno físico e, em muitos casos, relacioná-lo com o seu dia a dia. Esta ideia é importante, pois possibilita expandir o aprendizado do aluno, o que dificilmente somente a aula expositiva consegue possibilitar.

Atualmente têm-se diversas formas de inserir atividades práticas nas aulas de Física, de modo que não sejam apenas expositivas. Uma possibilidade é desenvolver sequências didáticas integrando experimentos reais e virtuais, conforme Moro (2015, p. 12) aponta:

A atividade experimental, aliada às simulações, pode ser uma possibilidade de transição de um modelo de ensino transmissivo, baseado em cópias e centrado na atividade do professor, para a construção de formas alternativas de ensinar Física. A inserção de atividades experimentais – reais e virtuais – durante as aulas de Física pode ser uma possibilidade para o professor modificar o ensino baseado única e exclusivamente em aulas expositivas.

Nesse sentido, para Medeiros e Medeiros (2002), as simulações computacionais podem ser vistas como representações ou modelagens de objetos específicos reais ou imaginados, de sistemas ou fenômeno, de forma que uma simulação seja resultado dos modelos que expressam uma situação real descrita por uma linguagem matemática, a qual torna possível o processamento da realidade virtual pelos computadores, fortalecendo a proposição de que a existência de um simulador computacional pressupõe um modelo de suporte que lhe confere significado. Justifica-se a exploração das simulações computacionais quando uma determinada experiência é de difícil reprodução pelos estudantes. Isso porque elas carregam um potencial tecnológico capaz de promover a interatividade entre o computador e o aprendiz e se torna uma ferramenta didática para o professor elucidar conteúdos em que a realidade física está distante da realidade do aluno. Por outro lado, deve-se ter cuidado com o uso das simulações computacionais ao inferir que elas são equiparadas aos experimentos reais. Medeiros e Medeiros (2002) destacam que é preciso estar em alerta para o fato de que essa tecnologia pode, paradoxalmente, comunicar imagens distorcidas da realidade com eficiência igualmente maior do que as figuras estáticas. Nesse sentido, pelo fato de as simulações computacionais terem base em modelos reais, os professores devem se apropriar delas e identificar os limites de validade do modelo para evitar possíveis danos gerados pelas simulações, tendo em vista que elas não são cópias fiéis do real.

Portanto, é possível melhorar o ensino de Física nas escolas brasileiras, mas para isso se faz necessário reformular, em sua maioria, a maneira como vêm sendo trabalhadas as aulas. Somente o modelo de ensino baseado na transmissão passiva do conhecimento não atende mais às expectativas e necessidades de uma comunidade escolar inserida em uma sociedade que valoriza a inovação e a transformação. Assim, nessa perspectiva, este estudo provém do desejo de encontrar formas de incluir as tecnologias digitais no ensino de Física.

Desde muito cedo, descobri meu interesse pelos números, pois adorava fazer “continhas” nos anos iniciais da Educação Básica. Ao longo de todo o Ensino Fundamental e Ensino Médio, minhas melhores notas eram na área das exatas e meu gosto pelos cálculos só aumentava. No ano de 2000, ingressei no curso de Licenciatura em Matemática com habilitação em Física na Universidade Regional Integrada (URI) – *Campus* de Erechim. No decorrer do curso já me sentia completamente apaixonada, não apenas pelos números, mas pelo conhecimento científico da Matemática, da Física e da docência. Após me formar, iniciei uma especialização em Matemática e Física na mesma instituição, com conclusão em 2006.

No ano de 2009, ingressei no magistério público estadual, desempenhando ações éticas, responsáveis e competentes na função de docente, ministrando aulas de Física e

Matemática para o Ensino Médio, modalidade regular e modalidade Ensino de Jovens e Adultos (EJA), totalizando 40 horas semanais em duas escolas no município de Erechim, RS. Ao longo desses onze anos como professora de Física, vi a insatisfação com que os alunos reagem a esta disciplina por não conseguirem compreender os fenômenos físicos e nem resolver as situações problemas.

Na disciplina de Física, existem alguns conteúdos que são muito abstratos e que dificultam a sua contextualização através de experimentos. Por este motivo, os professores recorrem às aulas tradicionais em que o aluno é o agente passivo e o professor o agente ativo. Um desses conteúdos é a Termodinâmica, que pode ser entendida como o ramo da Física que estuda as relações de troca entre o calor e o trabalho realizado na transformação de um sistema físico, quando ele interage com o meio externo. Ou seja, se estuda como a variação da temperatura, da pressão e do volume interfere nos sistemas físicos.

Corroborando este cenário, muito tem se debatido, pesquisado e estudado a respeito de novas metodologias de ensino em que o aluno possa ser o agente ativo e o professor também possa atuar como mediador. As metodologias ativas são um desses métodos que podem se enquadrar nos modelos de ensino *on-line*, híbrido e colaborativo. O ensino híbrido tem alguns modelos de ensino, dentre eles o ensino *flipped classroom*, ou Sala de Aula Invertida, que, em linhas gerais, preconiza que o que é tradicionalmente realizado em sala de aula pode ser executado em casa, e o estudo de casa pode ser realizado em sala de aula.

Nesse sentido, o tema principal desta pesquisa é o processo de ensino da Primeira Lei da Termodinâmica no segundo ano do Ensino Médio, por meio de simulações computacionais e de metodologias ativas, especificamente a Sala de Aula Invertida. No entanto, é notório que o uso das tecnologias de informação e comunicação trouxe resultados satisfatórios quanto à compreensão de conceitos físicos, em especial, o uso de simulações computacionais. Segundo Cavalcante et al. (2008, p. 1), “o computador é um instrumento muito poderoso para auxiliar o ensino e aprendizagem de Física, principalmente nas aulas experimentais”. Afinal, como defende Mees (2004, p. 107), “[...] estamos num mundo de constante transformação, a introdução de novas tecnologias no ensino, como o uso do computador e da internet, podem trazer benefícios significativos para o ensino de Física”.

Assim, preconiza-se a inserção das TIC na prática pedagógica, em destaque a utilização das simulações computacionais, como ferramenta que cativa pela visualização e possibilita ao educando maior entusiasmo e aprendizagem durante as aulas. De acordo com a Base Nacional Comum Curricular (BNCC),

Na Educação Básica, a área de Ciências da Natureza deve contribuir com a construção de uma base de conhecimentos contextualizada, que prepare os estudantes para fazer julgamentos, tomar iniciativas, elaborar argumentos e apresentar proposições alternativas, bem como fazer uso criterioso de diversas tecnologias (BRASIL, 2018, p. 472).

A BNCC também contempla o desenvolvimento de competências e habilidades relacionadas ao uso crítico e responsável das tecnologias digitais e ao próprio uso das tecnologias, dos recursos e das linguagens digitais. É o que destaca a 5ª competência geral da BNCC:

Compreender, utilizar e criar tecnologias digitais de informação e comunicação de forma crítica, significativa, reflexiva e ética nas diversas práticas sociais (incluindo as escolares) para se comunicar, acessar e disseminar informações, produzir conhecimentos, resolver problemas e exercer protagonismo e autoria na vida pessoal e coletiva (BRASIL, 2018, p. 11).

Então, conforme a BNCC, o aluno deve ser capaz de argumentar suas escolhas contextualizando com conhecimentos específicos, tomar iniciativas significativas, entre outros saberes. Diante dessa realidade, é preciso se atualizar e incorporar o melhor que as TDIC podem oferecer. Portanto, investigar sobre metodologias ativas, especificamente a sala de aula invertida associada ao uso de simulações computacionais, pode ser de grande valia, principalmente aos professores que buscam novas metodologias de ensino para aplicar em sala de aula, fazendo dela um ambiente mais enriquecedor, investigativo e fomentador da construção do conhecimento.

Nessa perspectiva, resgatando o direito do aluno aprender de “forma crítica, significativa, reflexiva e ética”, apresenta-se a seguinte problemática: Como a Sala de Aula Invertida, em consonância com as simulações computacionais, pode contribuir com o processo de ensino e aprendizagem da Primeira Lei da Termodinâmica?

Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo geral investigar as potencialidades da utilização da metodologia sala de aula invertida associada às simulações computacionais no processo de ensino da Termodinâmica com alunos do segundo ano do Ensino Médio. E estes são os objetivos específicos:

- Oportunizar aos alunos momentos além da sala de aula através de plataformas digitais e respectivos materiais didáticos digitais;
- Proporcionar ao aluno estratégias de compreensão, interpretação e representação gráfica dos conceitos relacionados à Primeira Lei da Termodinâmica: temperatura, calor, energia, trabalho de um gás ideal;

- Elaborar um material de apoio ao professor para auxiliá-lo na utilização da metodologia sala de aula invertida associada a simulações computacionais no processo de ensino da Primeira Lei da Termodinâmica.

Por fim, o presente estudo está estruturado em sete capítulos. Além deste capítulo introdutório (1) e das considerações finais (7), abordamos, no capítulo 2, os conceitos da Termodinâmica; no capítulo 3, o referencial teórico – simulações computacionais, metodologia ativa Sala de Aula Invertida e estudos relacionados; a metodologia da pesquisa constitui o capítulo 4; no 5, descrevemos o Produto Educacional (PE) e sua aplicação; no capítulo 6, apresentamos a análise dos resultados.

## 2 TERMODINÂMICA

Neste capítulo, abordamos alguns aspectos relevantes à Termodinâmica. Entendemos que, para compreender o proposto nesta pesquisa, é necessário que o leitor tenha conhecimento sobre as dimensões históricas da Termodinâmica, de que forma a Primeira Lei da Termodinâmica é proposta nos livros didáticos e o que a BNCC sugere que os alunos do Ensino Médio aprendam neste tópico. Evidenciamos ainda a importância de se estudar este importante conteúdo, bem como definimos conceitos fundamentais, fenômenos térmicos, sistemas termodinâmicos e a Primeira Lei da Termodinâmica.

### 2.1 Resgate histórico da Termodinâmica

O estudo e o desenvolvimento da Termodinâmica surgiram no século XIX, pela necessidade de criar máquinas e de aumentar a eficiência das máquinas existentes naquela época. O estudo de Moreira e Bassi (2001), no qual mencionam as máquinas a vapor, intitulado “Sobre a Primeira Lei da Termodinâmica”, referente ao trabalho de Carnot, em 1824, pode ser considerado o marco inicial da Termodinâmica. Há, entretanto, outras contribuições importantes, como referem Moreira e Bassi (2001, p. 563): “Suas raízes mais profundas são encontradas em trabalhos de Euler (1753), Black (1757), Lambert (1779) e Lavoisier (1784). No começo do século dezenove tem-se Biot (1804), Fourier (1808/22) e Laplace (1816/22)”.

Fica evidente, no artigo de Moreira e Bassi (2001), que muitos foram os trabalhos realizados a respeito da Termodinâmica a partir do século XIX e que todos foram importantes para se chegar às definições que hoje existem, mas, sem dúvida alguma, a descoberta de Carnot, denominada “os ciclos de Carnot”, os quais são estudados no Ensino Médio e em alguns cursos universitários, foi o estudo mais significativo da época.

No começo do século XX, a Termodinâmica começou a ser modernizada, “adquirindo um novo brilho ao ser relacionada ao mundo microscópico que começava a atrair toda a atenção científica” (MOREIRA; BASSI, 2001, p. 563). A Termodinâmica clássica deixa de lado os ciclos de Carnot e traz o enfoque estático, através dos lógicos conceitos estatísticos.

Neri e Bassi (2009, p. 524), em seu trabalho intitulado “A Primeira Lei da Termodinâmica dos processos homogêneos”, explicam que se costuma denominar Termodinâmica Clássica à teoria que Clausius, Joule, Kelvin e Rankine e Reech edificaram entre 1850 e 1854, acrescida de trabalhos publicados posteriormente, especialmente por

Clausius, em 1862 (sua famosa desigualdade). Porém, há quem não concorde com essa teoria: “Planck não aceitou a ideia de que para ser matematicamente exata a termodinâmica devesse limitar-se a sua parte estática. Autor, desde 1891, de um dos mais famosos tratados sobre termodinâmica, até sua morte, em 1947, Planck manteve sua convicção” (MOREIRA; BASSI, 2001).

No entanto, devemos ressaltar que outros estudiosos, como Kirchhoff e Gibbs, os quais optaram pelo enfoque estático, há mais de duas décadas antes já defendiam a ideia, embora sem utilizar a estatística. Gibbs foi quem conseguiu aplicar total rigor matemático ao estudo da Termodinâmica com o Tratado de Mecânica Estatística Clássica, publicado em 1902. Oito anos depois foi publicada, por Carathéodory, a teoria para equações diferenciais de Pfaf, outra defesa da tendência estática.

A Termodinâmica Tradicional foi criada para facilitar o entendimento da Termodinâmica de Gibbs. Nery e Bassi (2009, p. 523) dizem que, “ao invés da linguagem matemática universal em que Gibbs se apoiava, uma falsa matemática específica da termodinâmica tradicional, ingenuamente construída, é usada para, aparentemente, ligar um fato experimental ao outro”. Quem denuncia este fato é o matemático C. A. Truesdell. Por outro lado, “a termodinâmica tradicional, porém, contém numeroso conjunto de fatos experimentalmente comprovados, de tabelas e de dados utilíssimos, bem como de equações que, nas condições a elas adequadas, funcionam corretamente” (NERY; BASSI, 2009, p. 523). Para aqueles que fazem uso prático da Termodinâmica – engenheiros e pesquisadores, entre outros – o que interessa são precisamente as tabelas, os dados e o seu manuseio correto, não os detalhes teóricos. Por isso, segundo os autores,

a maneira mais apropriada de lecionar a termodinâmica tradicional é por meio da resolução de exercícios que ensinem os alunos a utilizar o que ela tem de melhor a oferecer, para o desenvolvimento da ciência e da tecnologia, sem perda de tempo com teorias inconsequentes (NERY; BASSI, 2009, p. 523).

Talvez, por causa dessa razão histórica, atualmente a tendência seja usar a lógica matemática rigorosa somente no tratamento estatístico da Termodinâmica.

## **2.2 A Termodinâmica nos livros didáticos**

Livros didáticos foram e continuam a ser o material mais comumente usado para o ensino de Ciências em todos os níveis de educação. Foram analisados os livros Kazuhito e

Fuke (2017), Barreto Filho e Silva (2016), Martini et al. (2016) e Máximo, Alvarenga e Guimarães (2017), por serem os livros didáticos que a professora usa em suas aulas e por fazerem parte do Programa do Livro Didático do ano de 2016.

Na análise de alguns livros didáticos do Ensino Médio, percebemos que, de um modo geral, eles contemplam de forma simplista a Primeira Lei da Termodinâmica e a sua aplicação em transformações térmicas de gases ideais.

Alguns autores, na introdução do capítulo da Termodinâmica, fazem referência a fatos históricos, como o surgimento do conceito do calor, e, depois, relacionam exemplificando com o cotidiano (KAZUHITO; FUKU, 2017). Na sequência, tratam dos seguintes aspectos: sistemas e processos termodinâmicos; energia interna; trabalho de um gás; Primeira Lei da Termodinâmica; transformações gasosas (isotérmica, isocórica e isobárica); relação de Mayer; Lei de Poisson; Segunda Lei da Termodinâmica; máquinas térmicas e ciclo de Carnot.

No entanto, outros autores, como Barreto Filho e Silva (2016), não apresentam em seu livro os sistemas e processos termodinâmicos, mas os demais itens seguem a mesma sequência. Esses autores iniciam o capítulo se referindo ao calor dos refrigeradores e geladeiras que ocorre de uma região fria para uma região quente e questionam como isso pode acontecer já que o normal é o calor se deslocar do corpo mais quente para o corpo mais frio. E finalizam o capítulo com o artigo “as leis da termodinâmica e a física moderna”, em que fazem referência à Mecânica Estatística do físico austríaco Boltzmann.

Já Martini et al. (2016) apresentam “Gases e Termodinâmica” em uma unidade, na qual separam por capítulos: estudo dos gases e a equação de um gás ideal (cap. 6); Primeira Lei da Termodinâmica (cap. 7); Segunda Lei da Termodinâmica (cap. 8). Introduzem o capítulo da Primeira Lei da Termodinâmica fazendo uma relação desta lei com o atrito que ocorre entre os pneus de um carro de Fórmula 1 e o chão. O atrito dos pneus com o chão faz com que eles se aqueçam e, por condução térmica, o ar neles contido também sofre aumento de temperatura. Nesse caso, ocorre a transformação da energia mecânica em calor. Após a introdução, este livro, assim como o segundo analisado, não trata dos sistemas e processos termodinâmicos; este ainda não trata da relação de Mayer e lei de Poisson.

Por fim, o último livro analisado e o mais diferente de todos, de Máximo, Alvarenga e Guimarães (2017), traz uma organização um tanto quanto surpreendente. Os autores iniciam o capítulo da Termodinâmica falando sobre o calor como forma de transformação de energia e citam exemplos como usinas termelétricas e aquecimento solar. A sequência dos conteúdos é a seguinte: calor como energia; transferência de calor; capacidade térmica e calor específico; trabalho em uma variação de volume; Primeira Lei da Termodinâmica; aplicações da Primeira

Lei da Termodinâmica; máquinas térmicas – Segunda Lei da Termodinâmica. A Termodinâmica, mais especificamente a primeira lei, é introduzida, portanto, por diversos contextos nos livros didáticos, sempre mantendo fiel à sua definição de conservação de energia, o que nos leva a crer que o uso do livro didático como apoio pedagógico ao professor pode ser considerado como uma escolha possível.

### 2.3 A Termodinâmica na BNCC

A Física é caracterizada, atualmente, como uma Ciência da Natureza, segundo a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), documento analisado com o objetivo de identificar aspectos propostos para o ensino de Física, mais especificamente a Primeira Lei da Termodinâmica.

A BNCC (BRASIL, 2018) é um documento normativo que serve como base para a docência do professor da Educação Básica. Ou seja, elenca os conteúdos essenciais para que o docente da Educação Infantil ao Ensino Médio possa subsidiar a construção da cidadania dos estudantes das instituições de ensino no Brasil. A BNCC apresenta dez (10) competências gerais que deverão estar contempladas nas propostas pedagógicas elaboradas pelas instituições de ensino. Ela indica que as decisões pedagógicas devem estar orientadas para o desenvolvimento de competências e habilidades a fim de garantir uma aprendizagem integral com igualdade, diversidade e equidade aos educandos.

A BNCC está organizada por áreas do conhecimento; a Física, a Química e a Biologia formam a área de Ciências da Natureza e suas tecnologias. Cada área do conhecimento é composta por competências específicas da área e um conjunto de habilidades. Essas competências devem ser desenvolvidas ao longo desta etapa (Ensino Médio). As habilidades expressam as aprendizagens essenciais que devem ser asseguradas aos alunos nos diferentes contextos escolares. No Ensino Médio, a área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias “propõe que os estudantes possam construir e utilizar conhecimentos específicos da área para argumentar, propor soluções e enfrentar desafios locais e/ou globais, relativos às condições de vida e ao ambiente” (BRASIL, 2018, p. 538).

Na **competência específica 1** das Ciências da Natureza e suas tecnologias, propõe-se analisar os fenômenos naturais e os processos tecnológicos sob a perspectiva das relações entre matéria e energia, mobilizando estudos dentre outros conteúdos as **leis da Termodinâmica** (grifo nosso).

A **habilidade (EM13CNT102)**, da competência específica 1 das Ciências da Natureza e suas tecnologias, define que os estudantes deverão “realizar previsões, avaliar intervenções e/ou construir protótipos de sistemas térmicos que visem à sustentabilidade, com base na análise dos efeitos das **variáveis termodinâmicas** e da composição dos sistemas naturais e tecnológicos” (BRASIL, 2018, p. 541 grifo nosso).

Com a análise feita na BNCC, identificamos que o tema proposto para essa pesquisa, a Primeira Lei da Termodinâmica, encontra-se na segunda habilidade da competência específica 1, dentro da temática matéria e energia. Com os estudos realizados sobre matéria e energia, espera-se uma diversificação de situações-problema, incluindo aquelas que permitam aos jovens a aplicação de modelos com maior nível de abstração e de propostas de intervenção em contextos mais amplos e complexos.

Como se refere à habilidade EM13CNT102 da BNCC, os estudantes do Ensino Médio deverão “realizar previsões, avaliar intervenções e/ou construir protótipos de sistemas térmicos que visem à sustentabilidade”. Ou seja, o professor deverá propor atividades aos estudantes para que eles desenvolvam conhecimentos para prever, fazer intervenções ou, se for o caso, a construção de modelos de sistemas térmicos visando à sustentabilidade. O estudante deve agir de forma autônoma, ser protagonista do seu aprendizado.

Com isso, ao ensinar Física, devemos ir além do papel de apenas transmitir passivamente um conhecimento pronto e acabado, buscando a construção de um conhecimento amplo e que possibilite a compreensão do mundo e do ambiente pelos estudantes, para que possam agir sobre ele.

## **2.4 A importância do estudo da Termodinâmica**

Do motor dos automóveis à panela de pressão, a Termodinâmica está presente em muitos fenômenos do dia a dia. Desde as antigas máquinas a vapor, fundamentais para a Revolução Industrial, ocorrida na Inglaterra em meados do século XVIII, os estudos da Termodinâmica possibilitaram a análise das propriedades da matéria em determinadas situações de pressão e temperatura.

A Termodinâmica estuda os fenômenos que envolvem a transferência de energia e/ou de matéria que geralmente resultam em mudanças nas propriedades de um sistema. Tais mudanças encontram aplicações no dia a dia, por exemplo, em sistemas de refrigeração. A Termodinâmica lida com as variações de grandezas macroscópicas como a massa, a temperatura, a pressão e o volume, sem levantar hipóteses sobre as propriedades

microscópicas do sistema. Os estudos englobam, por exemplo, as mudanças de estado físico da matéria de sólido para líquido, ou de líquido para gasoso.

Hoje em dia é bem sabido que a matéria é formada por átomos ou moléculas e, portanto, ao estudar as transformações da matéria, é possível analisar as características de um conjunto específico de partículas. A pressão, por exemplo, que está relacionada a uma quantidade de partículas colidindo em uma determinada superfície, exercendo força, pode ser estudada individualmente. A pressão é definida como a força dividida pela área. A unidade que utilizamos para medi-la é a Pascal, que equivale a um Newton por metro quadrado. O Newton é a força que deve ser empregada para sustentar 100 gramas de qualquer objeto.

A aplicação da Termodinâmica vai desde as máquinas térmicas à meteorologia, com a medição de pressão e temperatura, umidade relativa do ar. Ou seja, existem inúmeros instrumentos que permitem medir as características variáveis do ar (composto por uma mistura de gases e vapor de água), como os higrômetros, que conferem a umidade relativa do ar, e o barômetro, que afere a pressão.

A Termodinâmica também é aplicada em larga escala nos automóveis. No processo de combustão, há uma grande liberação de energia e a energia transferida na forma de calor é aproveitada para realizar trabalho mecânico. Em outras situações, ela também se aplica, como na turbina de avião e nas usinas nucleares, que se utilizam da energia liberada num processo de fissão atômica para elevar a temperatura da água e produção vapor de água. Está ligada, ainda, à ciência dos materiais, que estuda meios para obtenção de novos tipos de materiais que possuam propriedades químicas e físicas bem definidas. Do mesmo modo, é muito utilizada em processos industriais que transformam matéria-prima em produtos acabados usando máquinas e energia. Na indústria de laticínios, a transferência de calor é usada na pasteurização e na fabricação de queijos e manteiga. Nas siderúrgicas, as altas temperaturas dos fornos causam a fusão de várias substâncias, permitindo a sua combinação e produzindo diferentes tipos de aço.

Como vimos, a Termodinâmica tem uma grande aplicação em diversas áreas essenciais à nossa vida, tornando fundamental seu estudo e a compreensão no Ensino Médio.

## **2.5 Compreendendo a Termodinâmica**

A palavra “termodinâmica” vem das palavras *therme*, que significa calor, e *dynamis*, que significa força. A Termodinâmica é uma ciência fatural responsável por estudar fatos ou eventos com a ajuda da observação e experimentação, por isso tem que recorrer ao exame de

evidências empíricas para verificá-los. Assim, ela pode ser vista como a generalização de uma enorme quantidade de evidências empíricas.

Em particular, a Termodinâmica estuda a troca de energia pela realização de trabalho mecânico e pela transferência de calor entre um sistema e sua vizinhança. Trabalha com os estados de equilíbrio e com as propriedades macroscópicas que caracterizam os sistemas. Ela se fundamenta em princípios, também conhecidos como leis, que têm ampla aplicação em sistemas físicos e químicos. Essas leis, levam a concepção empirista da ciência.

Dessas leis, observa-se que a energia de um sistema pode ser alterada pela transferência de calor e/ou a realização de trabalho pelo ou sobre esse sistema. As leis ainda postulam a existência de uma propriedade denominada de entropia, a qual pode ser determinada para todos os sistemas. A entropia é a propriedade do sistema que determina que mudanças espontâneas podem ocorrer no sistema.

### *2.5.1 Conceitos fundamentais*

Esta seção tem o objetivo de apresentar conceitos fundamentais à Termodinâmica, que serão utilizados no PE. É muito importante o conhecimento de tais conceitos para entender o funcionamento das leis da Termodinâmica, bem como sua aplicação.

#### 2.5.1.1 Calor

De acordo com Sears e Zemansky (2015), “a transferência de energia produzida apenas por uma diferença de temperatura denomina-se transferência de calor ou fluxo de calor, e a energia transferida desse modo denomina-se calor”. Disto entende-se que calor é uma forma de energia em trânsito que só existe enquanto está sendo transferida. Embora seja aparente a existência de uma relação entre calor e temperatura, são grandezas diferentes. Enquanto calor é uma forma de energia, a temperatura é uma grandeza que nos diz quando dois corpos estão em equilíbrio térmico: “dois sistemas estão em equilíbrio térmico se e somente se eles possuírem a mesma temperatura” (SEARS; ZEMANSKY, 2015, p. 200).

##### 2.5.1.1.1 Quantidade de calor

Normalmente calor é simbolizado pela letra Q (também pode ser minúscula). Trata-se de uma forma de energia, e a sua unidade de medida no sistema internacional é o Joule (J). Do

ponto de vista histórico, o calor era pensado como sendo um fluido (substância) da matéria que podia ser armazenado. Essa substância recebeu o nome de calórico. Assim, surge a unidade de calor mais antiga, a caloria, que se define como a quantidade de calor necessária para elevar a temperatura de 1 g de água pura em 1 °C, de 14,5 °C para 15,5 °C sob pressão de uma atm. A relação entre caloria e joule é: 1 caloria = 4,184 joules.

#### 2.5.1.1.2 Calor específico

Segundo Sears e Zemansky (2015, p. 211), “verifica-se que a quantidade de calor  $Q$  necessária para elevar a temperatura da massa  $m$  de um material de  $T_1$  para  $T_2$  é aproximadamente proporcional à variação de temperatura  $\Delta T = T_2 - T_1$ . Ela é também proporcional à massa  $m$  do material”. É possível, então, se definir o calor específico  $c$ , de um dado material como a relação:

$$c = \frac{Q}{m \Delta T}$$

As unidades de  $c$  são J/kg.K ou J/kg.°C. O calor específico é uma propriedade que depende da natureza do material e, em geral, é aproximadamente constante em um determinado intervalo de temperatura.

Reescrevendo a relação anterior, temos:  $Q = m c \Delta T$ .

Esta equação estabelece a quantidade de calor  $Q$  trocado por um corpo de massa  $m$ , constituído por uma substância de calor específico  $c$ , quando sua temperatura varia  $\Delta T$ .

#### 2.5.1.2 Temperatura

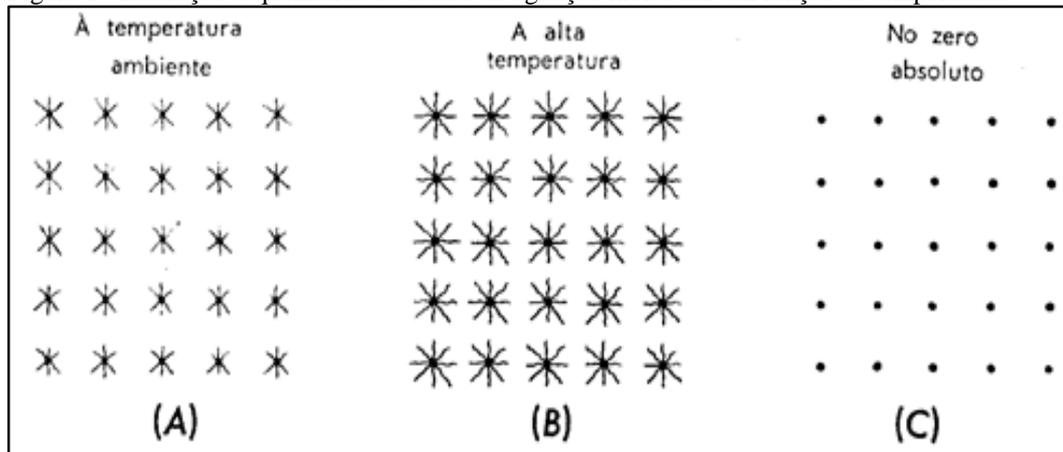
De acordo com Kazuhito e Fuke (2017, p. 12), “temperatura é a medida associada ao grau de agitação das partículas de um corpo ou sistema físico. Portanto, ela indica o nível de energia térmica média das partículas”. De acordo com a teoria cinética dos gases, a temperatura pode ser compreendida como a manifestação macroscópica da energia cinética das partículas constituintes de um sistema termodinâmico. Essa temperatura, portanto, está associado ao o grau de agitação das moléculas. A unidade de medida da temperatura no sistema absoluto é o kelvin (K). No entanto, existem várias escalas de temperaturas, usadas para representar a agitação molecular, como a escala Celsius (°C) ou a Fahrenheit (°F),

geralmente construídas com base nas mudanças de características que algumas substâncias apresentam a certas temperaturas, como seus pontos de fusão e ebulição.

Teoricamente, não existe um limite superior para a temperatura de um corpo, no entanto, existe um valor mínimo, também conhecido como zero absoluto: 0 K. Esse valor de temperatura corresponde ao estado de menor agitação térmica possível. Apesar de existir teoricamente, algumas imposições, como a Terceira Lei da Termodinâmica, indicam que essa temperatura é simplesmente inalcançável.

Supondo que pudéssemos ver os átomos de um bloco de ferro, observaríamos que cada átomo vibra ou se move para um lado e para o outro em torno da sua posição na estrutura cristalina do material, de modo muito desordenado. No entanto, se adicionássemos calor ao ferro, aumentando sua temperatura, faríamos seus átomos vibrar mais violentamente e, assim, lhes adicionaríamos energia cinética. Se esfriássemos o ferro cada vez mais, seus átomos se agitariam menos. Finalmente, à temperatura mais baixa teoricamente possível (zero absoluto), os átomos apresentariam a menor energia possível, chamada energia do ponto zero. Resumindo, aumentando a temperatura de um corpo, aumenta-se a energia cinética (média) de seus átomos ou moléculas. A Figura 1 ilustra esquematicamente o estado de agitação molecular em função da temperatura.

Figura 1 - Ilustração esquemática do estado de agitação molecular em função da temperatura.



Fonte: [www.forp.usp.br](http://www.forp.usp.br).

#### 2.5.1.2.1 Termômetros

Um termômetro é um instrumento que mede quantitativamente a temperatura de um sistema. Kazuhito e Fuke (2017, p. 13) definem termômetros como sendo “dispositivos que contêm um material (a substância termométrica) que sofre variação regular de alguma

característica quando submetido a diferentes temperaturas”. Nos dias atuais, caso fiquemos com febre, podemos medir a temperatura corporal com os mais variados tipos de termômetros, como os tradicionais, com tubos capilares contendo álcool (raramente de mercúrio)<sup>1</sup>, ou com os termômetros digitais. Sabemos que nem sempre foi tão fácil assim, pois, tempos atrás, para verificar se uma pessoa estava com febre, tocava-se a mão na testa para sentir sua temperatura, método não mais recomendável hoje, pois se sabe que não é eficaz. Na Figura 2, temos o termômetro analógico (de mercúrio), digital, auricular e infravermelho (sem contato). Esses termômetros são os mais utilizados.

Figura 2 - Termômetros de uso comum.



Fonte: <<https://www.mobiloc.com.br/blog/tipos-de-termometros>>.

#### 2.5.1.2.2 Escalas de temperatura

Variando-se a temperatura, o nível de agitação térmica das moléculas de um sistema também varia. No entanto, essa variação não é perceptível a olho nu. Não sendo possível a medição direta da agitação térmica, utiliza-se o termômetro, construído de um material cuja grandeza termométrica varia com a temperatura e é perceptível a olho nu.

A fim de graduar uma escala termométrica, tomam-se pontos de referência de estados térmicos bem definidos e de fácil obtenção, chamados de pontos fixos, obtidos sob pressão normal. O primeiro ponto fixo é o ponto de gelo (ponto de fusão do gelo); o segundo é o ponto de vapor (ebulição da água).

<sup>1</sup> Devido à toxicidade do mercúrio, estão proibidas as vendas e distribuições dos termômetros clínicos com esta substância, no Brasil, desde o dia 1º de janeiro de 2019. Fonte: Agência Brasil. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/saude/noticia/2018-12/termometro-e-mecedor-de-pressao-com-mercuro-serao-proibidos-em-2019>>.

A seguir, temos as principais escalas termométricas:

a) Escala Celsius

Criada pelo astrônomo sueco Anders Celsius (1701-1744), na escala Celsius, o ponto de gelo é  $0^{\circ}\text{C}$ , e o ponto de vapor é  $100^{\circ}\text{C}$ . Nessa escala, o intervalo entre os pontos fixos é dividido em 100 partes iguais, e cada divisão corresponde a 1 grau celsius ( $1^{\circ}\text{C}$ ).

b) Escala Fahrenheit

Para o inventor e físico alemão Daniel Fahrenheit, na escala Fahrenheit, o ponto de gelo é  $32^{\circ}\text{F}$ , e o ponto de vapor é  $212^{\circ}\text{F}$ . Nessa escala, o intervalo entre os dois pontos fixos é dividido em 180 partes iguais, e cada divisão corresponde a 1 grau fahrenheit ( $1^{\circ}\text{F}$ ).

c) Escala Kelvin

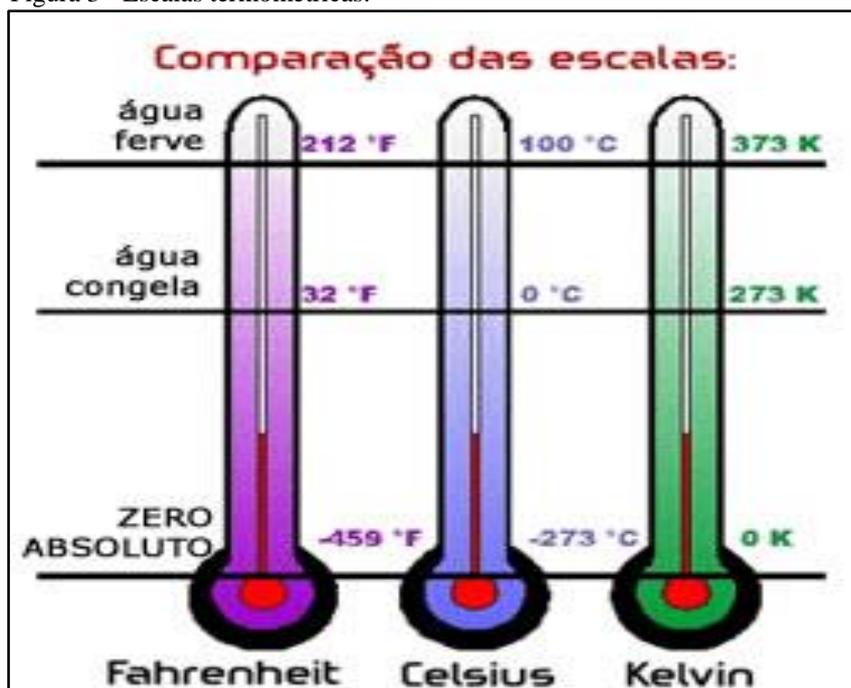
William Thomson (1824-1907), conhecido como Lorde Kelvin, foi quem criou a escala Kelvin, na qual o ponto de gelo é  $273\text{ K}$ , e o ponto de vapor é  $373\text{ K}$ . Nessa escala, o intervalo entre os dois pontos é dividido em 100 partes iguais, e cada divisão corresponde a 1 kelvin ( $1\text{ K}$ ).

Assim, define-se a correspondência entre essas escalas da seguinte maneira aproximada (Figura 3):

$$0^{\circ}\text{C} = 32^{\circ}\text{F} = 273\text{ K}$$

$$100^{\circ}\text{C} = 212^{\circ}\text{F} = 373\text{ K}$$

Figura 3 - Escalas termométricas.



Fonte: <<https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/escalas-temperatura.htm>>.

### 2.5.1.3 Trabalho

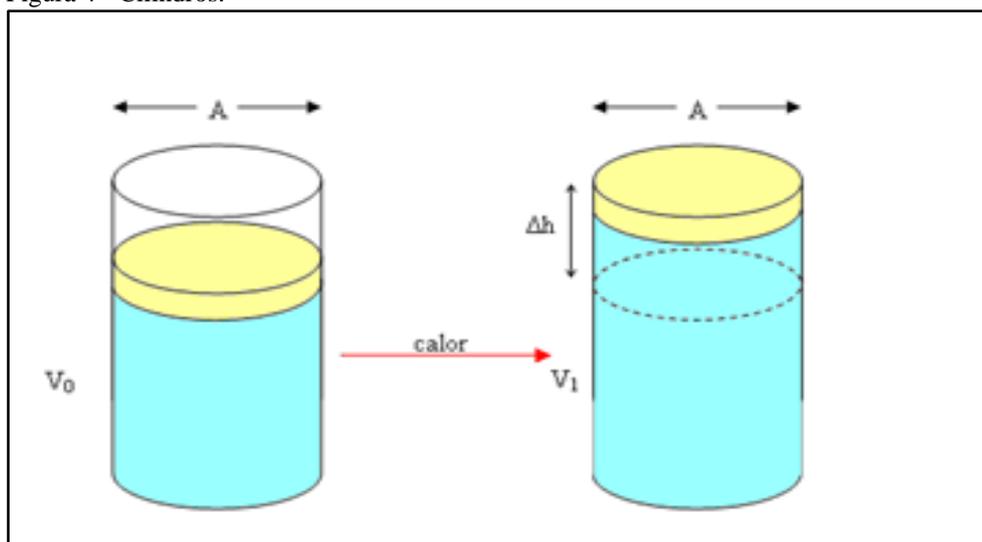
Todo trabalho é realizado por uma força. Fornecendo calor a uma massa gasosa, confinada em um recipiente cilíndrico provido de êmbolo móvel (como uma bomba manual de encher pneu de bicicleta), o gás se expande e as forças exercidas contra as paredes do recipiente movimentam o êmbolo, deslocando-o e realizando, então trabalho (KAZUHITO; FUKU, 2017, p. 88).

De acordo com Sears e Zemansky (2015, p. 282), “o trabalho é *positivo* quando o sistema se expande e quando um sistema é comprimido, seu volume diminui e ele realiza um trabalho *negativo* sobre as vizinhanças”.

Em outras palavras, quando o volume do gás aumenta, o trabalho é positivo e se realiza sobre o meio em que se encontra, como pode ser observado na Figura 4. Havendo diminuição do volume do gás, o trabalho é negativo e é necessário que o sistema receba um trabalho do meio externo. Temos uma situação em que o volume aumenta e o trabalho é nulo, conhecido como expansão livre.

Se considerarmos um gás de massa  $m$  contido em um cilindro com área de base  $A$ , provido de um êmbolo, ao ser fornecida uma quantidade de calor  $Q$  ao sistema, este sofrerá uma expansão, sob pressão constante, como é garantido pela Lei de Gay-Lussac, e o êmbolo será deslocado, como demonstrado na Figura 4.

Figura 4 - Cilindros.



Fonte: <<https://www.sofisica.com.br/conteudos/Termologia/Termodinamica/trabalho.php>>.

Assim como para os sistemas mecânicos, o trabalho do sistema será dado pelo produto da força aplicada no êmbolo com o deslocamento do êmbolo no cilindro:

$$\tau = F \cdot \Delta h$$

É importante lembrar que o trabalho e pressão se relacionam com a força e matematicamente fica assim:  $p = \frac{F}{A}$ .

Pode-se determinar o trabalho  $\tau$  realizado para levar o sistema de um estado 1 ( $p$ ,  $V_1$ ,  $T_1$ ) para o estado 2 ( $p$ ,  $V_2$ ,  $T_2$ ), sob pressão constante:

$$\tau = F \cdot d \text{ ou } \tau = p \cdot A \cdot \Delta h$$

Sendo  $A \cdot \Delta h = \Delta V$ , podemos escrever:

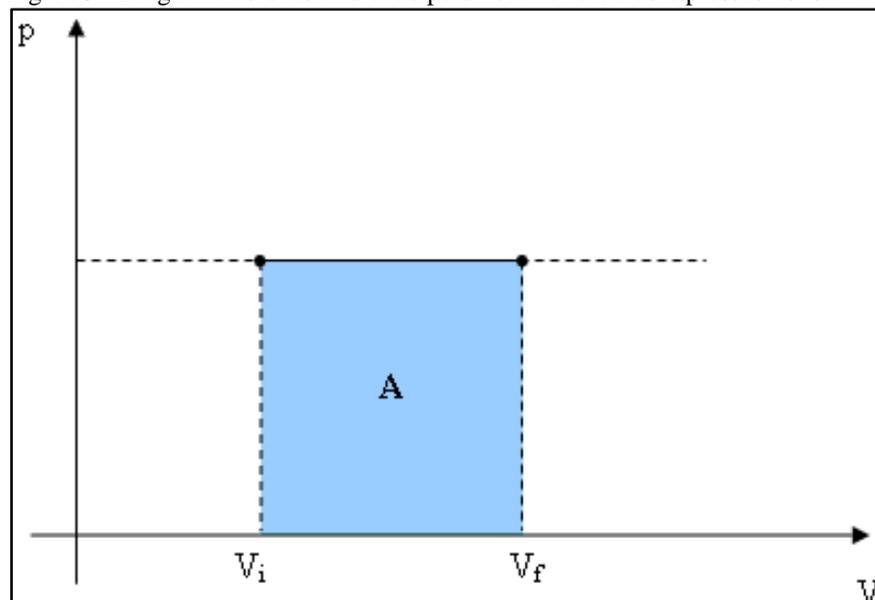
$$\tau = p \cdot \Delta V = p \cdot (V_1 - V_0)$$

Dessa forma, o trabalho realizado por um sistema, em uma transformação com pressão constante, é dado pelo produto entre a pressão e a variação do volume do gás. Outra forma de obter o valor total do trabalho realizado pelo ou sobre o gás é com o auxílio do gráfico da pressão em função do volume de um gás, conhecido também como diagrama do trabalho. A área sob a curva ( $p \times V$ ) é numericamente igual ao trabalho realizado.

$$A = |\tau|$$

Quando a pressão se mantiver constante, o módulo do trabalho é dado pela área apresentada na figura a seguir.

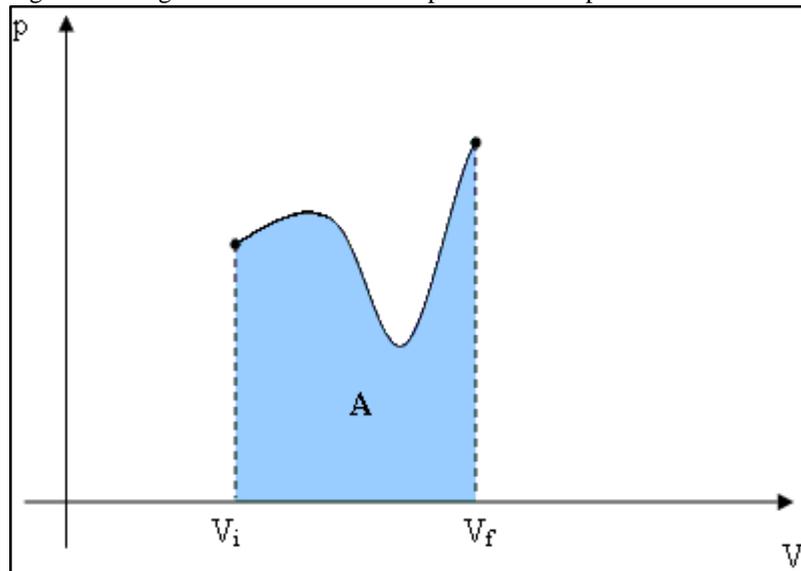
Figura 5 - Diagrama do Trabalho dado pelo volume variando e pressão constante.



Fonte: <www.sofisica.com.br>.

Em caso de variação da pressão (Figura 6), o trabalho realizado corresponde à área da figura e pode ser calculado usando um método de nível acadêmico, o de cálculo integral.

Figura 6 - Diagrama do Trabalho dado pelo volume e pressão variando.



Fonte: www.sofisica.com.br.

O cálculo da integral consiste em uma aproximação dividindo toda a área sob o gráfico em pequenos retângulos e trapézios. Representa-se matematicamente dessa maneira:

$$\tau = \int_{V_i}^{V_f} p \, dV$$

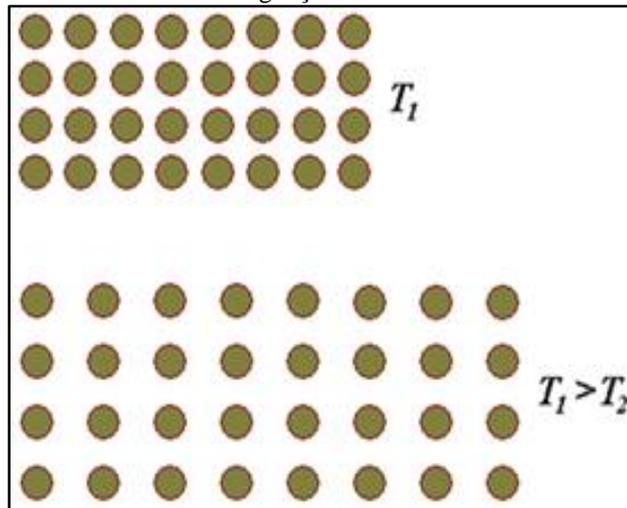
## 2.5.2 Fenômenos térmicos

### 2.5.2.1 Dilatação térmica

Em situações do cotidiano em que a pressão atmosférica permanece constante, definimos a *dilatação* como sendo a variação nas dimensões de um objeto devido à variação da temperatura. Portanto, podemos dizer que a dilatação é uma manifestação macroscópica da variação da energia cinética das moléculas e átomos. Em outras palavras, em processos que ocorre a pressão (P) constante, quando aumenta a temperatura de uma substância, suas moléculas ou átomos passam a oscilar mais rapidamente e assim tendem a se afastar umas das outras.

De uma maneira geral, mantendo a pressão externa P constante, os corpos, sejam eles sólidos, líquidos ou gasosos, aumentam suas dimensões quando aumentam sua temperatura (Figura 7).

Figura 7 - Representação da separação das moléculas devido ao aumento da agitação térmica.



Fonte: <<https://brasilecola.uol.com.br>>.

A Figura 7 nos permite entender melhor como acontece a dilatação dos materiais com o aumento da temperatura. Podemos ver que na primeira situação, a certa temperatura, os átomos e moléculas da substância vibram ao redor de uma posição de equilíbrio. Para esse valor de temperatura, a distância média entre as moléculas é praticamente constante.

Quando há aumento na temperatura da substância, contudo, as moléculas ou átomos começam a vibrar mais rapidamente, ou seja, vibram com maior amplitude, conseqüentemente, ficam um pouco mais distantes umas das outras. Essa maior separação, essa maior distância entre os átomos e as moléculas, reflete-se no aumento das dimensões do objeto.

Quando ocorre a dilatação do objeto consideramos apenas uma, duas ou as três dimensões para estudo. A dilatação que ocorre em apenas uma dimensão é chamada Linear; em duas dimensões, chama-se Superficial; a de três dimensões é a dilatação volumétrica.

### 2.5.3 Propriedades térmicas da matéria

#### 2.5.3.1 Gases

De acordo com Sears et al. (p. 81), “um fluido é qualquer substância que pode escoar e alterar a forma do volume que ele ocupa. Ao contrário, um sólido tende a manter sua forma. Usamos o termo ‘fluido’ para gases e líquidos”.

Assim como os líquidos, os gases fluem. A principal diferença entre um gás e o líquido é a distância entre suas moléculas. Em um gás, as moléculas mantêm-se afastadas umas das

outras e estão livres das forças coesivas que dominam seus movimentos quando se encontram nas fases líquida e sólida. Um gás se expande indefinidamente, e as moléculas tendem a ocupar todos os espaços que lhe são disponíveis.

O estado físico de uma amostra de substância define-se por suas propriedades físicas; duas amostras de uma substância que têm as mesmas propriedades físicas estão no mesmo estado. O estado de um gás puro, por exemplo, fica completamente definido pelos valores do volume que ocupa ( $V$ ) da quantidade de substância (massa ou número de moles), da pressão ( $P$ ) e da temperatura ( $T$ ). Essas grandezas físicas que definem o estado de uma substância são denominadas de variáveis de estado.

Considerando certa quantidade de gás colocada em um recipiente, qualquer operação em que uma das variáveis de estado, pelo menos, sofre alteração denomina-se transformação gasosa. Em qualquer transformação gasosa, a mudança de uma variável de estado acarreta sempre mudança de alguma outra. Por exemplo, fazer variar a temperatura implica também variar sua pressão e/ou seu volume.

O estudo das transformações gasosas começou no século XVII, reunindo resultados isolados obtidos por Torricelli, Otto Von Guericke, Robert Boyle e Edme Mariotte.

Basicamente, a investigação constitui em variar uma das grandezas e verificar o comportamento das outras. Nas palavras de Kazuhito e Fuke (2017, p. 74), “uma massa gasosa passa de um estado inicial 1, com pressão  $P_1$ , volume  $V_1$  e temperatura absoluta  $T_1$ , para um estado final 2, de pressão  $P_2$ , Volume  $V_2$  e temperatura absoluta  $T_2$ ”.

Para caracterizar bem a relação entre uma variável de estado e outra, é preciso fazer com que a terceira não se altere. Dessa maneira, foram feitas investigações de transformações em três casos particulares: sob temperatura, volume e pressão constantes.

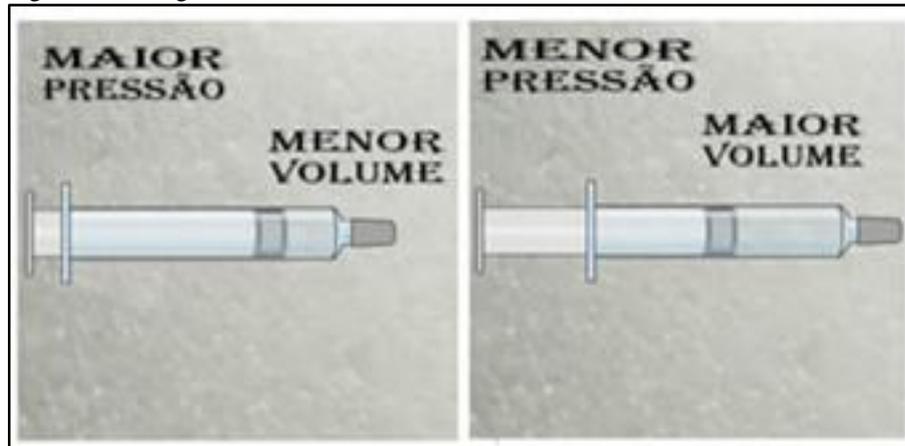
#### *Transformação Isotérmica: Lei de Boyle-Mariotte*

Robert Boyle e Edme Mariotte (1620-1684) estudaram, de modo independente, as transformações gasosas, em que a temperatura permanece constante e varia somente a pressão e o volume do gás, segundo uma proporção inversa. Nesse caso, a transformação é chamada isotérmica, pois  $T_1 = T_2$ . Matematicamente, podemos expressar assim:

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$$

Para verificarmos como o volume varia em relação à pressão, imaginemos uma seringa, cujo orifício está fechado e o êmbolo pressionado. Como demonstra a Figura 8, mantida a temperatura constante, quanto maior for a pressão externa aplicada sobre o êmbolo da seringa, menor será o volume do ar dentro da seringa.

Figura 8 - Seringas.



Fonte: <<https://www.preparaenem.com/quimica/transformacao-isotermica-lei-boyle-mariotte.htm>>.

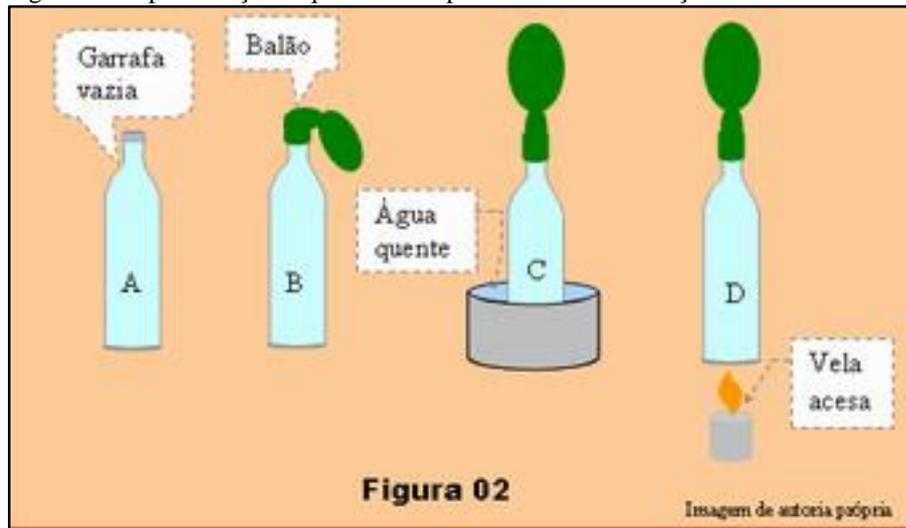
### *Transformação Isobárica: Lei de Charles e Gay-Lussac*

Transformação Isobárica é aquela em que a pressão do gás no interior de um recipiente se mantém constante e há variação da temperatura e do volume. Cesar Charles (1746-1823) e Joseph Louis Gay-Lussac (1778-1850) enunciaram a lei dessa transformação, em que mantida a pressão constante, o volume ocupado pelo gás e a temperatura em absoluta (K) são diretamente proporcionais:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \frac{V_3}{T_3}$$

Isso pode ser visto em um experimento bem simples. Se colocarmos um balão no gargalo de uma garrafa, ficará aprisionada uma determinada massa fixa de ar. Se mergulharmos essa garrafa em uma vasilha com água gelada, o balão ficará murcho. Agora, se colocarmos em uma vasilha com água quente, o balão irá encher (Figura 9).

Figura 9 - Representação esquemática experimento transformação Isobárica.



Fonte: <portaldoprofessor.mec.gov.br>.

Nesse experimento, a pressão manteve-se constante, mas quando aumentamos a temperatura (água quente), o volume da mistura gasosa (ar) dentro da garrafa PET também aumentou, ou seja, expandiu-se e fez o balão inflar. O contrário aconteceu quando diminuimos a temperatura (água gelada), isto é, a mistura gasosa contraiu-se e o volume ocupado por ela diminuiu.

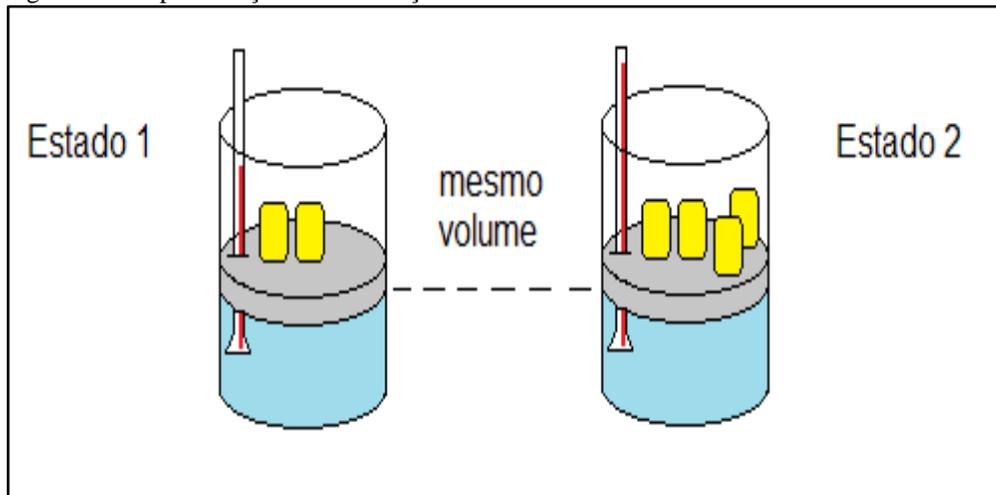
#### *Transformação Isovolumétrica: Lei de Charles*

Quando ocorre uma transformação em que o volume permanece constante e há variação da pressão e da temperatura do gás, denomina-se transformação isométrica, isocórica ou isovolumétrica. De acordo com Kazuhito e Fuke (2017), “o francês Jacques Alexandre Cesar Charles (1746-1823) concluiu que, em uma transformação de determinada massa gasosa a volume constante, as variações de pressão e da temperatura absoluta são diretamente proporcionais e representadas matematicamente”. É assim a representação:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \text{ ou } \frac{P}{T} = \text{constante}$$

Podemos constatar a ocorrência da transformação Isovolumétrica abaixo (Figura 10), no qual a temperatura e a pressão estão variando e o volume permanece constante.

Figura 10 - Representação transformação Isovolumétrica.



Fonte: <<https://www.infoescola.com/termodinamica/transformacao-isovolumetrica-isocorica>>.

De acordo com Sears e Zemansky (2015, p. 244), um gás ideal é “um modelo idealizado, que funciona melhor com pressões muito pequenas e temperaturas muito elevadas, quando as distâncias entre as moléculas são muito grandes e se deslocam com velocidades elevadas”.

A lei geral dos gases foi desenvolvida com base nos estudos das transformações gasosas feitas por pesquisadores como Jacques Charles, Joseph Louis Gay-Lussac e Robert Boyle. A lei geral dos gases permite descrever o estado termodinâmico de certa quantidade de um gás ideal por meio de três variáveis – pressão (P), volume (V) e temperatura (T). De acordo com essa lei, o produto entre pressão e volume dividido pela temperatura absoluta do gás, em Kelvin, é sempre constante para quaisquer que sejam os processos sofridos pelo gás.

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

Os subíndices 1 e 2 referem-se a dois estados termodinâmicos quaisquer.

Posteriormente, com os trabalhos de Émile Clapeyron, descobriu-se que a constante obtida pelo produto entre P e V dividida por T era igual ao número de mols do gás multiplicado pela constante universal dos gases ideais R, resultando na seguinte expressão:

$$\frac{PV}{T} = nR \longrightarrow PV = nRT$$

n – número de mols (mol); R – constante universal dos gases ideais (8,31 J/mol.K ou 0,082 atm.L/mol.K)

Essa expressão matemática é utilizada para determinar variáveis que indicam o comportamento de um gás perfeito, como pressão e temperatura e é normalmente conhecida como equação de Clapeyron ou equação de estado.

#### 2.5.4 A Primeira Lei da Termodinâmica

A Primeira Lei da Termodinâmica é uma lei que expressa o princípio de conservação de energia de um sistema considerando três formas diferentes de energia: o trabalho mecânico, a variação da energia interna e o calor.

Consideremos, por exemplo, uma panela de pressão com água e feijões sendo aquecida no fogão. A chama do fogão troca calor com a panela. Por condução, a panela aquece a água e, por convecção, a camada de água mais próxima do fundo da panela aquece o restante de água contida no recipiente e assim os feijões são aquecidos. A temperatura no interior da panela aumenta e, desse modo, ocorre variação da energia interna de seu conteúdo. A água entra em ebulição, e o vapor de água formado nesse aquecimento sob a pressão escapa pela válvula da tampa. No deslocamento vertical do pino, ocorre trabalho mecânico. Após o deslocamento vertical, a dissipação de energia se dá em forma de calor levado pelo vapor para o meio externo.

Nesse exemplo, o sistema que é composto pela panela, mais a água e os feijões, troca calor com o meio externo. Em consequência, ocorre a variação de energia interna do sistema e a realização de trabalho. Destaca-se que a variação de energia interna pode ser observada pelo aumento da temperatura do recipiente e de seu conteúdo, e a realização de trabalho é verificada pelo deslocamento do pino da válvula. Ou seja, há uma relação entre o trabalho realizado, a troca de calor com o meio externo e a variação da energia interna do conteúdo da panela.

Essa relação é a base da Primeira Lei da Termodinâmica, que, de acordo com Martini et al. (2016, p. 112), pode ser enunciada como segue: “A variação de energia interna ( $\Delta U$ ) de um sistema é resultante da diferença entre a quantidade de calor ( $Q$ ) trocada com o meio externo e o trabalho ( $\tau$ ) realizado no processo termodinâmico”. Ou seja:

$$\Delta U = Q - \tau$$

Para Sears e Zemansky (2015), a Primeira Lei da Termodinâmica afirma que, quando se fornece um calor  $Q$  ao sistema enquanto ele realiza um trabalho  $\tau$ , a energia interna  $U$  varia de uma quantidade igual a  $Q - \tau$ . Essa lei pode ser expressa matematicamente:

$$\Delta U = Q - \tau$$

Através desta equação, pode-se determinar a variação de energia interna ( $\Delta U$ ) de um sistema, que resulta da diferença entre a quantidade de calor ( $Q$ ) trocado e o trabalho ( $\tau$ ) realizado.

A Primeira Lei da Termodinâmica foi estabelecida especialmente para os sistemas gasosos. Contudo, ela pode ser aplicada em quaisquer sistemas que envolvam calor, trabalho e variação da energia interna.

#### 2.5.4.1 Energia Interna

Nos gases, a energia interna é resultante da soma de várias energias, entre elas, as energias de translação, de rotação e de vibração de suas moléculas. Outra parcela da energia interna é a energia potencial associada às forças internas conservativas (MARTINI et al., 2016, p. 111).

Em outras palavras, a energia interna de um sistema é a soma de vários tipos de energias, embora nem todas essas energias sejam consideradas térmicas. Ao fornecer energia térmica a um corpo, provoca-se uma variação na energia interna deste corpo. Essa variação é no que se baseiam os princípios da Termodinâmica.

Dessa forma, Martini et al. (2016, p. 111) definem que “nas transformações gasosas, as variações de energia interna dependem apenas das variações de temperatura do gás”. Nesse sentido, Sears e Zemansky (2015, p. 293) enunciam “a energia interna  $U$  de um gás ideal depende somente de sua temperatura  $T$ , e não do volume ou da pressão”.

Segundo a teoria cinética dos gases ideais, todos os gases possuem a mesma energia cinética média por molécula desde que estejam à mesma temperatura. Assim, para os gases ideais monoatômicos, podemos determinar a variação de energia interna ( $\Delta U$ ) em uma transformação gasosa, calculando a diferença entre as energias cinéticas médias de seus estados final e inicial. Assim se calcula através da *Lei de Joule*:

$$U = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot T$$

Onde:

U: energia interna do gás;

n: número de mol do gás;

R: constante universal dos gases perfeitos;

T: temperatura absoluta (kelvin).

Considerando que, para determinada massa de gás ideal, n e R são constantes, a variação da energia interna dependerá da variação da temperatura absoluta do gás, ou seja:

- Se a temperatura absoluta aumentar, ocorrerá uma variação positiva da energia interna;
- Se a temperatura absoluta diminuir, há uma variação negativa de energia interna;
- Se não houver variação na temperatura do gás, a variação da energia interna será igual a zero.

Através da aplicação da Lei de Joule calcula-se a variação de energia interna de um sistema quando ele aumenta, diminui ou não altera sua temperatura.

#### 2.5.4.2 Processos Termodinâmicos

Para entendermos um processo termodinâmico, precisamos definir um sistema termodinâmico. Denomina-se sistema toda a região do espaço que é objeto de estudo. Ela é separada do restante do universo por uma superfície fechada, real ou imaginária, chamada fronteira. A parte restante do universo que não entra no estudo é chamada de meio externo, exterior ou vizinhança. Do ponto de vista das trocas com a vizinhança, um sistema pode classificar-se em:

##### **a) Sistema isolado**

É aquele que não troca energia nem matéria com o meio externo. Não existe um sistema isolado perfeito, mas podemos citar a garrafa térmica como um bom exemplo de sistema que fica isolado por um curto período de tempo;

##### **b) Sistema fechado**

É aquele que troca energia, mas não matéria com o meio externo. Como exemplo, podemos citar uma latinha de refrigerante, que pode ser resfriada (perder calor) ou aquecida (ganhar calor) sem alterar a quantidade de refrigerante em seu interior;

##### **c) Sistema aberto**

É aquele que troca energia e/ou matéria com o meio externo. Podemos citar como exemplo a mesma latinha de refrigerante, mas aberta;

**d) Sistema termicamente isolado**

É o sistema que não troca calor com a vizinhança, ainda que nele possa ocorrer alguma modificação. As paredes de um sistema termicamente isolado são chamadas de adiabáticas (do grego *adiabáticos*, que quer dizer intransponível). As paredes da garrafa térmica, por um período curto de tempo, podem ser consideradas adiabáticas.

Vimos que o estado de certa quantidade de um gás perfeito fica caracterizado por suas variáveis de estado – pressão, volume, temperatura, entre outras. Quando uma dessas grandezas termodinâmicas sofre uma alteração, dizemos que ocorreu uma transformação ou um processo termodinâmico.

Os processos termodinâmicos classificam-se em quatro tipos:

**a) Processo adiabático**

É aquele no qual não ocorre transferência de calor nem para dentro, nem para fora do sistema;  $Q = 0$ . Pela Primeira Lei da Termodinâmica, verificamos que, em qualquer processo adiabático,  $U_2 - U_1 = -\tau$ ;

**b) Processo isocórico**

Um processo isocórico é um processo a volume constante. Quando o volume de um sistema termodinâmico permanece constante, ele não realiza trabalho sobre as vizinhanças. Logo,  $\tau = 0$  e  $U_2 - U_1 = \Delta U = Q$ ;

**c) Processo isobárico**

Um processo isobárico é um processo à pressão constante. Em geral, nenhuma das três grandezas  $\Delta U$ ,  $Q$  e  $\tau$  é igual a zero em um processo isobárico; entretanto, o cálculo do trabalho  $\tau$  é fácil. Pela equação  $\tau = P(V_2 - V_1)$ . Por exemplo, a ebulição da água a pressão constante;

**d) Processo Isotérmico**

Um processo isotérmico é um processo à temperatura constante. Para um processo ser isotérmico, é necessário que a transferência de calor para dentro ou para fora do sistema seja suficientemente lenta, possibilitando que o sistema permaneça em equilíbrio térmico. Em geral, nenhuma das três grandezas,  $\Delta U$ ,  $Q$  e  $\tau$ , é igual a zero em um processo isotérmico. Entretanto, no caso de um gás ideal  $\Delta U = 0$ , pois a temperatura permanece constante então  $Q = \tau$ .

Um exemplo bem conhecido é quando se faz pipoca em uma panela com tampa. Quando a panela é colocada sobre a chama do fogão, ocorre a transferência de calor por condução para o milho. À medida que ele começa a estalar e se expandir, realiza um trabalho sobre a tampa da panela, que sofre um deslocamento (Figura 11). O estado do milho muda nesse processo, uma vez que o volume, a temperatura e a pressão do milho variaram quando ele começou a estalar.

Figura 11 - Panela com pipoca.



Fonte: Sears e Zemansky, 2015.

Um processo como esse, no qual ocorrem variações no estado do sistema termodinâmico, denomina-se processo termodinâmico.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo destina-se ao Referencial Teórico, que se constitui da abordagem das Simulações Computacionais, das Metodologias Ativas, da Sala de Aula Invertida e da revisão sistemática (estudos relacionados) da pesquisa. Iniciamos pelas Simulações Computacionais, destacando a importância de seu uso no ensino de Física. Já na Sala de aula Invertida, explicamos a metodologia e ressaltamos seus pontos fortes.

#### 3.1 Simulações computacionais

Esta seção tem como objetivo apresentar a importância das simulações computacionais no ensino de Física, bem como sua definição e as vantagens oferecidas quando usadas com “cautela” e entendimento científico por professores e alunos. Isso porque as Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) tornaram-se parte integrante da vida cotidiana de muitas pessoas, especialmente dos jovens que cresceram inseridos nessa cultura, os nativos digitais, assim nomeados por Marc Prensky (apud STUDART, 2015).

As TIC chegaram também às escolas. Não com a mesma intensidade que na vida das pessoas, mas se espera que o uso dessas tecnologias digitais em educação contribua para tornar o aprendiz mais motivado, engajado e colaborativo e, por conseguinte, aumente a efetividade do processo de ensino e aprendizagem.

Encontramos, no ensino de Física, alunos com dificuldades na interpretação de muitos fenômenos físicos, pois a Física trabalha com vários conceitos que são caracterizados por grande abstração, tornando a Matemática uma ferramenta indispensável no seu desenvolvimento. Além disso, a Física lida com materiais que, por vezes, estão fora do alcance do ser humano, como partículas subatômicas, corpos em altas velocidades e processos dotados de grande complexidade (MEDEIROS; MEDEIROS, 2002).

Diante do exposto, destaca-se que cabe ao professor pesquisar, buscar, criar alternativas pedagógicas, para o estudante ser protagonista no processo de construção do conhecimento. Uma sugestão é aliar as TIC com as novas metodologias baseadas no ensino interativo e na aprendizagem ativa (WIEMAN, 2014, apud STUDART, 2015) com tecnologias focadas no aluno e estratégias inovadoras, como o modelo pedagógico da Sala Invertida (VALENTE, 2014).

Diante desses fatos e da percepção do crescimento das ferramentas tecnológicas que podem ser usadas no ensino, e ainda sentindo-se a necessidade de uma inovação com aulas

mais atrativas para o ensino de Física, propomos a aplicação de simulações computacionais no ensino dos fenômenos físicos relacionados à Primeira Lei da Termodinâmica na metodologia Sala de Aula Invertida.

Segundo Papert (1988), apesar da existência de algumas opiniões isoladas que demonstram certo ceticismo quanto às contribuições que a informática pode trazer para a educação, já se pode falar em consenso sobre a importância da utilização de recursos multimídia para o ensino.

Conforme exposto, observa-se que o computador deve desempenhar o papel de ferramenta, um recurso a mais para o desenvolvimento das aulas, deixando de se utilizar nas aulas somente os livros, o quadro, o giz e as pesquisas. No entanto, não deve ser visto como a única fonte de informação. As atividades de simulação computacional podem gerar motivação e interesse, despertando e predispondo o aluno para a aprendizagem. Essa ideia também é reforçada por Valente (2008, p. 3) quando descreve:

As inovações tecnológicas, inseridas no contexto educacional, não somente visando o aluno, mas também o professor que poderá se atualizar através de inovações e outras ideias que poderão aparecer no decorrer do tempo, ele terá novas expectativas: como incentivar a pesquisa em rede, buscar interações com intercâmbio com outras matérias (multidisciplinaridade), especulando a curiosidade dos alunos e a interação com os colegas criará uma dinâmica que sairá do enfatizado modelo arcaico de pedagogia retórica, mas os alunos uma vez incentivados poderão prosseguir no assunto em suas casas.

Uma boa definição para Simulações Computacionais é a de Clark et al. (2009): “são modelos computacionais de situações ou fenômenos hipotéticos ou reais que permitem ao usuário explorar as implicações de manipular ou modificar os parâmetros do modelo”.

Entendemos, nesse sentido, que o aluno, ao manipular os modelos computacionais, poderá alterar os valores iniciais dos parâmetros das variáveis e, com isso, observar como se comporta o fenômeno físico perante as mudanças.

Studart (2015) corrobora estudos recentes os quais mostraram que alunos que realizam experimentos de Física com simulações computacionais compreendem os conceitos tão bem ou melhor que os colegas que usam equipamento físico.

Medeiros e Medeiros (2002) também destacam que são muitos os benefícios das simulações no ensino de Ciências, ideia essa corroborada na pesquisa de doutoramento de Gabbis (2000 apud MEDEIROS; MEDEIROS, 2002, p. 80), onde destaca algumas vantagens do uso de simulações:

- \* reduzir o ‘ruído’ cognitivo de modo que os estudantes possam concentrar-se nos conceitos envolvidos nos experimentos;
- \* fornecer um feedback para aperfeiçoar a compreensão dos conceitos;
- \* permitir aos estudantes coletarem uma grande quantidade de dados rapidamente;
- \* engajar os estudantes em tarefas com alto nível de interatividade;
- \* envolver os estudantes em atividades que explicitem a natureza da pesquisa científica;
- \* apresentar uma versão simplificada da realidade pela destilação de conceitos abstratos em seus mais importantes elementos;
- \* tornar conceitos abstratos mais concretos;
- \* reduzir a ambiguidade e ajudar a identificar relacionamentos de causas e efeitos em sistemas complexos;
- \* servir como uma preparação inicial para ajudar na compreensão do papel de um laboratório; desenvolver habilidades de resolução de problemas;
- \* promover habilidades do raciocínio crítico;
- \* fomentar uma compreensão mais profunda dos fenômenos físicos;
- \* auxiliar os estudantes a aprenderem sobre o mundo natural, vendo e interagindo com os modelos científicos subjacentes que não poderiam ser inferidos através da observação direta;
- \* acentuar a formação dos conceitos e promover a mudança conceitual.

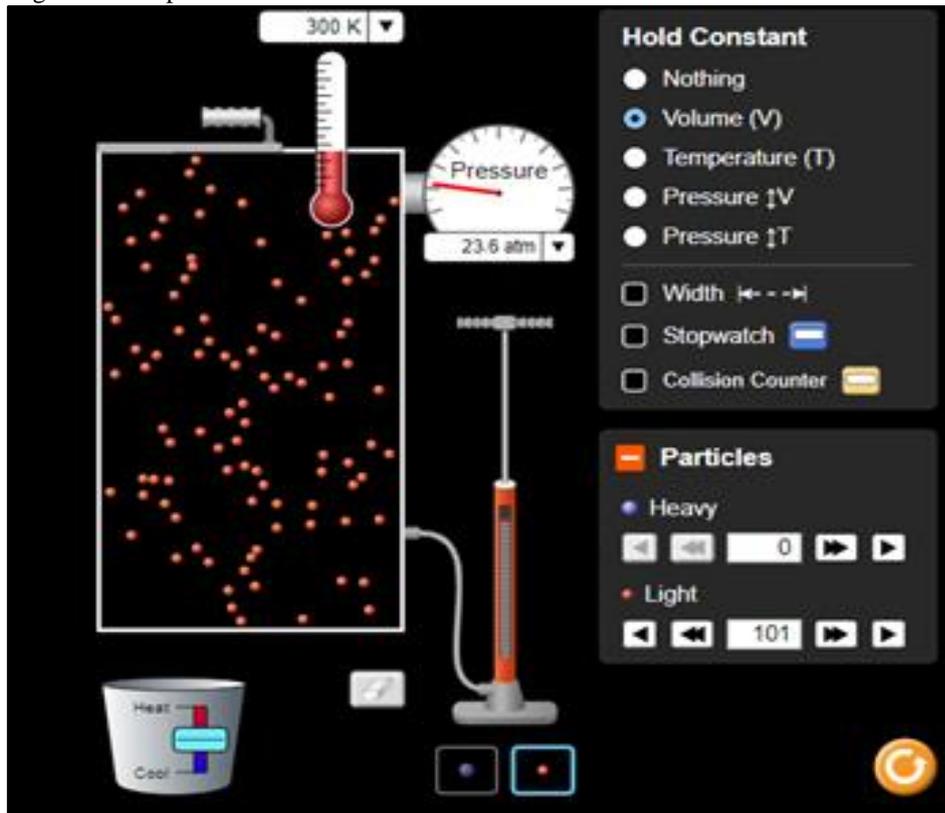
Cabe salientar que o computador por si só não garante a melhoria da aprendizagem, conforme afirmam Medeiros e Medeiros (2002, p. 12):

Uma animação não é, jamais, uma cópia fiel do real. Toda animação, toda simulação está baseada em uma modelagem do real. Se essa modelagem não estiver clara para professores e educandos, se os limites de validade do modelo não forem tornados explícitos, os danos potenciais que podem ser causados por tais simulações são enormes.

Os autores (2002) salientam ainda que, apesar da importância do uso das simulações na formação dos conceitos, há de se observar os argumentos em sua base de sustentação. Não devemos analisar apenas as vantagens educacionais, mas igualmente a base epistemológica das simulações computacionais que dão sustento aos benefícios trazidos para o ensino. Ao professor cabe o papel de mediador no ensino aprendizagem através de simulações computacionais, tornando o ensino interativo com foco no aluno.

Levando em consideração os pressupostos apresentados e considerando que a prática pedagógica desenvolvida por muitos professores no processo de ensino da Física ainda está centrada essencialmente na aplicação de fórmulas e apresentação de conceitos e leis, acreditamos que as simulações computacionais podem ser uma possibilidade de transição de um modelo de ensino transmissivo, na qual o estudante é mero espectador, para práticas que o tornem atuante no processo de construção do conhecimento. Atividades integradas com simulações computacionais podem tornar as aulas mais interessantes e contribuir para a construção de conceitos em vários campos da Física. A seguir apresentamos um simulador (Figura 12) no qual os alunos podem realizar experimentos das propriedades dos gases.

Figura 12 - Captura da tela do simulador.



Fonte: <<http://phet.colorado.edu/en/simulation/gas-properties>>.

Neste simulador, o aluno poderá realizar experimentos de gases e obter valores para temperatura, pressão e volume e, dessa forma, verificar as leis de **Boyle e Mariotti**, de **Charles e Gay Lussac** e **Lei dos Gases Ideais**.

### 3.2 Metodologia ativa sala de aula invertida

Nesta seção, conceituam-se metodologia ativa, modelos híbridos e suas características, em especial a Sala de Aula Invertida (S.A.I.), foco de nosso estudo. Para tanto, subsidiamos nossos estudos em autores como Bergmann e Sams (2019) e Valente (2014), abordando sala de aula invertida; Moran (2013; 2018), Christensen, Horn e Staker (2013), com suas abordagens sobre ensino híbrido, entre outros artigos e dissertações.

#### 3.2.1 Metodologias ativas – modelos híbridos

Aprendemos ativamente ao longo de nossa vida em um enfrentamento de desafios cada vez mais complexos em todas as dimensões da vida – pessoal, profissional, social.

Para Moran e Bacich (2018), aprendemos, desde que nascemos, a partir de situações concretas, que, aos poucos, conseguimos ampliar e generalizar (processo indutivo), assim como aprendemos também a partir de ideias ou teorias para depois testá-las no concreto (processo dedutivo).

Aprendemos com pessoas mais experientes, com pesquisas, perguntas e projetos. A aprendizagem que ainda predomina no ensino são as dedutivas: primeiramente, o professor transmite a teoria; depois, o estudante aplica nas atividades. Este método de aprendizagem também é importante, mas a aprendizagem por questionamento e experimentação tem mais relevância para uma compreensão mais profunda e ampla. Nesse sentido, Moran e Bacich (2018, p. 2) entendem que:

Nos últimos anos, tem havido uma ênfase em combinar metodologias ativas em contextos híbridos, que unam as vantagens das metodologias indutivas e das metodologias dedutivas. Os modelos híbridos procuram equilibrar a experimentação com a dedução, invertendo a ordem tradicional: experimentos, entendemos a teoria e voltamos para a realidade (indução, dedução com apoio docente) (p. 2).

Segundo Moran e Bacich (2013), o hibridismo sempre esteve presente no contexto educacional, pois nos espaços escolares sempre se misturou tempos, atividades, metodologias, públicos e técnicas. O que ocorre é que hoje tais ações estão em visibilidade, em virtude da “mobilidade e conectividade”, como esclarece Moran (2013, p. 28):

O ensino é híbrido porque somos todos aprendizes e mestres, consumidores e produtores de informação e de conhecimento. Passamos, em pouco tempo, de consumidores da grande mídia a “prosumidores” – produtores e consumidores – de múltiplas mídias, plataformas e formatos para acessar informações, publicar, nossas histórias, sentimentos, reflexões e visão de mundo. Somos o que escrevemos, o que postamos, o que “curtimos”. Nisso expressamos nossa caminhada, nossos valores, visão de mundo, sonhos e limitações.

O ensino híbrido une o que há de melhor do ensino online e o ensino tradicional. O ensino online oferece ao aluno a possibilidade de estudar onde e quando quiser, ou seja, no seu tempo. Também possibilita a expansão das metodologias de ensino, tais como vídeos, animações, simulações, pesquisas. Dessa forma o aluno pode participar mais ativamente da aula, pois ao se apropriar dos materiais que o professor lhe disponibiliza, ele poderá anotar as dúvidas ou fazer resumos para a aula presencial. Existem também as plataformas nas quais se pode personalizar o ensino. Outras possibilidades são: jogos virtuais; sites educativos; softwares; criação de textos e imagens em diferentes formatos; edição de vídeos; apresentações; ambientes virtuais de aprendizagem.

O ensino híbrido é assim definido por Christensen, Horn e Staker (2013, p. 7):

programa de educação formal no qual um aluno aprende, pelo menos em parte, por meio do ensino online, com algum elemento de controle do estudante sobre o tempo, lugar, modo e/ou ritmo do estudo, e pelo menos em parte em uma localidade física supervisionada, fora de sua residência.

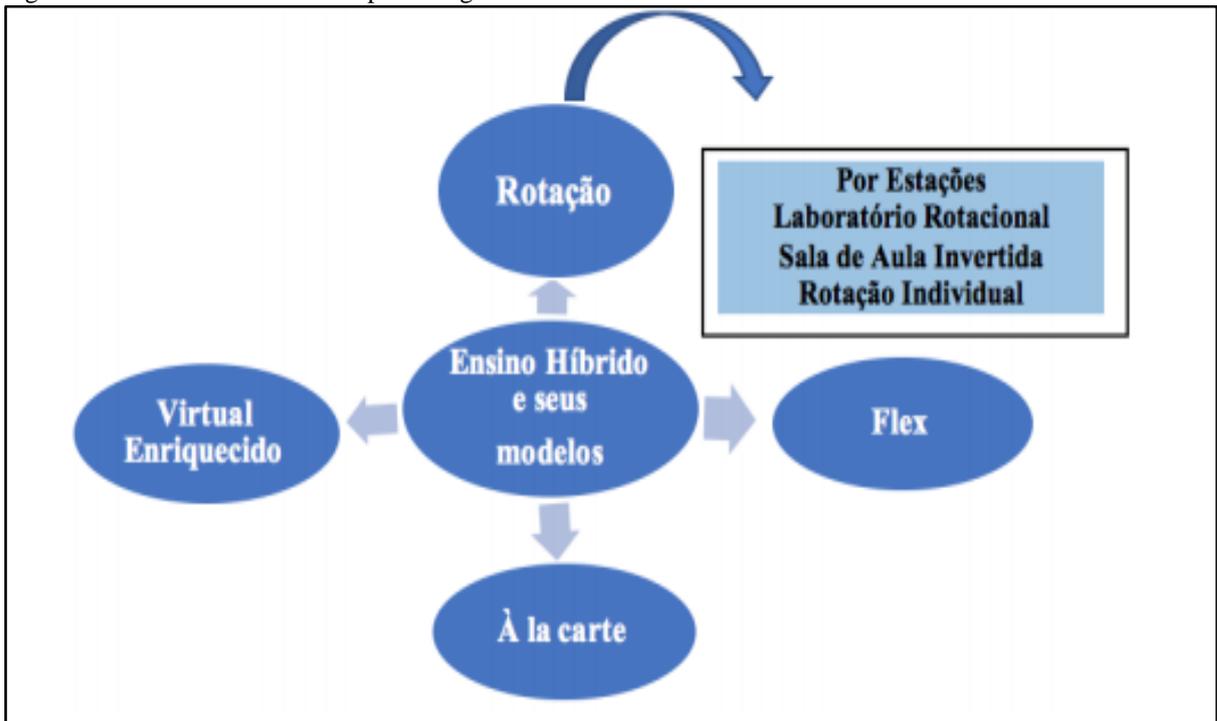
Esses autores acrescentam ainda a este conceito que “as modalidades ao longo do caminho de aprendizado de cada estudante em um curso ou matéria são conectadas para oferecer uma experiência de educação integrada” (CHRISTENSEN; HORN; STAKER, 2013, p. 7). Segundo eles (2013), o ensino híbrido se refere à modalidade de aprendizagem na qual um estudante aprende por meio do ensino online, pelo menos em parte, com algum elemento de controle do aluno sobre o tempo local, caminho ou ritmo do aprendizado; pelo menos em parte, em uma localidade física supervisionada, fora de sua residência. E que as modalidades ao longo do caminho de aprendizado de cada estudante em um curso ou matéria estejam conectados, oferecendo uma experiência de educação integrada. O ensino híbrido caracteriza-se, portanto, por:

- a) Combinar o aprendizado online e o presencial;
- b) Fornecer experiências de aprendizagens que integram as tecnologias digitais da informação e comunicação;
- c) Inserir a tecnologia como facilitadora e potencializadora do ensino;
- d) Apresentar estratégias que visam estimular o aprendizado;
- e) Colocar o estudante no centro do processo formativo;
- f) Possibilitar ao estudante gerenciar seu tempo, lugar e ritmo de estudos no ensino online;
- g) Utilizar plataforma virtual para que professores e estudantes interajam em espaços comuns (CHRISTENSEN; HORN; STAKER, 2013, p. 8).

O ensino híbrido está surgindo como uma forma inovadora em relação à sala de aula tradicional, oferecendo dois modos distintos de ensino e de aprendizagem, ou seja, os benefícios da educação online juntamente com as vantagens do ensino tradicional. Uma característica comum do ensino híbrido é que, quando um curso ocorre parcialmente online e parcialmente por meio de outras modalidades, como as lições em pequenos grupos, tutoria, etc., tais modalidades estão geralmente conectadas. Os estudantes continuam o estudo de onde pararam quando trocam de uma modalidade para outra (CHRISTENSEN; HORN; STAKER, 2013).

A seguir, conforme apresenta a Figura 13, observam-se os modelos híbridos de ensino mais conhecidos.

Figura 13 - Modelos híbridos de aprendizagem.



Fonte: Pereira e Silva, 2018.

O ensino híbrido é um modelo de ensino dentro das metodologias ativas composto por alguns métodos de ensino, sendo que um dos mais utilizados é o modelo rotacional, o qual está subdividido em quatro submodelos, como pode ser observado na Figura 13: rotação por estações; laboratório rotacional; rotação individual; sala de aula invertida (SAI).

O modelo de Rotação é aquele no qual, dentro de um curso ou matéria (Matemática, por exemplo), os alunos revezam entre modalidades de ensino, em um roteiro fixo ou a critério do professor, sendo que, pelo menos, uma modalidade é a do ensino online. Outras modalidades podem incluir atividades como as lições em grupos pequenos ou turmas completas, trabalhos em grupo, tutoria individual e trabalhos escritos (CHRISTENSEN; HORN; STAKER, 2013).

No modelo de Rotação por Estações, também denominado Rotação de Turmas ou de Classe, os alunos se revezam entre as modalidades de ensino, das quais uma delas deve ser online.

No modelo de Laboratório Rotacional, a rotação ocorre entre dois ambientes, a sala de aula e um laboratório de aprendizagem para o ensino online.

O modelo de Sala de Aula Invertida é aquele no qual a rotação ocorre entre a residência e a escola. Na residência, ocorre a aplicação do conteúdo e de lições online; na escola acontecem os trabalhos orientados pelo professor.

O modelo de Rotação Individual difere dos outros modelos de Rotação, porque, em essência, cada aluno tem um roteiro individualizado e não necessariamente participa de todas as estações ou modalidades disponíveis (CHRISTENSEN; HORN; STAKER, 2013).

O modelo Flex é aquele no qual o ensino online é a espinha dorsal do aprendizado do aluno, mesmo que ele o direcione para atividades offline em alguns momentos. Os estudantes seguem um roteiro fluido e adaptado individualmente nas diferentes modalidades de ensino, e o professor responsável está na mesma localidade (CHRISTENSEN; HORN; STAKER, 2013).

Já no modelo à La Carte é comum que o aluno frequente algum curso online concomitantemente com disciplinas regulares cursadas no ensino médio.

Por fim, temos o modelo Virtual Enriquecido, que é uma experiência de escola integral em que os alunos dividem seu tempo entre uma unidade escolar física e a aprendizagem remota através de conteúdos e lições online.

### *3.2.2 Sala de Aula Invertida*

É notório que a maioria dos estudantes da Educação Básica das escolas públicas apresenta grandes dificuldades de aprendizagem na área de ciências exatas (Matemática, Física e Química).

De acordo com Bergmann e Sams (2019), é comum o professor se postar, diariamente, diante da turma e lecionar conforme o currículo escolar. Alguns professores até fazem uso de tecnologias digitais para tornar a aula mais atrativa para cativar a atenção dos estudantes. O problema é que, para alguns estudantes, o professor fala muito rápido e eles não conseguem tomar notas com a mesma velocidade. E mesmo quando conseguem fazer alguma anotação não compreendem o seu significado. Quando vão fazer seus trabalhos escolares, tais estudantes continuam com problemas, porque a anotação que fizeram não lhes ajuda muito nas tarefas. Diante disso, eles poderão pedir, a um colega que tenha feito as tarefas, o caderno emprestado para copiar, ou simplesmente desistir. Infelizmente este cenário é muito comum.

Ainda para Bergmann e Sams (2019), esse cenário pode ser mudado com as metodologias ativas. A Sala de Aula Invertida (SAI) consiste em inverter a metodologia de ensino tradicional, é capaz de atender às necessidades de alunos como estes, permitindo que os professores personalizem a educação dos estudantes.

De acordo com Bergamann e Sams (2019, p. 2), o conceito de SAI pode ser resumido da seguinte forma: “Basicamente, o conceito de sala de aula invertida é o seguinte: o que

tradicionalmente é feito em sala de aula, agora é executado em casa, e o que tradicionalmente é feito como trabalho de casa, agora é realizado em sala de aula”.

O resultado dessa inversão é mais tempo em sala de aula para individualizar o aprendizado. A SAI é uma ferramenta pedagógica que respeita o tempo e a velocidade de cada aluno e o estimula a agir de maneira autônoma no processo de aprendizagem.

A metodologia Sala de Aula Invertida surgiu por volta do ano de 2007, proposta por dois professores de Química, Jonathan Bergmann e Aaron Sams, que lecionavam em uma escola rural dos Estados Unidos. Os professores americanos gravaram aulas ao vivo e postaram para que os alunos acessassem antes que as aulas ocorressem presencialmente. Estes professores sentiram essa necessidade, pois tinham um grande número de alunos de ambiente rural que faltavam a muitas aulas pela prática esportiva. Outro fator que prejudicava o rendimento escolar de alguns dos seus alunos era a distância entre a escola e suas casas, uma vez que os alunos gastavam muito tempo em seus trajetos.

De acordo com Valente (2014, p. 86), “a partir dos anos 2010, o termo ‘*flipped Classroom*’ passou a ser um chavão”, impulsionado por publicações internacionais e surgiram, então, escolas de Ensino Básico e Superior que passaram a adotar essa abordagem.

Dentro do ensino híbrido, a Sala de Aula Invertida “emerge como técnica usada por professores tradicionais para melhorar o engajamento dos estudantes” (CHRISTENSEN; HORN; STAKER, 2013, p. 33) e é, segundo esses autores, o modelo mais simples para dar início à implantação do ensino híbrido, dependendo apenas de um bom planejamento dos professores.

De acordo com Moran e Bacich (2018, p. 31), “para a implantação da Metodologia Sala de Aula Invertida dois aspectos são fundamentais: a produção de material para o aluno trabalhar online e o planejamento das atividades a serem realizadas na sala de aula presencial”. Esses autores corroboram ainda que “as regras básicas para inverter a sala de aula, segundo o relatório *Flipped Classroom Field Guide* (201-?)”, são:

1. As atividades em sala de aula devem envolver uma quantidade significativa de questionamento, resolução de problemas e de outras atividades de aprendizagem ativa, obrigando o aluno a recuperar, aplicar e ampliar o material aprendido online.
2. Os alunos devem receber *feedback* imediatamente após a realização das atividades presenciais.
3. Os alunos devem ser incentivados a participar das atividades online e das presenciais, sendo que elas são computadas na avaliação formal do aluno, ou seja, valem nota.
4. Tanto o material a ser utilizado online quanto os ambientes de aprendizagem em sala de aula devem ser altamente estruturados e bem planejados (MORAN; BACICH, 2018, p. 30).

É um método de ensino utilizado por professores para melhorar o engajamento dos alunos, pois eles recebem instruções prévias sobre o assunto a ser tratado por meio de vídeos e outros recursos interativos, como arquivos de áudio, simuladores, games, textos informativos, slides, etc., por meio do material online. Ao chegar à aula presencial, o aluno já teve contato com o conteúdo estudado. O momento da sala de aula é usado para responder dúvidas provenientes do material e de pesquisas, aplicação dos conceitos, resolução de problemas, desenvolvimento das atividades colaborativas, realização de atividades de fixação, debates, atividades em grupos e realização de projetos. E o professor tem como função monitorar o andamento das atividades, solucionando dúvidas quando aparecerem, aprofundando o tema, podendo desenvolver atividades complementares, estimulando discussões de determinados assuntos.

Alunos e professores dispõem de mais tempo para preencher as lacunas de aprendizagem de forma individual ou coletiva. O professor pode caminhar pela sala, ouvir seus alunos e orientá-los de forma individualizada respeitando o ritmo de cada aluno, tornando, assim, o aprendizado prazeroso e eficaz.

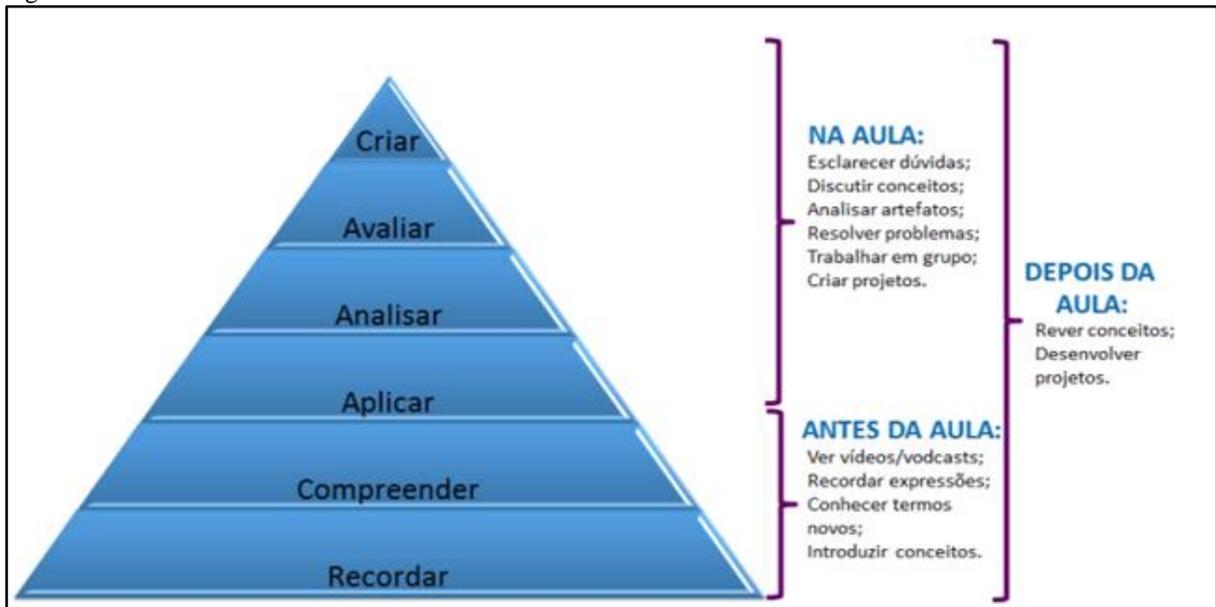
Na SAI, destaca-se que, notadamente, o professor e os alunos trabalham juntos na construção e elaboração do conhecimento. Nesse sentido, conforme Bergmann e Sams (2019, p. 12), “O papel do professor em sala de aula mudou radicalmente. Deixamos de ser meros transmissores de informações; em vez disso, assumimos funções mais orientadoras e tutoriais”.

A Sala de Aula Invertida (SAI) vem com a proposta de tornar o aluno um ser atuante e participativo no processo de ensino e de aprendizagem. Através da utilização da SAI e das metodologias ativas, o professor não apenas transfere seu conhecimento aos alunos, mas proporciona aos estudantes a notável possibilidade de construir e produzir seu próprio conhecimento.

No modelo SAI, existe o momento depois da aula, para o estudante revisar o conteúdo, integrando os conhecimentos prévios com os conhecimentos adquiridos em sala de aula por meio da troca de ideias com colegas. Nesta metodologia, o grande fato a ser destacado é que o aluno pode continuar com o processo de aprendizagem colaborativa, em casa ou mesmo na escola, realizando trabalhos e projetos em grupos e intercâmbio em um ambiente virtual de aprendizagem.

Na Figura 14 apresentamos os três momentos da Sala de Aula Invertida: **antes da aula, na aula e depois da aula.**

Figura 14 - Os três momentos da Sala de Aula Invertida.



Fonte: Schmitz, 2016, p. 8.

Nesta Figura 14, podemos visualizar os três momentos da SAI: **antes da aula**, **na aula** (durante a aula) e **depois da aula** (pós-aula). No momento **antes da aula**, os estudantes desenvolvem habilidades cognitivas, para recordar expressões, compreender conceitos, conhecer termos novos, ver vídeos. No momento **na aula** (durante a aula), as atividades se concentram nas formas mais elevadas do trabalho cognitivo – aplicar, analisar, avaliar, criar –, contando com o apoio de seus pares e professores. E, no terceiro momento, no momento **depois da aula** (pós-aula), este estudante, já com todas essas habilidades desenvolvidas, reverá conceitos e desenvolverá projetos.

Segundo Bergmann e Sams (2019, p. 12), um dos grandes benefícios da inversão é o de que os alunos que têm dificuldades recebem mais ajuda. Isso ocorre porque a metodologia de inversão da sala de aula propicia que o professor circule pela sala de aula o tempo todo, ajudando os estudantes na compreensão de conceitos em relação aos quais se sentem bloqueados.

Ao professor, cabe mediar e orientar o aluno durante o processo de aprendizagem. O professor não é mais o único detentor do saber, e o conhecimento que provém do aluno é considerado fundamental para o sucesso da aula. Descrita por Bergmann e Sams (2019) como uma metodologia ativa que “desloca a atenção do professor para o aprendiz e para a aprendizagem”, a SAI aproxima o professor do aluno e este dos seus colegas, tornando a sala de aula um lugar de trocas, respeito e confiança. Dessa forma, a SAI proporciona ao aluno um lugar de destaque durante a aula e contribui para a formação de um cidadão pensante com voz ativa na sociedade.

Entendemos que o aluno é um ser único e diferente e por esse motivo cada um aprende de uma forma e no seu tempo. Com o ensino através das metodologias ativas, o aluno pode escolher a melhor forma de aprender e o momento mais adequado, de uma maneira colaborativa e individual, podendo contar sempre com o auxílio do professor como mediador.

De modo geral, podemos perceber que a metodologia ativa de Sala de Aula Invertida prevê o uso das TDICs para que os alunos entrem em contato com os tópicos a serem discutidos em sala através de atividades prévias às aulas. Assim, abre espaço nas aulas para que o professor possa trabalhar com os alunos, de forma colaborativa, realizando atividades experimentais, de simulação computacional e/ou resolução de problemas, por exemplo. O material instrucional preparatório para formação do aluno pode ser disponibilizado pelo professor de diversas maneiras, como tutoriais, roteiros de estudo, teleaulas, indicação de leituras, vídeos, entre outros.

Nesse sentido, corroboram Oliveira, Araújo e Veit (2016, p. 1) que:

Ao 'inverter' a aula, ou seja, centrar o ensino nos alunos e ressignificar o papel do professor para além da transmissão de informações, ganha-se tempo em sala para que atividades mais nobres aconteçam, tais como discussões pormenorizadas sobre conceitos físicos e atenção a dificuldades específicas apresentadas pelos alunos.

Perante o exposto referente à metodologia Sala de Aula Invertida, portanto, entendemos que o aluno tem o dever de realizar o estudo prévio dos materiais disponibilizados a ele e preparar-se de forma significativa (lendo e relendo caso seja leitura, assistindo a mais de uma vez os vídeos, anotando as dúvidas) para os encontros presenciais, nos quais devem ocorrer atividades de discussão, análise e síntese, aplicação, elaboração própria, sempre direcionados por problematização. Para isso, o aluno precisa ser um sujeito ativo no seu processo de aprendizagem, capaz de relacionar seus conhecimentos a partir do que aprende nas disciplinas, realizando a reflexão crítica sobre as situações reais em que vive. Nessa proposta, ao professor não cabe a transmissão de conceitos, mas, sim, a organização de sequências de atividades e orientar sua resolução, contribuindo na consolidação com o que está sendo por eles aprendido.

### **3.3 Estudos relacionados**

A presente seção tem por objetivo apresentar os resultados de uma investigação realizada em dissertações de mestrado da área de Ensino, mais especificamente, em estudos

relacionados às metodologias ativas, especificamente a Sala de Aula Invertida (SAI), associada ao uso de simulações computacionais para a Primeira Lei da Termodinâmica. A investigação teve o intuito de identificar como estão sendo propostas as abordagens didáticas ao estudo dos tópicos mencionados, além de identificar possíveis lacunas que necessitam de complementação na forma de materiais didáticos para o Ensino Médio de Física.

Com o objetivo de analisar a produção científica sobre tópicos da Primeira Lei da Termodinâmica, na área de Ensino de Física, a pesquisa buscou identificar os recursos didáticos produzidos, permitindo a contribuição com a elaboração de novos materiais destinados a subsidiar o planejamento pedagógico do professor. A partir disso, realizamos uma revisão bibliográfica no Banco de Teses e Dissertações da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)<sup>1</sup> e na plataforma do Google Acadêmico<sup>2</sup>. A busca adotou como descritores os termos “Sala de aula invertida” AND “Ensino de Física”, “Sala de Aula Invertida” AND “Ensino da Termodinâmica”, “Sala de Aula Invertida” AND “Ensino Médio”, “Sala de Aula Invertida”, “Primeira Lei da Termodinâmica”, “Simulações computacionais” AND “Primeira Lei da Termodinâmica”, “Simulações computacionais” AND “Ensino Médio”. A pesquisa ocorreu nos títulos, palavras-chave e resumo; quando necessário, procedemos à leitura do texto completo. Para compor a revisão bibliográfica desta pesquisa, selecionamos dissertações na área de Ensino de Física que estivessem relacionadas a abordagens didáticas ou investigações da física térmica, metodologias ativas e simulações computacionais, devendo, ainda, estar em língua portuguesa e com publicação entre os anos de 2014 a 2019. Optamos por dissertações, pois a maioria dos artigos encontrados estava relacionada a elas. Na plataforma Google Acadêmico, foram apontadas nove ocorrências; no portal do Banco de Teses e Dissertações da Capes, obtivemos 220 ocorrências geradas. Após analisar esses estudos, identificamos seis dissertações que atenderam aos critérios estabelecidos, cuja análise passamos a discutir na sequência.

Essas dissertações foram classificadas entre aquelas que compunham programas acadêmicos e profissionais, pois, apesar de estarem na mesma área (ensino), possuem características diferentes. Por exemplo, para mestrados profissionais é obrigatória a elaboração de um PE, enquanto para mestrados acadêmicos é opcional. Em seguida, foram analisados: os conteúdos abordados; os tópicos referentes aos conteúdos; o nível de escolarização para o qual estava sendo destinado o PE ou os resultados da pesquisa; as estratégias didáticas utilizadas pelos autores para a abordagem dos temas em estudo.

Durante a realização da revisão sistemática, tentamos manter uma busca organizada, precisa e concisa, com o intuito de conseguir um alicerçado embasamento teórico referente ao

assunto, apesar da reduzida literatura publicada sobre o tema na área de Ensino de Física. Os resultados encontrados nas buscas podem ser observados no Quadro 1, a seguir.

Quadro 1 - Relação das dissertações pesquisadas.

<b>Tipo de Programa</b>	<b>Autor</b>	<b>Conteúdo</b>	<b>Nível de escolarização</b>	<b>Estratégia de ensino</b>
Mestrado Acadêmico	TOMANIK (2015)	Conceitos fundamentais da Cinemática	Graduação	Uso do software Modellus dentro da abordagem metodológica Sala de aula invertida
Mestrado Profissional	ARAÚJO (2019)	Óptica geométrica	Ensino Médio	Metodologia sala de aula invertida
	MORO (2015)	Transferência de energia térmica	Ensino Médio	Atividades experimentais e simulações computacionais
	OLIVEIRA (2018)	Dilatação térmica Capacidade térmica Calor específico e calor latente	Ensino Médio	Experimentos virtuais e reais
	NUNES (2016)	Estudo dos gases Termodinâmica	Ensino Médio	Modelagem e simulações computacionais
	CARLI (2014)	Termometria Calorimetria Mudança de fase Transmissão de calor Dilatação térmica Estudo dos gases Termodinâmica	Ensino Médio	Demonstrações em vídeo

Fonte: Dados da pesquisa, 2021.

Na sequência do texto, apresenta-se uma análise dos respectivos trabalhos selecionados, com o intuito de identificar seus objetivos, suas metodologias, seus dados e suas conclusões finais.

A obra de Tomanik (2015) teve por objetivo demonstrar a viabilidade da aplicação da metodologia denominada Sala de Aula Invertida a partir do desenvolvimento de materiais instrucionais simples e com o emprego de recursos disponíveis à maioria dos professores de Física. O pesquisador utilizou a metodologia do tutorial do Modellus juntamente com a Sala de Aula Invertida. A pesquisa caracteriza-se como qualitativa. Participaram da pesquisa 10 estudantes, divididos em dois grupos. Os dados foram coletados através da aplicação de um questionário online, elaborado utilizando o Google Docs e a plataforma Google Forms para coletar a opinião dos alunos. Foram utilizados vídeos curtos para a apresentação de tutoriais do Modellus e a aplicação da metodologia da Sala de Aula Invertida. Alguns dias antes da aula, os alunos assistiam aos vídeos postados na plataforma Youtube e, ao chegarem na sala de informática, respondiam algumas atividades propostas pelo professor. Segundo TomaniK

(2015), os licenciados conseguiram responder às atividades sem a sua intervenção, provando que assistiram aos vídeos. O pesquisador conclui que tanto a abordagem metodológica Sala de Aula Invertida quanto o *Modellus* mostraram-se eficientes e com ótima aceitação.

A dissertação de Araújo (2019) defende que o “aluno precisa falar e sair do modelo da educação tradicional de vários séculos [...] o papel fundamental da sala de aula invertida é expandir o ambiente escolar para fora dos muros da escola”. O objetivo deste estudo foi abordar uma metodologia que permite uma aprendizagem mais ativa e eficaz. Utilizou-se o método da Sala de Aula Invertida no estudo da Óptica Geométrica em turmas do 2º ano do Ensino Médio. Aplicou-se a metodologia com base nos trabalhos de Wesley Backer, Nancy Walter-Perez e Jianyu Dong, tendo Vygotsky como referencial teórico. Os conteúdos a serem estudados pelos alunos foram disponibilizados nas plataformas digitais do Facebook e por e-mail. O PE elaborado pelo pesquisador constituiu-se de uma sequência didática na qual consta o planejamento de 16 aulas. Nas duas primeiras aulas, além da apresentação da proposta das aulas, foi feito um teste de sondagem aos alunos. Nas demais, os alunos já chegavam com um conhecimento prévio do conteúdo a ser estudado e geralmente trabalhavam em grupos. As metodologias que colocam o aluno como sujeito ativo, interativo e participativo, levando-o a trabalhar em colaboração e cooperação com seus colegas, são muito eficazes e bem aceitas pelos discentes. Este trabalho vem ao encontro de nossa pesquisa quanto à metodologia Sala de Aula Invertida, pois defendemos um aluno autônomo, ativo, participativo.

A dissertação de Moro (2015) aborda a transferência de energia térmica. Para tal, utiliza atividades experimentais vinculadas às simulações computacionais. A problemática que alavancou o estudo é: “quais as implicações da integração das atividades experimentais e simulações computacionais na aprendizagem significativa dos estudantes no conteúdo de transferência de energia térmica?”. De natureza qualitativa, a pesquisa baseou-se em levantamento de dados para o qual se aplicou um questionário semiestruturado. Também foram feitas observações em um diário de campo, fotos, filmagens e elaboração de um mapa conceitual. Em análise dos questionários, o pesquisador verificou a falta de alguns subsunçores quanto ao entendimento do conceito de calor e temperatura, pois os estudantes não foram capazes de diferenciá-los. Os estudantes mostraram-se entusiasmados e interessados quanto à proposta para trabalhar com atividades experimentais e simulações, favorecendo a aprendizagem significativa. O estudo contou com a participação de trinta e cinco estudantes do 2º ano do Ensino Médio, de uma escola privada do município de Erechim, Rio Grande do Sul. Para desenvolver os trabalhos, a turma foi dividida em grupos de até cinco alunos. A teoria dos conteúdos era apresentada concomitantemente com os

experimentos e, logo após, os estudantes respondiam aos questionários. Na sequência, foram feitas as simulações e a elaboração dos mapas conceituais. Em análise dos dados, a pesquisadora observou que todos os objetivos foram alcançados, mas não por todos os estudantes, o que reforça as características individuais de cada um. A autora manifesta que:

Ao comparar os resultados do questionário semiestruturado com as respostas das atividades experimentais e das simulações, bem como com os mapas conceituais construídos, observa-se indícios de que novos conceitos acerca da propagação da energia térmica foram elaborados. Também foi possível observar que houve indícios que ocorreu a modificação dos subsunçores já presentes nas estruturas cognitivas dos estudantes (MORO, 2015, p. 128).

Moro (2015) conclui afirmando que as propostas elaboradas numa metodologia que integrem experimentação e simulações computacionais se tornam um material potencialmente significativo. Nossa proposta de pesquisa também utiliza simulações computacionais, por ser uma grande ferramenta na física térmica para representar os experimentos já que não é possível realizar os experimentos reais.

Oliveira (2018) teve como objetivo principal verificar se o desenvolvimento de uma “proposta didática para o ensino da física térmica por meio de atividades de estudo com experimentos real e virtual” potencializa a aprendizagem. O conteúdo abordado na sequência didática foi dilatação térmica, capacidade térmica, calor específico e calor latente. A sequência de atividades foi aplicada para vinte alunos de uma turma do segundo ano do Ensino Médio do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA), situado na cidade de Valença. Os dados foram coletados através de gravação de áudio, diário de bordo, questionários e respostas contidas nas heurísticas. O autor destaca que, para organização do trabalho, elaborou planos de aula e atividades de estudos através de “mídia computacional e/ou experimento utilizando o Arduino com planilha eletrônica para aquisição e análise de dados”. As atividades foram implementadas no laboratório do IFBA. O pesquisador elaborou um site contendo as “mídias computacionais da dilatação térmica, calor latente, instruções para elaboração do experimento do calor sensível e as heurísticas”. O PE consiste de três atividades de estudos com temas da física térmica e um site contendo os experimentos. No início das atividades, os alunos tiveram um pouco de dificuldade, pois não estavam habituados com as ferramentas eletrônicas de Física e estavam acostumados a ser espectadores e não protagonistas. Os dados desta pesquisa foram coletados durante e após as aulas, pois as aulas eram gravadas e transcritas posteriormente. Oliveira destaca em seu trabalho que “foi notável o quanto os alunos ficaram interessados em participar da aula

quando manipularam o experimento” e que, depois dessa manipulação, conseguiram responder à situação-problema da heurística. Ele ressalta que os alunos se portavam de uma forma autônoma, colaborativa, motivada; prestam atenção e realizam as atividades. Oliveira acredita ter atingido os cinco objetivos propostos neste trabalho.

A obra de Nunes (2016) tem como proposta de ensino a elaboração de uma “sequência didática para o ensino de Gases e Termodinâmica utilizando o processo de modelagem apoiado pela técnica da Simulação Computacional”. O pesquisador utilizou diversos livros didáticos para a elaboração da pesquisa com a intenção de obter um produto coeso e diversificado quanto ao uso de estratégias. “A proposta foi aplicada em turma de 28 alunos do Ensino Médio integrado ao curso técnico do Instituto Federal de Santa Catarina, campus Florianópolis”. O produto proposto foi dividido em três módulos de conteúdo, com objetivos específicos e encaminhamento metodológico em cada um. O aluno contará ainda com um material complementar contendo exercícios de sala e exercícios de aperfeiçoamento. As simulações computacionais utilizadas no desenvolvimento da proposta foram retiradas pelo da página da internet: <phet.colorado.edu> e <fisica.ufpb.br/~romero/objetosaprendizagem>. Nunes (2016) justifica a escolha dos conteúdos de Gases e Termodinâmica para o desenvolvimento de sua pesquisa pela complexidade de realizar atividades experimentais e acredita “que as simulações computacionais articuladas à modelagem podem conferir uma prática de ensino consistente e diversificada”. Na análise de resultados, o pesquisador relata que:

foi possível observar alguns aspectos, diversificar as estratégias de ensino promove uma aproximação do estudante com o conhecimento científico abordado, as simulações computacionais auxiliam no processo de apropriação e compreensão dos conteúdos trabalhados, a construção dos modelos matemáticos é vista como elemento importante para a interpretação dos fenômenos e por fim, os alunos são críticos e reconhecem o uso de diferentes estratégias de ensino.

Este estudo é o que mais se identifica com nossa pesquisa, pois temos o mesmo conteúdo em comum, Termodinâmica; em nosso caso, apenas a Primeira Lei e uma metodologia, as simulações computacionais. Pode-se observar na leitura desta obra que as simulações computacionais ajudam muito os estudantes na compreensão dos fenômenos e conceitos físicos. Na nossa pesquisa, ainda teremos a metodologia da Sala de Aula Invertida.

O trabalho de Carli (2014) investigou a aprendizagem significativa dos conteúdos da Física Térmica através de experimentos em vídeos para três turmas do segundo ano do Ensino Médio na Escola Fundação Evangélica de Novo Hamburgo/RS. Sua fundamentação teórica

está ancorada em David Ausubel e Joan Ferrés. O PE é uma sequência de atividades que foi aplicada em três turmas e aconteceu de forma a ressaltar a importância dos conceitos. O desenvolvimento não seguiu uma mesma sequência porque em uma aula o autor iniciava com o vídeo, depois introduzia os conceitos e após as atividades. Em outra aula, iniciava com os conceitos e depois apresentava o vídeo e as atividades e, por vezes, outro vídeo para o fechamento. No total, o pesquisador produziu vinte e quatro vídeos, que estão disponíveis no canal Institucional do Instituto de Física da UFRGS no *Youtube*. Com o objetivo de avaliar a aplicação da proposta didática, ao final, o autor aplicou um questionário aos participantes. Em análise dos questionários, o pesquisador observou que grande parte destes estudantes – cerca de setenta e cinco por cento – gosta de estudar Física e se preocupam em aprender para ter sucesso no vestibular. Muitos alunos conseguem fazer uma relação entre o conteúdo estudado com o cotidiano; outros afirmam que a Física é capaz de explicar tudo; uns compreendem que o conhecimento é uma construção humana. Carli (2014) finaliza dizendo que foram alcançados os objetivos do estudo, pois os alunos aprovaram a “exposição dos conteúdos na forma de atividades com vídeos”. Esse tipo de metodologia “despertou o interesse dos estudantes pela Física e os fenômenos relacionados ao conteúdo”.

Mediante análise feita nos estudos mencionados, observamos dois – de Tomanik (2015) e Araújo (2019) – que utilizaram a metodologia Sala de Aula Invertida, que se assemelham à metodologia que será utilizada em nossa pesquisa, porém não na Física Térmica. Já as dissertações de Carli (2014), Nunes (2016) e Oliveira (2018) pesquisaram a Física Térmica, mas não contemplando a metodologia Sala de Aula Invertida, assemelhando-se a nossa também. E, por fim, o trabalho de Moro (2015), que é o que mais se assemelha com a nossa pesquisa, trata sobre a Física Térmica e as Simulações Computacionais. No entanto, nossa pesquisa, além de utilizar a metodologia Sala de Aula Invertida, na Física Térmica vai utilizar outro recurso, que são as simulações computacionais, diferenciando-se dos trabalhos analisados.

#### 4 METODOLOGIA DA PESQUISA

Durante toda a vida escolar, os estudantes realizam pesquisas solicitadas por seus professores. No entanto, essa prática tem sido, frequentemente, mal compreendida por alguns estudantes e professores quanto à sua natureza e finalidade, segundo Prodanov e Freitas (2013, p. 42): “Pois muitas vezes não passam de simples compilação ou cópia de algumas informações desordenadas, e o que é pior não referenciada devidamente”. Estes autores dizem que, quando temos um problema, uma interrogação ou uma situação para a qual o nosso conhecimento não é suficiente para gerar respostas adequadas, devemos realizar um estudo planejado, uma pesquisa científica. Definem pesquisa científica como sendo “um conjunto de ações, propostas para encontrar a solução para um problema, as quais têm por base procedimentos racionais e sistemáticos” (PRODANOV; FREITAS, 2013, p. 44).

E, assim, de acordo com os objetivos anunciados para o estudo, a pesquisa é definida como de abordagem explicativa, pois se buscou tornar evidentes alguns motivos pelos quais o ensino com enfoque investigativo pode favorecer a aprendizagem em ciências. Segundo Gil, (2002, p. 42), “esse é o tipo de pesquisa que mais aprofunda o conhecimento da realidade, porque explica a razão, o porquê das coisas”.

Quanto aos procedimentos adotados, a pesquisa está relacionada à pesquisa participante, porque se desenvolve por meio da interação entre pesquisadores e membros a serem investigados. De acordo com Gil (2002, p. 56), “a pesquisa participante, assim como a pesquisa-ação, caracteriza-se pela interação entre pesquisadores e membros das situações investigadas”.

Um fato novo, contudo, precisa ser destacado, uma vez que alterou os rumos da metodologia de pesquisa da presente dissertação. Durante o desenvolvimento do projeto de pesquisa, no ano de 2020 e início do ano letivo de 2021, a intenção era aplicar o PE em uma turma de Ensino Médio, em uma escola pública onde a pesquisadora leciona. Porém, com o contexto da pandemia do COVID-19, os estudantes puderam escolher entre as aulas presenciais ou remotas, e cerca de 80% dos estudantes desta escola permaneceram no ensino remoto. Este cenário, portanto, não possibilitou a aplicação da proposta didática com a turma.

Diante desse contexto, optamos como método de coleta de dados a Técnica *Delphi* (também conhecido como Método Delfos), que, segundo Facione (1990, apud MARQUES; FREITAS, 2018, p. 390), “é uma poderosa técnica de investigação por permitir reunir um conjunto de opiniões de especialistas separados geograficamente, levando a resultados densos sobre temáticas complexas e abrangentes”.

Este método, ainda pouco explorado no Brasil, surgiu em 1960, sendo muito utilizado na área da Saúde, Humanas e Educação. Sua aplicação normalmente é feita através de questionários sequenciais, que são respondidos individualmente por um grupo de especialistas selecionados. De acordo com Marques e Freitas (2018, p. 391), “Os resultados são analisados pelos pesquisadores a cada rodada de questionários. São observadas as tendências e as opiniões dissonantes, bem como suas justificativas, sistematizando-as e compilando-as para, posteriormente, as reenviar ao grupo”. Segundo os autores (2018), na literatura consultada – Grisham (2009); Kayo; Securato (1997); Linstone; Turoff (2002); Serra et al. (2009); Silva; Tanaka (1999); Yousuf (2007) – o processo de implementação do Método Delphi se dá em várias etapas, as quais transcrevemos a seguir.

Escolha do grupo de especialistas. Construção do questionário 1. Primeiro contato com os especialistas e convite para participação na pesquisa. Envio do questionário 1. Recebimento das respostas ao questionário 1. Análise qualitativa e quantitativa das respostas. Construção e envio do questionário 2 com feedback. Recebimento das respostas ao questionário 2 e sua análise. Envio das seguintes rodadas de questionários, intercalando com as respectivas análises. Final do processo e escrita do relatório final (MARQUES; FREITAS, 2018, p. 394).

Olhando para o processo de implementação do Delphi como um todo, a maioria das pesquisas tem entre duas e quatro rodadas. “Um número maior não é aconselhável em virtude de restrições de tempo e pelo fato de não existirem mudanças de opinião significativas nas rodadas posteriores, conforme atestam experiências já realizadas” (KAYO; SECURATO, 1997, p. 53, apud MARQUES; FREITAS, 2018, p. 397).

Rowe e Wright (1999) e Yousuf (2007, apud MARQUES; FREITAS, 2018, p. 398) descrevem as rodadas típicas de maneira concisa. Apresentamos no Quadro 2 a descrição das rodadas típicas para implementação do Delphi, conforme Marques e Freitas (2018).

Quadro 2 - Descrição das diferentes rodadas de implementação do Delphi.

Rodada	Descrição
1ª	Questionário não estruturado que permite aos membros expressarem livremente a sua opinião de forma que os fatores e os temas importantes emergem. Normalmente, é solicitada a opinião sobre determinada temática ou um conjunto de previsões, objetivos, preocupações ou outras, e também a descrição e a justificativa deles de modo o mais completo possível.
2ª	Questionário estruturado a partir da análise das respostas da 1ª rodada, geralmente, pelos especialistas, de maneira agrupada. Solicita-se a eles que os classifiquem ou ordenem, segundo critérios claros. É facultado também o sumário estatístico das respostas do grupo e os exemplos de afirmações do painel como ilustração.
3ª e seguintes	Questionário mais apurado. Sumário estatístico das respostas com informações sobre o grau de consenso. O painel tem a oportunidade de alterar suas respostas com base na resposta do grupo. Os especialistas que deram respostas dissonantes são convidados a justificar as suas escolhas.

Fonte: Marques e Freitas, 2018, adaptado pela autora.

Na elaboração dos questionários, a partir do primeiro, faz-se a análise das respostas do grupo de especialistas. É muito importante que, após essa análise, seja enviado aos especialistas um *feedback*, fator fundamental no método Delphi.

Nesta metodologia, a análise dos dados é caracterizada em qualitativa e quantitativa. A qualitativa é aplicada principalmente ao resultado do primeiro questionário (aberto) e geralmente é usada a análise de conteúdo, categorizando-as e agrupando-as por itens de resposta. Quanto à análise quantitativa, são normalmente usadas técnicas de estatística descritiva (médias, desvio padrão e variância).

O processo de rodadas de questionários termina no momento em que são atingidos os níveis pretendidos de estabilidade e consenso nas respostas. A estabilidade pode ser definida quando não há novas contribuições ou poucas alterações das respostas do painel entre rodadas (MIRANDA et al., 2012, apud MARQUES; FREITAS, 2018, p. 400). Já o consenso ocorre quando há baixa divergência entre as respostas a um determinado item em torno de uma resposta média (OSBORNE et al., 2003, apud MARQUES; FREITAS, 2018, p. 400). De acordo com Marques e Freitas (2018, p. 400):

No entanto, não há regras bem definidas para o estabelecimento desses critérios (POWELL, 2003). Osborne et al. (2003) encontraram pouca informação na literatura e acabaram por considerar que o consenso foi atingido quando pelo menos dois terços dos participantes classificaram um item com quatro ou cinco na escala de Likert de cinco pontos, e a estabilidade quando menos de um terço mudou as suas respostas entre rodadas.

O método Delphi tem, ainda, várias vantagens e potencialidades. Uma das principais e mais referida é o anonimato, que evita conflitos no grupo e não permite o domínio de alguns indivíduos, oportunizando que as opiniões sejam mais honestas e com menos vieses (GUPTA; CLARKE, 1996; OSBORNE et al., 2003; POLLAND; POLLAND, 2004; POWELL, 2003; SILVA; TANAKA, 1999; YOUSUF, 2007, apud MARQUES; FREITAS, 2018, p. 401).

Osborne et al. (2003) e Rowe e Wright (1999) “acrescentam que o uso de um grupo de especialistas é outra das vantagens, pois o contributo deles é, à partida, mais válido do que o contributo de não especialistas, e o resultado gerado por um grupo tem normalmente mais validade do que a opinião de um só indivíduo” (apud MARQUES; FREITAS, 2018, p. 401).

Outra vantagem que alguns autores referem é que o Delphi pode ser usado como ferramenta de aprendizagem, além de instrumento de pesquisa (GUPTA; CLARKE, 1996; POWELL, 2003). Sendo “bem projetado e gerido, o Delphi pode ser um ambiente altamente

motivador para os respondentes” (YOUSUF, 2007, apud MARQUES; FREITAS, 2018, p. 402).

Portanto, esta é a metodologia escolhida para desenvolver a coleta e análise dos dados da pesquisa, pelos motivos já expostos anteriormente. Após a aplicação dos questionários, será feita a análise e sistematização dos dados e o relatório final. Ou seja, uma vez coletados os dados, a partir das respostas dos especialistas, se partirá para sua análise e interpretação, buscando estabelecer as relações da pesquisa com a categoria da BNCC relacionada.

Por fim, o PE será avaliado, por, no mínimo, dez professores com graduação em Física ou afim que estejam atuando (ou tenham atuado) como docentes na Educação Básica no ensino de Física e que, preferencialmente, já tenham ministrado o conteúdo da Primeira Lei da Termodinâmica. Na medida do possível, também serão convidados avaliadores que possuam pós-graduação. Inicialmente, será feito um convite ao avaliador, com um texto geral, conforme Apêndice A. Após o avaliador convidado responderá um questionário de cadastro (Apêndice B). A avaliação do PE – “Ensino da Primeira Lei da Termodinâmica por meio de simulações computacionais no contexto da metodologia da sala de aula invertida” – será por meio do questionário que constitui o Apêndice C, o qual será disponibilizado para cada avaliador juntamente com o PE.

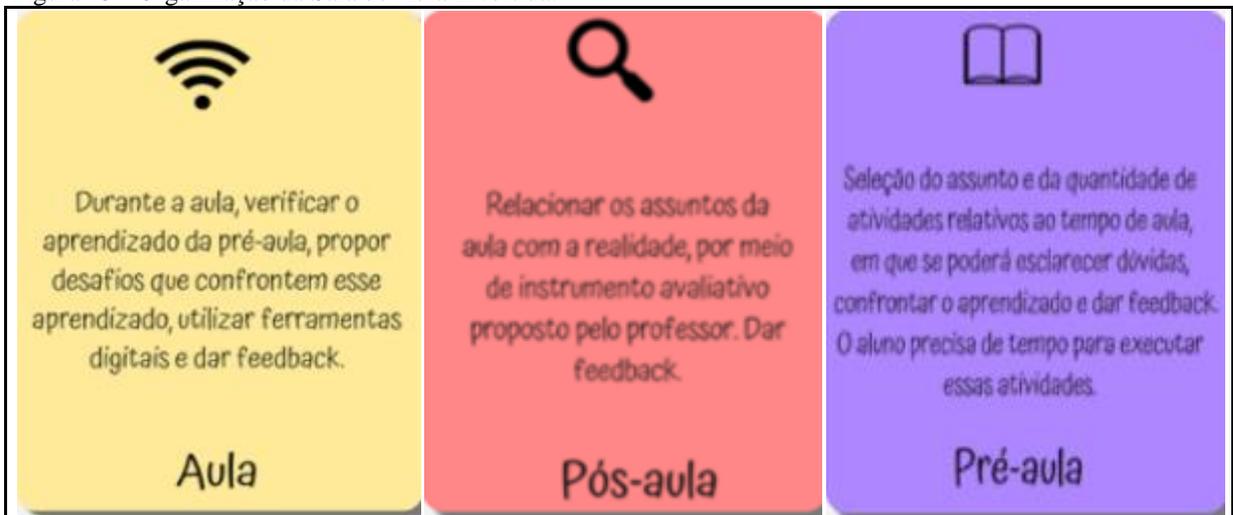
## 5 PRODUTO EDUCACIONAL E SUA APLICAÇÃO

O PE, disponível em <<http://educapes.capes.gov.br/handle/capes/701629>> a ser desenvolvido será na forma de uma sequência de atividades, em sintonia com as etapas da Sala de Aula Invertida (SAI), com o uso de recursos didáticos variados, tais como simulações computacionais, vídeos, hipertextos, kahoot<sup>2</sup>. O objetivo está em servir de apoio aos professores de Física de Ensino Médio.

As ações e atividades presentes no PE são *slides* de apresentação com temas de estudos, vídeos, simulações e resolução de situações-problemas. Os exercícios e o uso das tecnologias foram desenvolvidos e adaptados tomando por base o auxílio de livros didáticos e da internet.

A pesquisa e conseqüentemente a aplicação do PE são desenvolvidos na metodologia ativa SAI, que inverte o modelo tradicional de ensino e se constitui de três momentos importantes. Para tal, serão necessários seguir alguns procedimentos a fim de orientar as atividades a serem desenvolvidas pelos estudantes. A Figura 15 apresenta os procedimentos a serem seguidos na aplicação do PE.

Figura 15 - Organização da Sala de Aula Invertida.



Fonte: Pesquisas na internet, 2021.

Em casa, no momento **pré-aula**, os estudantes têm acesso ao material que o professor disponibiliza para estudo antes da aula. Os alunos assistem a vídeos, *slides*, documentários, respondem questionários do *Formulário do Google* e anotam suas dúvidas para o momento da aula.

<sup>2</sup> Fonte: <<https://kahoot.com/>>.

**Durante a aula**, o professor inicia a aula respondendo aos questionamentos dos estudantes, sanando as dúvidas que anotaram ao realizar o momento pré-aula. Na sequência, passam a interagir com as simulações computacionais, momento em que o professor faz o papel de mediador para que o estudante seja capaz de construir o seu aprendizado. Ainda durante a aula, os estudantes trocam ideias, em grupos, sobre o conteúdo, quando estão respondendo questionários, desenvolvendo atividades, e o professor continua agindo como mediador.

O momento pós-aula também ocorre na sala de aula, geralmente em um período, com uma atividade para conclusão das atividades daquela etapa. Geralmente são atividades diferenciadas do tipo jogos de perguntas e respostas, como Kahoot<sup>3</sup>, Quiz<sup>4</sup> ou, ainda, seminários<sup>5</sup> notadamente para colocar em prática o que se aprendeu no momento pré-aula e durante a aula.

Este PE é composto por uma sequência de atividades, organizada com atividades sugestivas, como textos, vídeos, simulações, *slides*, formulários de exercícios, entre outras atividades, para serem utilizadas por professores de Física, com objetivo de abordar o tema Primeira Lei da Termodinâmica associada à metodologia Sala de Aula Invertida. No Quadro 3, apresentamos a sistematização do PE.

Quadro 3 - Sistematização do Produto Educacional.

Primeira Lei da Termodinâmica	
Temática	Primeira Lei da Termodinâmica
Público-alvo	Estudantes do 2º ano do Ensino Médio
Duração	15 encontros
Objetivos	Investigar as potencialidades da utilização da metodologia Sala de Aula Invertida associada às simulações computacionais no processo de ensino da Termodinâmica com alunos do segundo ano do Ensino Médio.
Desenvolvimento	Energia interna de um gás; Trabalho envolvido na transformação do gás; Conceituar processo termodinâmico; Conceituar sistemas e tipos de sistemas; Primeira Lei da Termodinâmica.

Fonte: Autora, 2021.

<sup>3</sup> **Kahoot:** plataforma de criação de questionário, pesquisa e quizzes que foi criada em 2013, baseada em jogos com perguntas de múltipla escolha, permitindo aos educadores e estudantes investigar, criar, colaborar e compartilhar conhecimentos, sendo que funciona em qualquer dispositivo tecnológico conectado à Internet.

<sup>4</sup> **Quiz:** nome de um jogo de questionários que tem como objetivo realizar uma avaliação dos conhecimentos sobre determinado assunto. Neste tipo de jogo, podem participar tanto grupo de muitas pessoas como participantes individuais, que devem acertar a maior quantidade de respostas para ganhar.

<sup>5</sup> **Seminário:** reunião especializada de natureza técnica ou acadêmica que leva em consideração os estudos aprofundados sobre um determinado assunto.

Este PE, na forma de sequência de atividades, está organizado em 15 encontros. No Quadro 4, apresenta-se uma síntese desses encontros, os quais serão desenvolvidos durante a fase de aplicação.

Quadro 4 - Organização dos encontros da sequência de atividades.

Etapa	Encontro	Descrição	Instrumentos de coleta de dados
1	Pré-aula Em casa	*Vídeos retirados da internet e <i>Power Point</i> elaborado pela professora, disponíveis em: <i>Google sala de aula</i> . *Tema: Energia interna.	* <i>Google sala de aula</i> . * Formulários <i>Google</i> .
1	1 Durante a aula (Sala de aula) 1p. 55min	*Responder perguntas dos estudantes sobre o conteúdo. *Aprofundamento teórico pela professora. *Em duplas, os estudantes devem responder questões teóricas sobre energia interna.	*Diário de Bordo. *Formulários <i>Google</i> .
1	2 Durante a aula (Sala de aula) 1p. 55min	*Em duplas, os estudantes responderão questões de cálculos sobre energia interna.	*Diário de Bordo. *Formulários <i>Google</i> .
1	3 Durante a aula (Sala de aula) 1p. 55min	*Em duplas, no laboratório de informática, os estudantes trabalharão com o simulador gases-intro-en da Phet Colorado. *Em duplas, deverão responder perguntas sobre as simulações que estão realizando.	*Diário de Bordo. *Formulários <i>Google</i> .
1	4 Durante a aula (Sala de aula) 1p. 55min	*Em duplas, no laboratório de informática, os estudantes trabalharão com o simulador gases-intro-en da Phet Colorado. *Em duplas, deverão responder perguntas sobre as simulações que estão realizando.	*Diário de Bordo. *Formulários <i>Google</i> .
1	5 Pós-aula (Sala de aula) 1p. 55min	*Em grupos, os estudantes deverão projetar um sistema com fontes de energia, modificadores e usuários e descrever como a energia flui e transforma uma forma de energia em outra.	*Diário de Bordo.
1	6 Pós-aula (Sala de aula) 1p. 55min	*Nesta aula, a professora fará a socialização dos projetos de energia elaborados pelos estudantes na aula anterior, destacando os pontos fortes ou não de cada projeto.	*Diário de Bordo.
2	Pré-aula Em casa	*Vídeos retirados da internet e <i>Power Point</i> elaborado pela professora, disponíveis em <i>Google Sala de Aula</i> . *Tema: Trabalho de um gás.	* <i>Google sala de aula</i> . * Formulários <i>Google</i> .
2	7 Durante a aula (Sala de aula) 1p. 55min	*Responder perguntas dos estudantes sobre o conteúdo. *Aprofundamento teórico pela professora. *Em duplas, os estudantes vão responder questões teóricas e de cálculos sobre o tema.	*Diário de Bordo. *Formulários <i>Google</i> .
2	8 Durante a aula (Sala de aula) 1p. 55min	*Em duplas, no laboratório de informática, os estudantes trabalharão com o simulador gas-properties-en da Phet Colorado. *Em duplas, deverão responder perguntas sobre as simulações que estão realizando.	*Diário de Bordo. *Formulários <i>Google</i> .
2	9 Pós-aula (Sala de aula) 1p. 55min	*Os estudantes, em grupos, deverão construir um mapa mentais sobre o trabalho de um gás com o aplicativo MindMeister.	*Diário de Bordo. * <i>Google sala de aula</i> .
2	10 Pós-aula (Sala de aula) 1p. 55min	*Nesta aula, os estudantes apresentarão o mapa mental que construíram na aula anterior com aplicativo MindMeister para os colegas e a professora fará as considerações.	*Diário de Bordo. * <i>Google sala de aula</i> .

Continua

## Conclusão

Etapa	Encontro	Descrição	Instrumentos de coleta de dados
3	Pré-aula Em casa	*Vídeos retirados da internet e <i>Power Point</i> elaborado pela professora, disponíveis em: <i>Google sala de aula</i> . * Vídeo sobre a História da Primeira Lei da Termodinâmica. * Em grupos, deverão elaborar um texto enfatizando a relação entre o vídeo assistido à Primeira Lei da Termodinâmica. *Tema: Primeira Lei da Termodinâmica.	* <i>Google sala de aula</i> . * Formulários <i>Google</i> .
3	11 Durante a aula (Sala de aula) 1p. 55min	*Diálogo com os alunos sobre o vídeo; *Solicitar aos alunos que, cada grupo apresente o texto que elaboraram em casa (Pré-aula). Neste momento, a professora faz o aprofundamento do conteúdo.	*Diário de Bordo.
3	12 Durante a aula (Sala de aula) 1p. 55min	*Resolução de exercícios teóricos e cálculos.	*Diário de Bordo. *Formulários <i>Google</i> .
3	13 Durante a aula (Sala de aula) 1p. 55min	*Utilização do simulador <i>gas-properties-en</i> da Phet Colorado, no laboratório de informática. *Responder perguntas sobre as simulações.	*Diário de Bordo. *Formulários <i>Google</i> .
3	14 Pós-aula (Sala de aula) 1p. 55min	*Tabela sobre variação de energia de cada aluno através da diferença entre a ingestão e o gasto de calorias diárias.	*Diário de Bordo.
4	15 Durante a aula (Sala de aula) 1p. 55min	*Questionário de avaliação final dos temas trabalhados durante a sequência didática. Individual.	*Formulários <i>Google</i> .

Fonte: Autora, 2021.

Na aplicação deste PE que contempla a metodologia Sala de Aula Invertida, será necessário seguir as três etapas: antes da aula, durante a aula e o pós-aula.

Na etapa **antes da aula**, a professora disponibiliza os vídeos e a apresentação em forma de *slides* referente ao tema que será trabalhado na semana seguinte, para que os estudantes possam estudar no seu tempo. O material será disponibilizado no *Google Sala de Aula*. Caso tenha algum questionário de sondagem da aprendizagem para o estudante responder, este também será disponibilizado nesta etapa.

No momento **durante a aula**, a professora inicia a aula respondendo aos questionamentos dos estudantes, momento em que faz um breve aprofundamento do conteúdo. Na sequência, os estudantes responderão atividades de cada tema (energia interna, trabalho de um gás, Primeira Lei da Termodinâmica). Também durante a aula serão realizados experimentos com o simulador, momento em que os estudantes poderão aliar a teoria à prática. Para trabalhar com o simulador, eles seguirão um roteiro de atividades.

Na última etapa, na **pós-aula**, os estudantes, fazendo uso do conhecimento construído nas etapas anteriores, construirão mapas mentais, responderão questionário do tipo Quiz, farão projeção de sistema e seminário.

Como avaliação final deste PE será aplicada uma avaliação individual, em forma de questionário, dos temas trabalhados durante a aplicação do PE (energia interna de um gás, trabalho de um gás, Primeira Lei da Termodinâmica).

As atividades, os vídeos, os simuladores e os exercícios propostos neste PE são apenas sugestões, permitindo ao professor que o utilizará adaptá-lo à realidade de sua escola.

## 6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo, serão apresentados e analisados os dados avaliados por 11 avaliadores que, voluntariamente, aceitaram avaliar o PE. Enviamos convite para 20 participantes. Inicialmente, todos aceitaram; no entanto, apenas 12 retornaram o questionário, dos quais um estava em branco, sendo, portanto, desconsiderado. No Quadro 5, apresentamos alguns dados dos avaliadores.

Podemos constatar que todos os avaliadores são professores e apenas um deles não estava exercendo a função de docente no momento desta avaliação, e a média de tempo de docência passa de 13 anos. Nove professores são doutores na área de Matemática e Física ou estão com doutorado em andamento.

Quadro 5 - Dados dos avaliadores.

Código	Idade	Formação acadêmica (Graduação)	Formação acadêmica (Pós-Graduação)	Tempo de docência (em anos)	Profissão atual
A	38	Matemática, Física, Pedagogia e Química	Doutorando	15	Professor
B	32	Licenciatura em Física	Doutorado	4	Professora
C	42	LP em Matemática com Habilitação em Física	Doutoranda	17	Professora
D	43	Licenciatura em Física	Doutorando	15	Professor
E	37	Licenciatura em Matemática e Física com Habilitação em Desenho Geométrico	Doutorado	15	Professora
F	36	Licenciatura em Física	Doutorado	11	Professor
G	31	Licenciatura Plena em Ciências Naturais com Habilitação em Física	Doutorando	8	Professor
H	40	Licenciatura em Matemática e Física	Especialista	9	Professora
I	35	Licenciatura plena em Ciências Naturais com Habilitação em Física e Licenciatura Plena em Pedagogia	Especialista	11	Professor
J	56	Licenciatura Plena em Matemática (com Habilitação em Física e Desenho Geométrico)	Doutoranda	23	Professora
K	43	Licenciatura em Matemática com Habilitação em Física	Doutorando	22	Professor em exercício na Coordenadoria

Fonte: Autora, 2020.

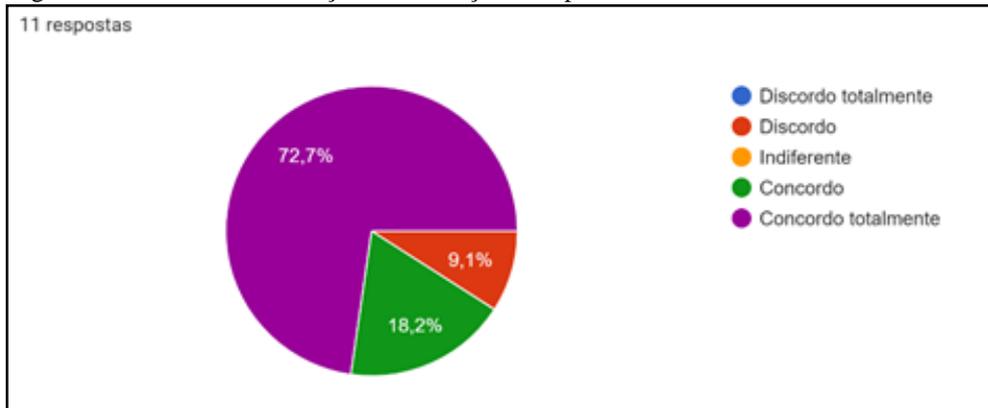
A seguir apresentamos os gráficos que sintetizam as indicações nas escalas de avaliação de cada um dos respectivos aspectos analisados, bem como alguns comentários

qualitativos feitos pelos avaliadores. Destacamos que os gráficos de setores produzidos foram configurados para apresentar dados da escala de avaliação de cinco níveis (discordo totalmente, discordo, indiferente, concordo, concordo totalmente).

O formulário de avaliação foi dividido em oito seções. A primeira seção é para identificação do avaliador. Na segunda seção, foi analisada a parte introdutória do PE; na terceira seção, as atividades da primeira etapa do PE; na quarta e quinta seções, foram analisadas, respectivamente, a segunda e a terceira etapa; na sexta seção, a quarta etapa; na sétima seção, foram avaliadas as perguntas gerais; na última seção, apresentamos as considerações finais.

A primeira afirmação a ser analisada pelos avaliadores se refere à parte introdutória do PE. Os avaliadores informaram seu grau de concordância com a seguinte afirmação: “O Produto Educacional foi escrito de maneira clara e objetiva para o público-alvo ao qual se destina (professores de Ensino Médio no ensino da Primeira Lei da termodinâmica)”.

Figura 16 - Síntese das avaliações à afirmação 1 da parte introdutória do PE.

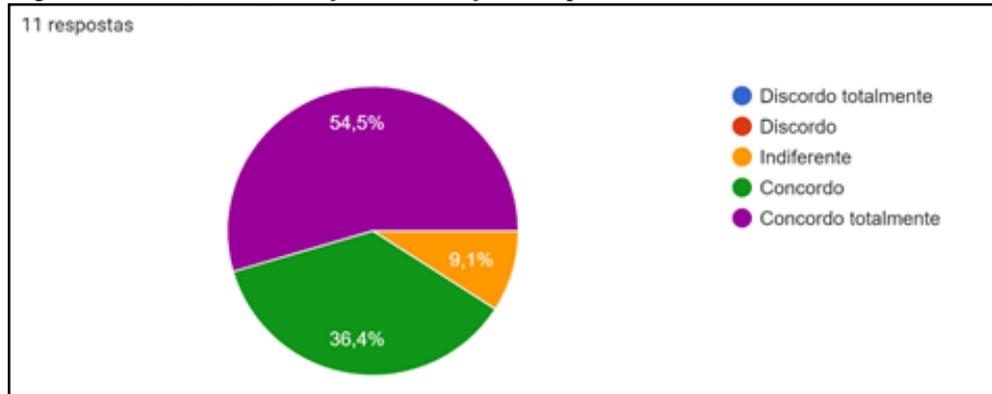


Fonte: Autora, 2020.

Como podemos observar no gráfico (Figura 16), a maioria dos avaliadores concorda totalmente que o produto foi escrito de maneira clara e objetiva para o público-alvo ao qual se destina, que são os professores de Ensino Médio. Considerando a concordância total e o concordo, a soma ultrapassa os 90% (noventa por cento). Nos comentários, há considerações como: “Muito bem elaborado, informações claras e precisas”; “o Produto Educacional está bem explícito para o público-alvo”.

Quanto ao *layout* e à diagramação do PE estarem adequados e atrativos, novamente a maioria dos avaliadores concordou neste item, como mostra o gráfico apresentado na Figura 17. A afirmação avaliada foi: “o layout e a diagramação do Produto Educacional estão adequados e atrativos”.

Figura 17 - Síntese das avaliações à afirmação 2 da parte introdutória do PE.

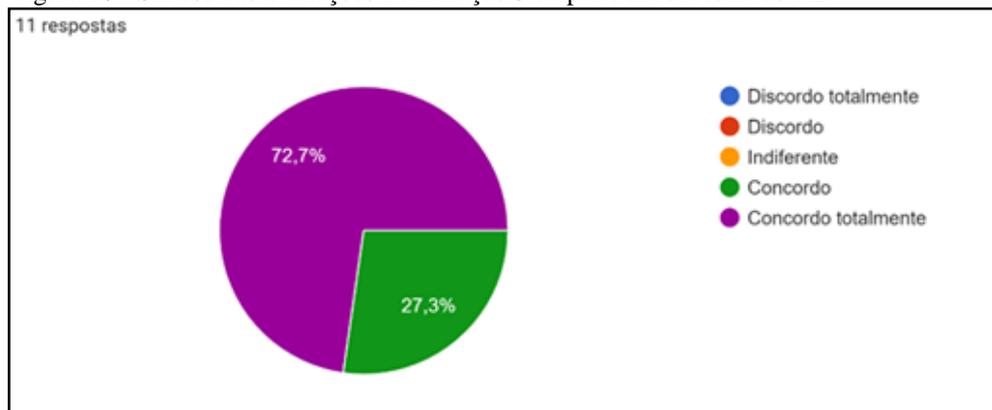


Fonte: Autora, 2020.

O avaliador “A” comenta que “o layout e a diagramação ficaram bem organizados, com textos, imagens e cores adequadas”. Já o avaliador B considera que “apresentam organização clara, com imagens nítidas que permitem ao leitor entender previamente parte das simulações que utilizará. Necessitam apenas de algumas correções de digitação, referentes à formatação... letras maiúsculas, por exemplo, no sumário”.

Na Figura 18, apresentamos o gráfico com a síntese das avaliações referentes à afirmação: “os objetivos, a clientela e o modo da organização estão apresentados adequadamente”.

Figura 18 - Síntese das avaliações à afirmação 3 da parte introdutória do PE.



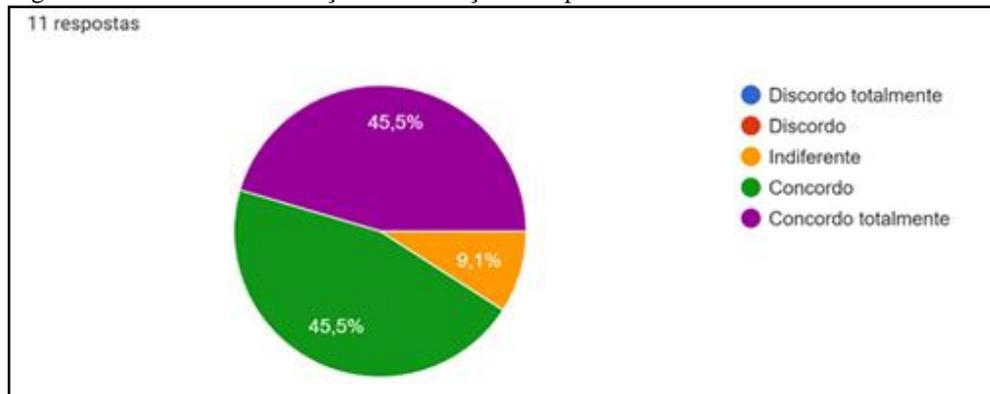
Fonte: Autora, 2020.

Percebemos no gráfico apresentado na Figura 18 que três avaliadores concordaram com este item e a maioria dos avaliadores (oito) concordou totalmente. Os avaliadores mencionam no campo de comentários qualitativos: “Os objetivos estão de acordo com a proposta apresentada. A organização didática foi muito bem elaborada” (avaliador H); “Esta proposta está destinada ao segundo ano do Ensino Médio, contemplando as orientações da

BNCC inclusive” (avaliador E); “Todos estão bem escritos e delimitados, tanto o geral, como em cada atividade” (avaliador A); “Concordo, a sequência didática obedeceu uma lógica de conteúdo adequado para essa abordagem” (avaliador G).

O quarto gráfico (Figura 19) apresenta a síntese das avaliações à afirmação: “o referencial teórico que fundamenta as atividades didáticas é apresentado de maneira clara e objetiva”.

Figura 19 - Síntese das avaliações à afirmação 4 da parte introdutória do PE.



Fonte: Autora, 2020.

Nesta afirmação, o avaliador D se manifestou indiferente a este item. Ele comentou: “Acho que deveria ter um texto explicando a Primeira Lei da Termodinâmica. Teve vídeo, Slides, mas não um texto”.

Os demais avaliadores dividiram-se nas respostas concordo e concordo totalmente. Alguns comentários destes avaliadores: “Está clara a metodologia aplicada” (Avaliador A); “o referencial teórico na composição está bem claro e objetivo” (avaliador I). O avaliador J concordou parcialmente e complementou:

Concordo parcialmente. Pelo que entendi em REFERÊNCIA AO REFERENCIAL TEÓRICO você faz uma síntese do que se encontra no REFERENCIAL TEÓRICO da dissertação. Acredito que seja dispensável. Para mim (não sei até aonde estou correto) acharia mais interessante fazer uma breve explanação sobre os quatro tópicos citados de forma clara e direta. Como professora de ensino básico e conhecendo meus colegas, acho difícil que alguém vá ler o referencial na dissertação. Então, acredito que seja mais adequado um histórico (resumo) breve no produto.

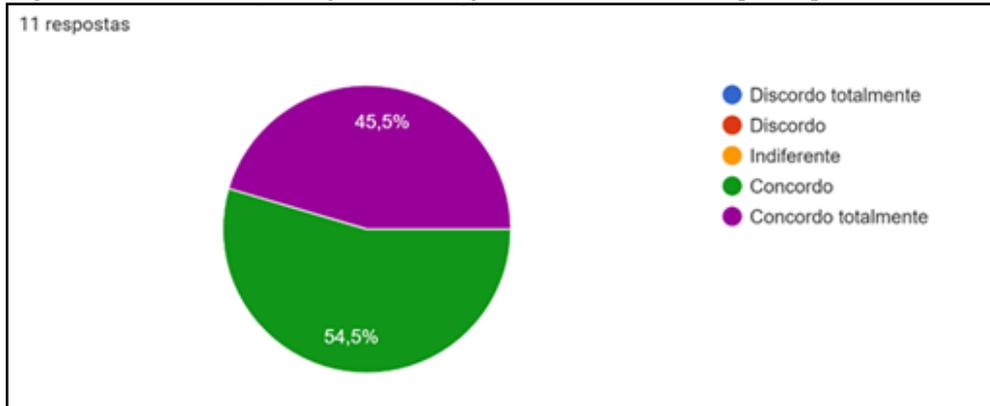
Embora algumas ressalvas tenham sido apontadas, o produto foi bem avaliado pelos professores referentes à parte introdutória do PE.

Na terceira seção, analisamos as atividades da etapa 1 do PE que se referem à energia interna de um gás e de calor, para os momentos **pré-aula**, **durante a aula** e **pós-aula** da Sala

de Aula Invertida. Nos gráficos que apresentamos nas figuras 20, 21 e 22, sintetizamos as respostas dos avaliadores para estes itens.

Na próxima figura, apresentamos o gráfico com as avaliações à afirmação: “as atividades da Etapa 1, do momento **pré-aula**, proporcionam ao aluno o entendimento prévio do conceito de energia interna de um gás e de calor”.

Figura 20 - Síntese das avaliações à afirmação das atividades da Etapa 1 – pré-aula do PE.



Fonte: Autora, 2020.

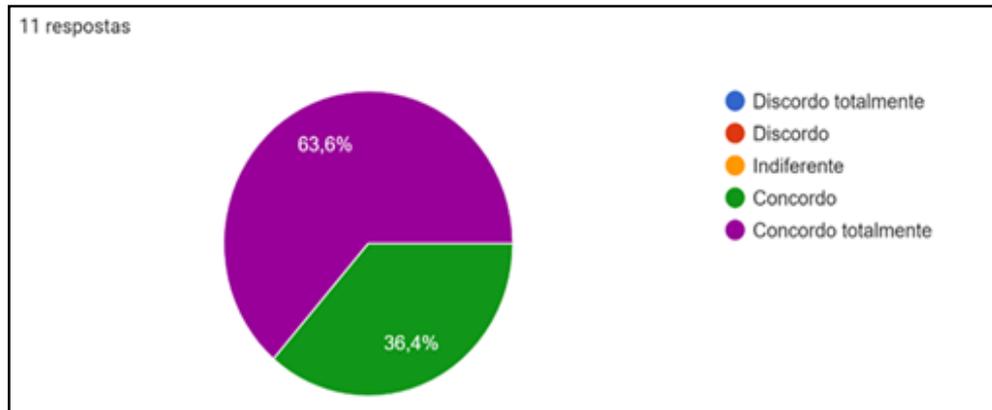
A maioria dos avaliadores (54,5%) concordou que as atividades previstas no PE proporcionam ao aluno um entendimento prévio do conceito de energia interna e do conceito de calor. Os demais avaliadores (45,5%) concordam plenamente com este item.

A avaliadora E comenta: “As atividades propostas são pensadas especificamente para momentos introdutórios quando se fala de energia e duas transformações. Isso é de extrema importância para que o estudante compreenda conceitos e, principalmente, perceba a Física em seu dia a dia” (avaliador E).

A avaliadora H fez as seguintes considerações: “Achei bem interessante a forma como foi elaborada a pré-aula. Dessa forma, o estudante tem uma certa autonomia para desenvolver o conhecimento e criar suas respostas com relação ao conteúdo analisado”. O avaliador K contribui em seus comentários com o seguinte: “Gostei muito da organização da tarefa, fiquei curioso em saber como os alunos vão utilizar o material e os aprofundamentos conceituais que farão”.

Na Figura 21, apresentamos o gráfico a síntese das avaliações à afirmação: “as atividades da Etapa 1, do momento **durante a aula**, relacionadas ao uso do simulador gases-intro-em da Phet Colorado, proporcionam ao aluno a aprendizagem do conceito de energia interna de um gás e de calor”.

Figura 21 - Síntese das avaliações à afirmação das atividades da Etapa 1 – momento durante a aula do PE.



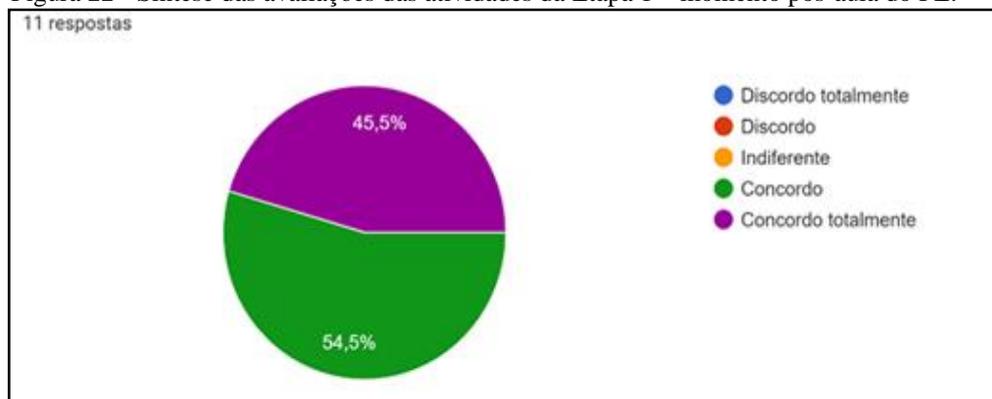
Fonte: Autora, 2020.

Este gráfico mostra que sete (7) dos avaliadores concordam plenamente que as atividades que foram elaboradas para o uso do simulador desenvolvem a aprendizagem do conceito de energia interna e do calor. Os demais avaliadores – quatro (4) – concordam com este item. A seguir, o comentário do avaliador I:

As atividades da etapa 1 estão bem elaboradas, daria pra acrescentar no primeiro momento, no pré-aula, um questionário para identificar os conhecimentos prévios e às resposta genuínas dos discentes, nos encontros em sala de aula a utilização do laboratório com o simulador é excelente para a aprendizagem concreta e no momento pós-aula a socialização dos trabalhos produzidos e dos conhecimentos adquiridos pelos estudantes é sensacional.

Na Figura 22, apresentamos o gráfico que sintetiza as avaliações à afirmação: “as atividades da Etapa 1, do momento **pós-aula**, proporcionam ao aluno a aprendizagem do conceito de energia interna de um gás e de calor”.

Figura 22 - Síntese das avaliações das atividades da Etapa 1 – momento pós-aula do PE.



Fonte: Autora, 2020.

A partir dos resultados obtidos, observa-se que maioria dos avaliadores concordou que as atividades do momento **pós-aula** proporcionam ao aluno a aprendizagem do conceito de energia interna e de calor.

Sobre essa etapa, o avaliador A diz:

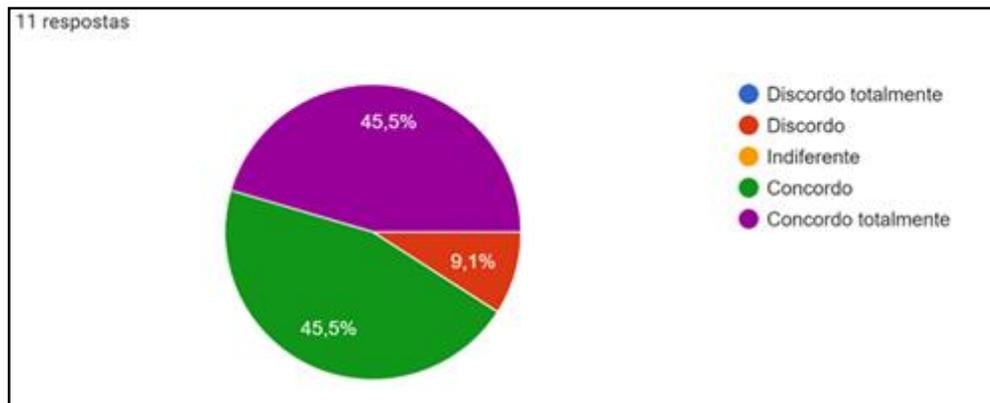
Os três momentos, aqui citados, foram bem delimitados e precisos, oportunizando, sem dúvidas, para a concepção da sala de aula invertida, momentos, já em casa, por parte dos estudantes, de reflexões e anotações para posteriores debates em sala de aula, na fase seguinte e isso é muito bom para a aprendizagem. Os dois momentos seguintes, o da **aula** e o da **pós-aula**, também foram ricos e oportunizam aprendizagem do tema em que se propõe, que é apresentar aos estudantes os conceitos de energia interna de um gás e de calor.

As atividades da etapa 1 dos momentos **pré-aula**, **durante a aula** e **pós-aula** que se referem à energia interna e ao calor foram muito bem avaliadas, recebendo conceituação máximas e muitos comentários favoráveis. Tivemos apenas alguns comentários de alerta ou sugestão, que não invalidam a atividade: “deixar claro que a temperatura deve estar em Kelvin” (avaliador B); e o avaliador G sugeriu que os vídeos e os *slides* fossem criados pelo próprio pesquisador. Então, sobre a temperatura não estar Kelvin, ou não estar explícito que deva ser em Kelvin, justificamos por não ser a versão final do PE e tais ajustes serão feitos. Já quanto aos *slides* serem criados pela pesquisadora, vivemos hoje na era digital, em que temos a nosso dispor uma vasta gama de material para ser adaptado. Mas o professor que utilizará esta sequência de atividades poderá elaborar seu próprio material, até para adaptá-lo à realidade escolar de seus educandos. O mesmo ocorre com os vídeos. Temos excelentes vídeos gravados por profissionais da educação disponíveis na internet, já editados, que podem ser usados. O professor, no entanto, se entender ser melhor poderá gravar seus próprios vídeos.

Em continuidade da análise, os próximos três gráficos apresentam a síntese dos resultados da avaliação das atividades da etapa 2 do PE que se refere ao conceito de trabalho de um gás.

Na Figura 23, apresentamos o gráfico com a síntese das avaliações à afirmação: “as atividades da Etapa 2, do momento **pré-aula**, proporcionam ao aluno o entendimento prévio do conceito de trabalho de um gás”.

Figura 23 - Síntese das avaliações à afirmação das atividades da Etapa 2 – momento pré-aula do PE.

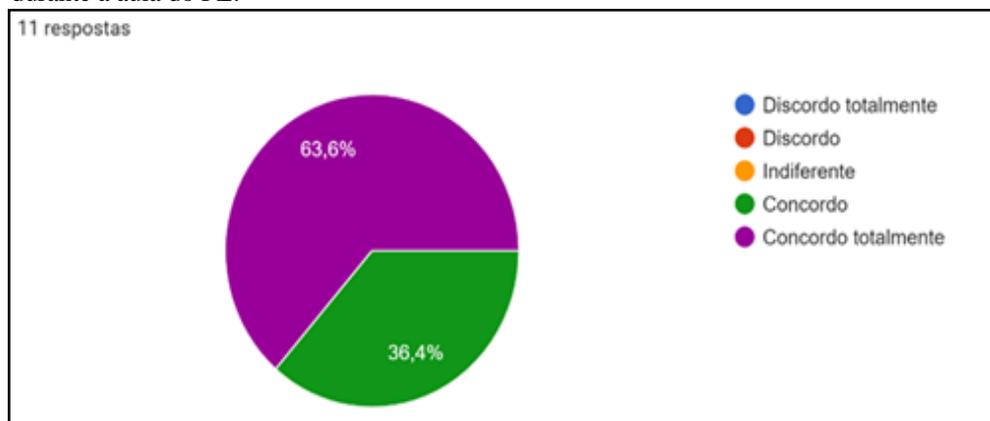


Fonte: Autora, 2020.

Os cinco avaliadores concordam que as atividades propostas para o momento **pré-aula** proporcionam ao aluno o entendimento prévio do conceito de trabalho de um gás. Outros cinco avaliadores concordam plenamente com este item. E um avaliador discordou, apresentando o seguinte comentário: “Aqui teria que melhorar a questão da notação da grandeza Trabalho” (avaliador B). Pelo que observamos, o fato de a notação da grandeza Trabalho não estar uniformizada invalidou toda a atividade para este avaliador. Mas, como já justificamos antes, esta versão ainda não é a final e, portanto, precisa ser revista; uma das correções é esta.

Na Figura 24, apresentamos a síntese das avaliações à afirmação: “as atividades da Etapa 2, do momento **durante a aula**, relacionadas ao uso do simulador *gás-properties-en* da Phet Colorado, proporcionam a compreensão do conceito de trabalho recebido ou realizado por um gás”.

Figura 24 - Síntese das avaliações à afirmação das atividades da Etapa 2 – momento durante a aula do PE.



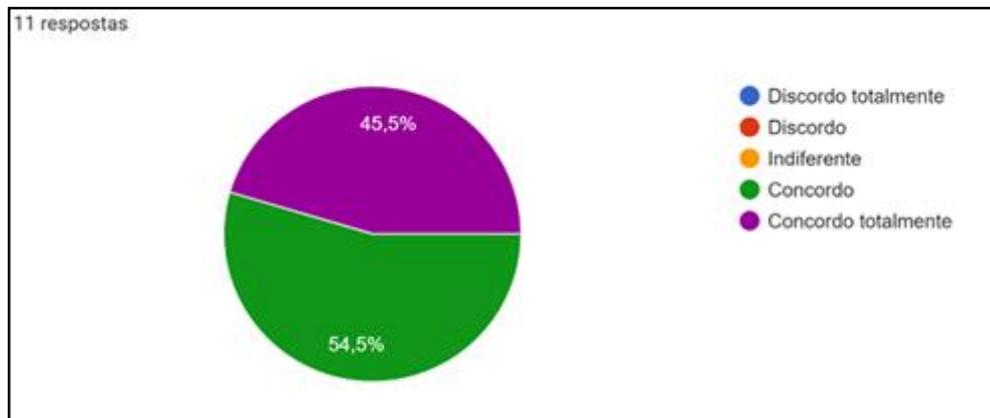
Fonte: Autora, 2020.

Como mostra o gráfico, sete (7) dos onze (11) avaliadores concordaram plenamente que as atividades para o momento durante a aula e uso de simulador proporcionam aos estudantes o entendimento do conceito de trabalho de um gás. E os quatro avaliadores restantes concordaram com esta segunda atividade. Além de terem gostado muito destas atividades, os avaliadores fizeram as seguintes considerações:

Bem interessante a forma como foram colocadas as atividades nessa etapa do processo de aprendizagem (avaliador H);  
 As atividades da etapa 2 estão excelentes (avaliador I);  
 Sem comentários. Está escrito de forma clara e objetiva. Muito bom!!! (avaliador J);  
 O recurso visual do simulador permite a compreensão de aspectos microscópicos dos fenômenos físicos, importante para a efetiva aprendizagem e abstração por parte dos estudantes (avaliador E).

Na Figura 25, apresentamos as avaliações sintetizadas à afirmação: “as atividades da Etapa 2, do momento **pós-aula**, proporcionam ao aluno a aprendizagem do conceito de trabalho de um gás”.

Figura 25 - Síntese das avaliações à afirmação das atividades da Etapa 2 – momento pós-aula do PE.



Fonte: Autora, 2020.

Pelo gráfico, percebemos que seis avaliadores (54,5%) concordaram e cinco avaliadores (45,5%) concordaram plenamente que as atividades propostas nesta segunda etapa no momento **pós-aula** proporcionam aos estudantes a aprendizagem do conceito de um gás. Essas atividades exigem do estudante uma recapitulação de tudo o que ele estudou sobre o tema, desde a **pré-aula** até este momento. Além de chegarem a um consenso, os avaliadores fizeram os seguintes comentários: “A etapa está estruturada a contribuir com a construção do conhecimento” (avaliador C); “Muito bem organizada para atender os objetivos propostos” (avaliador K). O avaliador A complementa:

Os três momentos, aqui citados, foram bem delimitados e precisos, oportunizando, sem dúvidas, para a concepção da sala de aula invertida, momentos, já em casa, por parte dos estudantes, de reflexões e anotações para posteriores debates em sala de aula, na fase seguinte e isso é muito bom para a aprendizagem. Os dois momentos seguintes, o da **aula** e o da **pós-aula**, também foram ricos e oportunizam aprendizagem do tema em que se propõe, que é apresentar aos estudantes conceito de trabalho de um gás. A linguagem é bem clara e didática, de sorte que ajudará muitos aos professores que usarão o trabalho em questão para ministrar aulas da temática em questão. Acrescento ainda a questão do mapa conceitual, uma bela ação didática e que é importante para que os estudantes criem hábitos de produzir ferramentas semelhantes em seus estudos, não somente em Física, mas nas demais disciplinas (avaliador A).

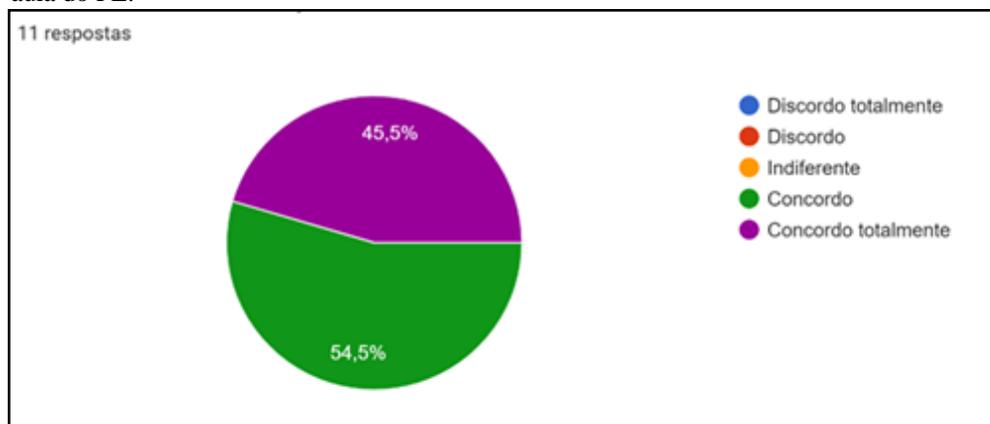
As atividades da etapa 2 do PE, que são compostas pelos momentos **pré-aula**, **durante a aula** e **pós-aula** da metodologia Sala de Aula Invertida, foram muito bem avaliadas, tendo conceitos na escala equivalentes a quatro (4) e cinco (5) numa escala que varia de um (1) a cinco (5). Apenas uma avaliação ocorreu na escala equivalente a dois (2) e uma equivalente a três (3), mas ambas se devem ao fato de não ter sido feita a revisão final do PE, o que permite serem corrigidas.

Dessa forma, como se evidencia pelas avaliações feitas, as atividades da etapa 2 do PE proporcionam aos alunos uma compreensão do conceito de trabalho de um gás.

Na sequência, apresentamos as sínteses das avaliações das atividades da etapa 3 do PE, que se refere à compreensão do conceito da Primeira Lei da Termodinâmica.

O gráfico apresentado na Figura 26 apresenta a síntese das avaliações à afirmação: “as atividades da etapa 3, do momento **pré-aula**, proporcionam ao aluno o entendimento prévio do conceito da Primeira Lei da Termodinâmica”.

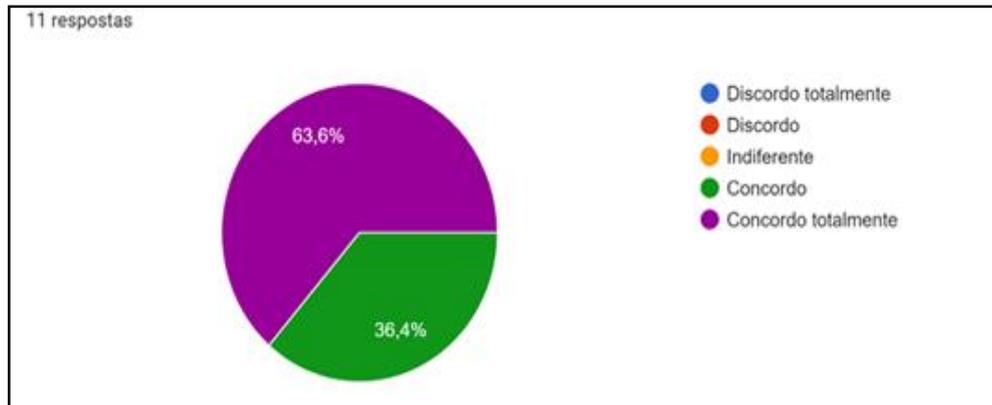
Figura 26 - Síntese das avaliações à afirmação das atividades da Etapa 3 – momento pré-aula do PE.



Fonte: Autora, 2020.

O gráfico apresentado na Figura 27 apresenta a síntese das avaliações à afirmação: as atividades da etapa 3, do momento **durante a aula**, relacionadas ao uso do simulador *gás-properties-en* da Phet Colorado, proporciona do conceito da Primeira Lei da Termodinâmica.

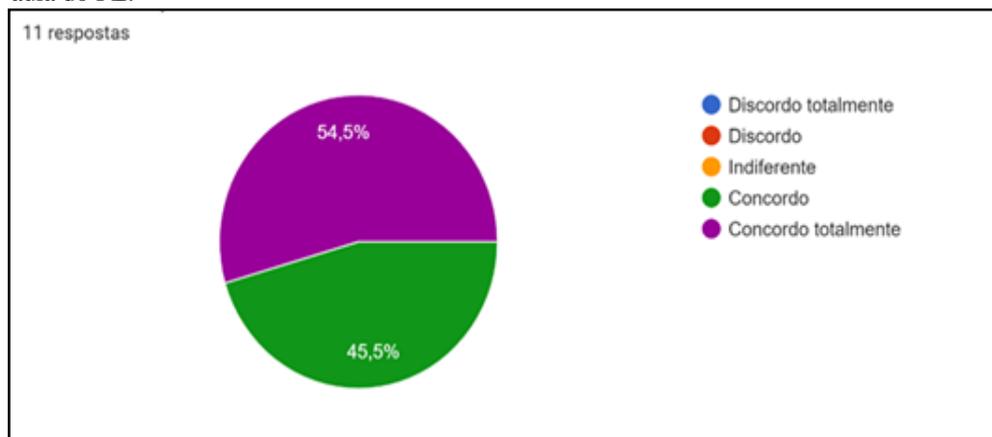
Figura 27 - Síntese das avaliações à afirmação das atividades da Etapa 3 – momento durante a aula do PE.



Fonte: Autora, 2020.

O gráfico apresentado na Figura 28 apresenta a síntese das respostas à afirmação: “as atividades da etapa 3, do momento **pós-aula**, proporcionam ao aluno a aprendizagem do conceito da Primeira Lei da Termodinâmica”.

Figura 28 - Síntese das avaliações à afirmação das atividades da Etapa 3 – momento pós-aula do PE.



Fonte: Autora, 2020.

As atividades da 3ª etapa nos três momentos (**pré-aula**, **durante a aula** e **pós-aula**) obtiveram indicação quatro (4) e cinco (5) na escala de avaliação de um (1) a cinco (5) de todos os avaliadores. No momento **pré-aula**, a indicação de quatro (4) pontos foi de 54,5% e de cinco (5) pontos foi de 45,5%. Já para o momento **durante a aula**, essa indicação foi de 36,4% para quatro (4) pontos e 63,6% para cinco (5) pontos. Para a última etapa do momento

**pós-aula**, a indicação de quatro (4) pontos obteve 45,5% e a indicação de cinco (5) pontos foi de 54,5%. Houve consenso dos avaliadores sobre o fato de que as atividades de todas as etapas proporcionam aos estudantes a compreensão do conceito da Primeira Lei da Termodinâmica. Alguns comentários qualitativos: “Com o apoio dos vídeos explicativos e do simulador, fica mais fácil o entendimento do conteúdo abordado” (avaliador H); “O recurso computacional permite as relações da Primeira Lei da Termodinâmica de forma clara. O fato de o estudante poder alterar parâmetros no simulador pode permitir relações ainda maiores, o que apenas os cálculos das equações poderiam não contemplar” (avaliador E). O avaliador A fez a seguinte consideração:

Os três momentos, aqui citados, foram bem delimitados e precisos, oportunizando, sem dúvidas, para a concepção da sala de aula invertida, momentos, já em casa, por parte dos estudantes, de reflexões e anotações para posteriores debates em sala de aula, na fase seguinte e isso é muito bom para a aprendizagem. Os dois momentos seguintes, o da **aula** e o da **pós-aula**, também foram ricos e oportunizam aprendizagem do tema em que se propõe, que é apresentar aos estudantes conceito da primeira Lei da Termodinâmica. Quero, além do mais, destacar que, por essa etapa ser, digamos assim, o coração do trabalho, teve uma riqueza de detalhes a mais. E isso, na minha concepção, enquanto docente, é muito bom, pois faz com que os estudantes, já no primeiro momento, que no caso da metodologia adotada é importantíssimo, possam ter acesso a essa riqueza de materiais e propostas que não ficaram apenas na primeira etapa, mas seguiram para as demais (avaliador A).

No mesmo sentido, o avaliador “E” corrobora os demais avaliadores:

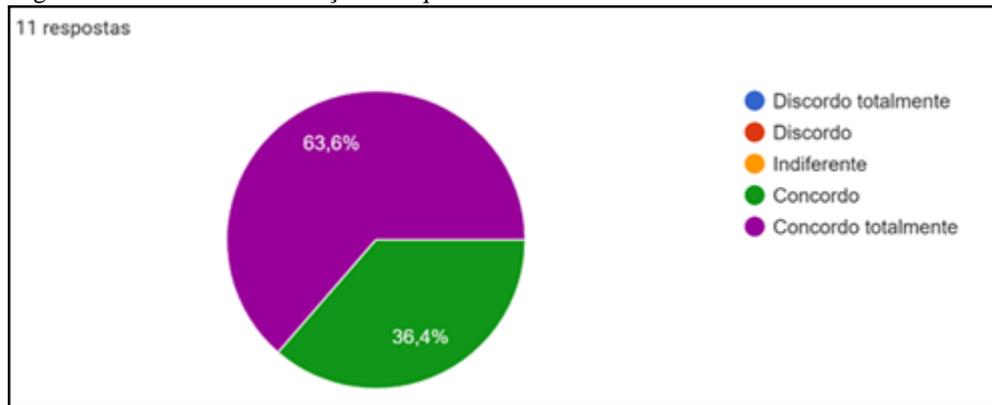
O recurso computacional permite as relações da Primeira Lei da Termodinâmica de forma clara. O fato de o estudante poder alterar parâmetros no simulador pode permitir relações ainda maiores, o que apenas os cálculos das equações poderiam não contemplar.

Para finalizar as avaliações desta etapa, o avaliador K contribui: “Aula bem organizada para direcionar ao entendimento da 1ª Lei da Termodinâmica”.

Na quarta etapa do PE, os professores avaliaram um questionário que foi elaborado com o objetivo de verificar os conhecimentos adquiridos pelos estudantes sobre a Primeira Lei da Termodinâmica durante o desenvolvimento do PE. A este questionário denominamos de avaliação final.

A seguir, na Figura 29, apresenta-se o gráfico com a síntese das respostas dos avaliadores à afirmação: “o questionário final, descrito na etapa 4, a ser aplicado aos alunos, permite a avaliação adequada do aprendizado dos estudantes sobre a Primeira Lei da Termodinâmica”.

Figura 29 - Síntese das avaliações do questionário final do PE.



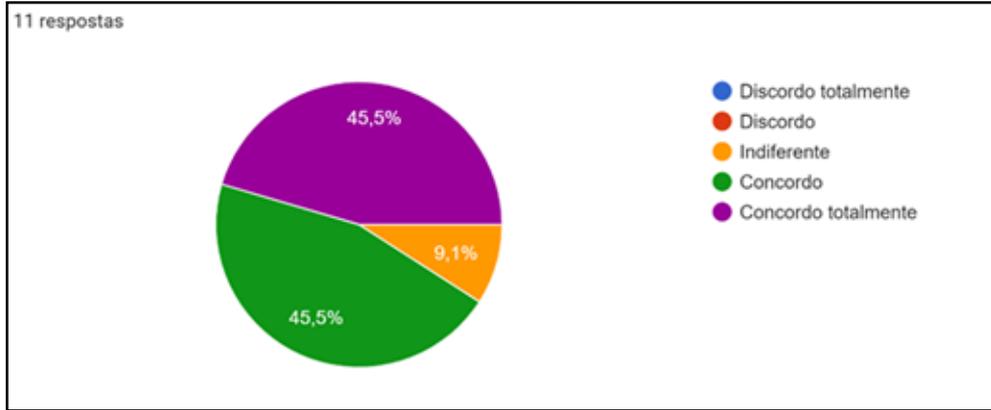
Fonte: Autora, 2020.

Dos onze (11) professores que avaliaram o PE, sete (7) concordam totalmente e quatro (4) concordam que este questionário final a ser aplicado aos alunos, descrito na etapa 4, permite, sim, a avaliação adequada do aprendizado dos estudantes sobre a Primeira Lei da Termodinâmica. Há uma concordância em 100% (cem por cento) dos avaliadores nesta afirmação. Alguns comentários que corroboram esta avaliação: “O questionário final é muito importante para frisar o conteúdo abordado. Dessa forma, as dúvidas podem ser esclarecidas, sendo possível fazer o fechamento da aula de forma a atingir os objetivos propostos pela atividade” (avaliador H); “O questionário encontra-se muito bem estruturado e, digamos assim, faz uma revisão sobre o tema em que o produto se propõe a trazer as dicas didáticas e pedagógicas para os professores. Uma avaliação diferente das que estamos acostumados a ver, mas que, para a verificação da aprendizagem é oportuna e, em minha concepção, excelente” (avaliador A).

Nesta etapa, os professores avaliaram afirmações gerais sobre o PE. Essas afirmações referem-se à BNCC, à inovação didática, às simulações computacionais e à aplicabilidade do PE.

De acordo com o exposto no parágrafo anterior, observamos na Figura 30 o gráfico que apresenta a síntese da avaliação da primeira afirmação: “de acordo com a BNCC o estudante deve agir de forma autônoma, ser protagonista do seu aprendizado”. A partir da realização das tarefas propostas no PE, o estudante estará exercitando essas habilidades.

Figura 30 - Síntese das avaliações à primeira afirmação da etapa das perguntas gerais do PE.



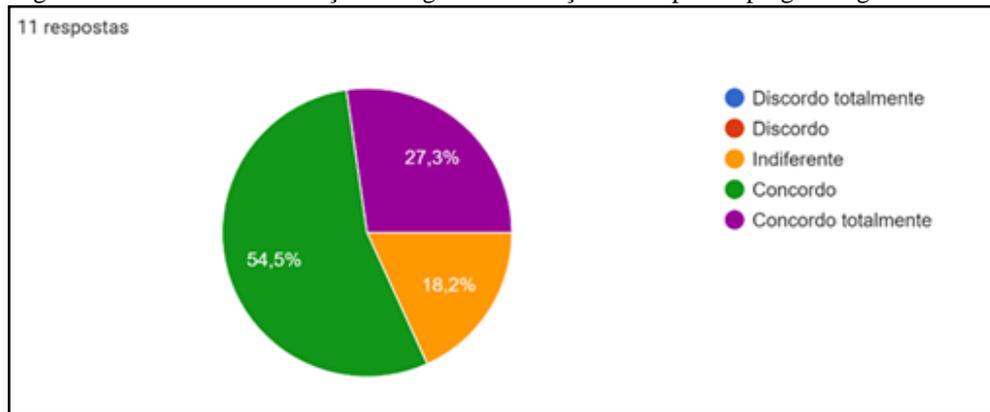
Fonte: Autora, 2020.

Podemos verificar no gráfico que 91% (noventa e um por cento) dos avaliadores concordam que, a partir da realização das tarefas propostas no PE, o estudante estará agindo de forma autônoma e exercendo o protagonismo do seu aprendizado e atendendo às habilidades constantes na BNCC.

Os avaliadores ainda contribuíram com avaliações qualitativas: “Através dessa atividade o estudante tem, sim, autonomia para aprender, pois o professor é intermediador do conhecimento. Dessa forma, o estudante torna-se protagonista do seu aprendizado” (avaliador H); “As atividades levam o aluno a ter uma atitude de envolvimento e protagonismo. O simples fato de não trazer os conceitos prontos e estanques para a sala de aula e a utilização de tecnologias como as simulações computacionais fazem com que o estudante assuma uma postura mais ativa na construção do conhecimento e o professor tenha papel de mediador... e isso é essencial na educação básica” (avaliador E); “Em cada primeiro momento, o de **pré-aula**, por exemplo, em cada atividade, os estudantes são, através da proposta apresentada, desafiados a saírem do estado passivo e, serem sujeitos ativos no processo da aprendizagem” (avaliador A).

Na Figura 31, apresentamos o gráfico com a síntese da concordância dos avaliadores à afirmação: “o Produto Educacional apresenta inovação didática em relação ao que está amplamente disponível para os professores”.

Figura 31 - Síntese das avaliações à segunda afirmação da etapa das perguntas gerais do PE.



Fonte: Autora, 2020.

O gráfico nos mostra que 81,8% (oitenta e um vírgula oito por cento) concordam que o PE apresenta inovação didática em relação ao que está amplamente disponível para os professores. Alguns comentários qualitativos para análise: “Propostas que contemplem metodologias ativas aliadas a tecnologias são recursos que muitos professores não conhecem, quer seja pela escassez de formações continuadas na área, quer seja pelas lacunas da formação inicial. Portanto, traz sim inovação didática possível de ser utilizada na sala de aula, em diferentes realidades inclusive!” (avaliador E); “Sim, a começar pela proposta metodológica da sala de aula invertida” (avaliador I); “Sim. Pois embora a utilização de aplicativos (softwares) didáticos esteja sendo cada dia mais presente, os ‘simuladores’ ainda representam uma pequena parcela. Particularmente, na Termodinâmica, não havia visto ainda” (avaliador J).

Neste item, tivemos dois avaliadores que se mostraram indiferentes à afirmação. E nos comentários qualitativos escreveram o seguinte:

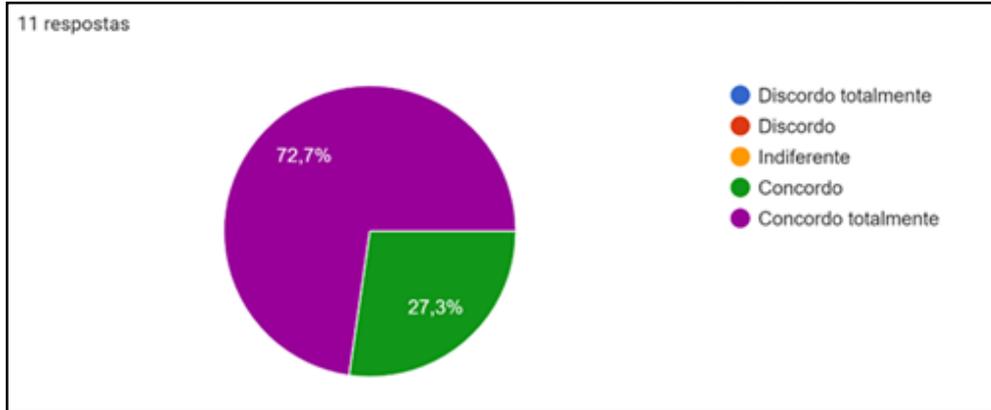
Não sei avaliar se apresenta inovação, uma vez que pelo que percebi não foi desenvolvido nada em específico pelos pesquisadores, foram apenas utilizados materiais disponibilizados por outros professores/pesquisadores, ou seja, o Produto Educacional foi organizado de maneira que pudesse apresentar uma sequência didática adequada ao aprendizado do aluno sobre o tema (avaliador K).

E o avaliador “D” disse: “Proposta de vídeo, slides, ... não entendo como inovação didática. Será que o uso das ferramentas propostas não vem acontecendo há anos?”

Apesar desse questionamento, na pesquisa que realizamos na CAPES não encontramos nenhum trabalho como este, que propõe o ensino da Primeira Lei da Termodinâmica na metodologia Sala de Aula Invertida associado ao uso de simulações computacionais. Essa afirmação pode ser verificada na p. 48 nos estudos relacionados.

Na sequência, os professores avaliaram a seguinte afirmação: “experimentos com a utilização de simuladores proporcionam ao aluno estratégias na compreensão do tema”. Como mostra o gráfico apresentado na Figura 32, em consenso, eles concordaram com este item.

Figura 32 - Síntese das avaliações à terceira afirmação da etapa das perguntas gerais do PE.

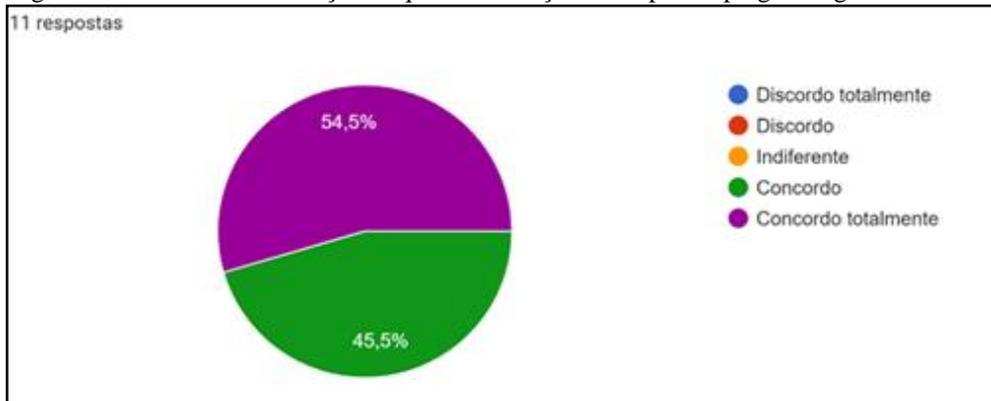


Fonte: Autora, 2020.

Os comentários qualitativos foram favoráveis ao item: “Nesta atividade, os simuladores têm fundamental importância para o aprendizado, pois mostram, na prática, o que realmente acontece” (avaliador E); “O uso de simuladores é uma grande ferramenta científica, importante em todas as áreas do conhecimento e, nesse caso, quando colocado a serviço da educação, como uma estratégia de compreensão de um tema, a aprendizagem tende a ser facilitada, ainda mais em nossa geração, onde as pessoas já nascem, digamos assim, digitais” (avaliador A).

E, para concluir esta etapa, a última afirmação que os professores deveriam avaliar foi: “o Produto Educacional em questão é passível de utilização em salas regulares da Educação Básica”.

Figura 33 - Síntese das avaliações à quarta afirmação da etapa das perguntas gerais do PE.



Fonte: Autora, 2020.

Para este item, os 11 (onze) avaliadores concordam que o PE é passível de ser utilizado em sala de aula regular da Educação Básica, “desde que a escola tenha estrutura física, como laboratório, internet, etc.” (avaliador D).

O avaliador “E” contribuiu com o comentário: “Penso que a utilização deste Produto Educacional pode acontecer em qualquer instrução educacional, tendo em vista a forma de mediação que o professor fará. São pequenas ações por parte dos professores que poderão, aos poucos, encantar mais estudantes para a ciência”.

Para finalizar o questionário de avaliação, os professores avaliaram o item considerações finais no qual tiveram que descrever observações e/ou fazer sugestões que possam ser úteis para o aperfeiçoamento do PE.

O avaliador “A” fez a seguinte observação:

No geral, o produto e o formulário estão bem delineados. O Produto Educacional, sem dúvidas, merece aplausos de nós, professores, e a torcida para que seja disponibilizado o mais rápido possível para que possamos usá-lo. Iniciativas como essas e outras semelhantes são sempre boas para a educação brasileira.

O avaliador “K” acredita que “as observações/sugestões foram pontuadas nos itens específicos, mas quero parabenizar os pesquisadores pelo Produto Educacional elaborado e fico no aguardo dos resultados de sua implementação em sala de aula”.

A seguir, apresentamos a síntese das respostas dos avaliadores de todas as afirmações do formulário para melhor visualização.

Quadro 6 - Síntese das respostas dos avaliadores.

Afirmação	Discordo totalmente	Discordo	Indiferente	Concordo	Concordo totalmente
1. Escrita do PE		9,1%		18,2%	72,7%
2. Layout e diagramação do PE			9,1%	36,4%	54,5%
3. Os objetivos, a clientela, e o modo da organização da SD estão adequados				27,3%	72,7%
4. Referencial teórico está claro e objetivo			9,1%	45,5%	45,5%
5. Ativ. etapa 1: pré-aula				54,5%	45,5%
6. Ativ. etapa 1: durante a aula				36,4%	63,6%
7. Ativ. etapa 1: pós-aula				54,5%	45,5%
8. Ativ. etapa 2: pré-aula		9,1%		45,5%	45,5%
9. Ativ. etapa 2: durante a aula				36,4%	63,6%

10. Ativ. etapa 2: pós-aula				54,5%	45,5%
11. Ativ. etapa 3: pré-aula				54,5%	45,5%
12. Ativ. etapa 3: durante a aula				36,4%	63,6%
13. Ativ. etapa 3: pós-aula				45,5%	54,5%
14. Questionário final				36,4%	63,6%
15. Atende à BNCC			9,1%	45,5%	45,5%
16. O PE apresenta inovação didática			18,2%	54,5%	27,3%
17. Utilização de simuladores				27,3%	72,7%
18. O PE é passível de utilização em salas de aula da EB				45,5%	54,5%

Fonte: Autora, 2020.

Este quadro nos mostra que das 18 (dezoito) afirmações que os professores avaliaram, nenhum deles “discordou totalmente”; apenas um avaliador “discordou” de duas afirmações; outros dois manifestaram-se “indiferente” referente a uma afirmação; um manifestou-se “indiferente” a mais 3 (três) afirmações. Já para “concordo” e “concordo totalmente”, todas as afirmações receberam avaliações, variando um percentual de 81,8% a 100%.

Na sequência, apresentamos uma análise individual por avaliador. Considerando as respostas e os comentários que cada professor fez a respeito de cada afirmação podemos fazer a reflexão que segue:

O avaliador A considerou “concordo totalmente” em 17 (dezesete) afirmações e “concordo” em uma afirmação. Fez muitos comentários positivos ao PE, elogiando a iniciativa da pesquisadora e dizendo que este trabalho contribuirá muito para a área da Física.

Já o avaliador B discordou de duas afirmações: 1. O PE foi escrito de maneira clara e objetiva para o público-alvo ao qual se destina (professores de Ensino Médio no ensino da Primeira Lei da Termodinâmica); 2. As atividades da Etapa 2, do momento **pré-aula**, proporcionam ao aluno o entendimento prévio do conceito de trabalho de um gás. O avaliador justifica a sua discordância porque a notação do trabalho de um gás aparece nos *slides*, no vídeo e no texto em três formas diferentes W, T e  $\tau$ (tau). E, como sabemos, devemos adotar uma única notação para não confundir os alunos. Isso fica muito a critério de cada professor, que continuará usando a notação que já usa com seus alunos. O que ocorreu foi que enviamos o PE aos avaliadores sem a devida correção e formatação, o que justifica as formas diferentes apontadas pelo avaliador. Este avaliador ainda fez sete (7) avaliações “concordo” e nove (9) avaliações “concordo totalmente”. Nos comentários qualitativos, ele contribuiu dizendo que

as simulações são uma ferramenta muito poderosa para a aprendizagem do ensino de Física e encerrou agradecendo a oportunidade de participar da pesquisa.

Está de acordo e “concorda” com quatro (4) afirmações o avaliador C, que “concorda totalmente” com outras quatorze (14) afirmações. Ele afirma que as etapas do PE estão bem estruturadas e de fácil compreensão. Diz que usaria em suas aulas com tranquilidade e que, com certeza, contribuirá para aquisição e ampliação dos conhecimentos da Primeira Lei da Termodinâmica.

Bastante crítico, o avaliador D inicia fazendo um comentário à afirmação “O layout e diagramação do Produto Educacional está adequado e atrativo”. Ele se manifestou “indiferente” e comentou: “Por que ter uma imagem na capa bacana não foi o suficiente para o todo”. Também se manifestou “indiferente” à afirmação “O referencial teórico que fundamenta as atividades didáticas é apresentado de maneira clara e objetiva”. E comentou: “Acho que deveria ter um texto explicando a Primeira Lei da Termodinâmica. Teve vídeo, *slides*, mas não um texto”. Também se manifestou “indiferente” à afirmação “De acordo com a BNCC, o estudante deve agir de forma autônoma, ser protagonista do seu aprendizado. A partir da realização das tarefas propostas no Produto Educacional, o estudante também estará exercitando essas habilidades”. E fez o seguinte comentário: “Vídeos, exercícios, presos em conhecimentos e perguntas fechadas”. E ainda foi “indiferente” à afirmação “O Produto Educacional apresenta inovação didática em relação ao que está amplamente disponível para os professores”. E comentou: Proposta de vídeo, *slides*, ... não entendo como inovação didática. Será que o uso das ferramentas propostas não vem acontecendo há anos?

O avaliador E fez sete (7) avaliações “concordo totalmente” e onze (11) avaliações “concordo”. Seus comentários em cada uma das afirmações foram muito positivas e de elogios ao trabalho.

“Concorda totalmente” com 17 (dezesete) afirmações o avaliador F e “concorda” com a outra afirmação. Esta avaliação foi diferente de todas as demais, pois nos comentários que devia fazer para cada afirmação sempre respondeu “nada a declarar”.

Já o avaliador G fez vários comentários, a começar dizendo que as etapas do PE estão bem escritas e claras para serem aplicadas. Diz também que a leitura do PE é agradável e confortável e que obedece a uma lógica de conteúdos. “Concordou completamente” com seis (6) afirmações e “concordou” com outras doze (12) afirmações do PE.

Para colaborar na pesquisa, o avaliador H “concordou” treze (13) vezes e “concordou completamente” cinco (5) vezes com as afirmações do formulário de avaliação. Deixou comentários qualitativos dizendo que: o PE foi muito bem elaborado, com informações claras

e precisas; a forma como a **pré-aula** foi elaborada dá autonomia ao estudante para que ele desenvolva o conhecimento e crie suas respostas sobre o conteúdo que está analisando. Fala ainda sobre o questionário final, que é muito importante para o aluno repassar o que estudou e com isso fazer um fechamento da aula.

Da mesma forma, corrobora o avaliador I, que “concordou totalmente” com 16 (dezesseis) afirmações do questionário e “concordou” nas outras duas. Este avaliador contribuiu dizendo que “o Produto Educacional está bem explícito ao público-alvo”. E que o “*layout* e a diagramação estão bem organizados, com textos, imagens e cores adequadas”.

O avaliador J comentou que a organização da sequência didática está organizada de forma clara e objetiva e de acordo com seus objetivos. Ele “concordou completamente” com quinze (15) afirmações do formulário e “concordou” com as outras três (3) afirmações.

Para o avaliador K, o *layout* e a diagramação do PE estão adequados e atrativos. “Concordou” com quinze (15) afirmações e “concordou completamente” com uma (1) afirmação. E manifestou-se “indiferente” à afirmação “O Produto Educacional apresenta inovação didática em relação ao que está amplamente disponível para os professores”. Justificou dizendo que não sabe avaliar se há inovação didática no PE visto que ele só está utilizando o que já existe em uma sequência didática. Percebemos que existe dúvida dos professores em diferenciar o que é uma inovação didática do que não é.

Como uma síntese, destacamos que as atividades 1 (Escrita do PE) e 8 (atividade da etapa 2 da pré-aula) tiveram uma (1) resposta de “discordo”, especificamente pelo fato de a notação do trabalho de um gás aparecer em mais de uma forma, o que não invalida a atividade. Embora tais quesitos, a nosso ver, isoladamente não comprometam a qualidade das atividades propostas, já foram corrigidas, visto que o PE estava em fase de revisão.

De maneira geral, entretanto, como pode ser observado nos gráficos (Figuras 16 a 33), no Quadro 7 e na análise individual por avaliador, a maioria dos quesitos submetidos à avaliação recebeu uma significativa quantidade de notas consideradas altas (concordo e concordo totalmente), o que indica que as atividades têm qualidade suficiente para serem implementadas em sala de aula, para a qual foram planejadas.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No decorrer desta dissertação, buscamos desenvolver uma proposta de ensino da Primeira Lei da Termodinâmica utilizando-se da metodologia Sala de Aula Invertida associada às simulações computacionais.

A importância e a necessidade de inserir atividades que estimulem o aluno a atuar de forma participativa no processo de ensino e aprendizagem no ambiente escolar justificam a produção e a avaliação do conjunto de atividades proposto neste estudo.

Quanto ao objetivo geral – investigar as potencialidades da utilização da metodologia Sala de Aula Invertida associada às simulações computacionais no processo de ensino da Termodinâmica com alunos do segundo ano do Ensino Médio – foi possível cumpri-lo ao submetermos o PE à avaliação de onze (11) professores que atuam em sala de aula. Segundo a avaliação desse grupo, o PE apresentou bom desempenho. Evidentemente, alguns pontos frágeis foram apontados e poderão ser objeto de aperfeiçoamento e/ou novas pesquisas sobre o uso de tais atividades, principalmente as que puderem analisar uma eventual aplicação das atividades com os próprios alunos. Infelizmente, isso não foi possível nesta pesquisa por conta da paralisação das aulas presenciais devido à pandemia da COVID-19.

Assim, no contexto do PE, nos momentos **pré-aula** e **durante a aula** fica evidente a linguagem científica nos textos que se referem a conceitos físicos, para que o estudante tenha conhecimento e se familiarize com esta linguagem. Isso contempla também um dos objetivos específicos, quando os estudantes devem estudar em casa, assistindo as videoaulas, os *slides* e os vídeos, a partir do acesso a um link.

Entendemos, ainda, que se oportuniza ao estudante uma estratégia de compreensão, interpretação e representação gráfica dos conceitos relacionados à Primeira Lei da Termodinâmica nos momentos de realização das atividades que foram propostas no PE.

Em outro objetivo específico contemplado com o PE, um dos avaliadores comenta sobre a utilização do PE em salas de aula regulares: “Penso que a utilização deste Produto Educacional pode acontecer em qualquer instrução educacional, tendo em vista a forma de mediação que o professor fará! São pequenas ações por parte dos professores que poderão, aos poucos, encantando mais estudantes para a ciência!” (avaliador E).

Isso fica alinhado com a atual diretriz curricular vigente no Brasil (BRASIL, 2018), que recomenda o uso de atividades educativas que estimulem o desenvolvimento de habilidades diferentes e que possibilitem ao estudante a apropriação de conceitos, procedimentos e teorias dos diversos campos das Ciências da Natureza.

Nas atividades propostas no PE, o estudante deve agir de forma autônoma, sendo protagonista de seu aprendizado. Nesse sentido, o avaliador A corrobora ao comentar que “em cada primeiro momento, o de **pré-aula**, por exemplo, em cada atividade, os estudantes são, através da proposta apresentada, desafiados a saírem do estado passivo e serem sujeitos ativos no processo da aprendizagem”.

No ensino de Física, encontramos alunos com dificuldades na interpretação de vários fenômenos físicos, pois a Física trabalha com muitos conceitos que se caracterizam por grande abstração. Uma alternativa é aliar as tecnologias digitais com tecnologias focadas no aluno e estratégias inovadoras como o modelo pedagógico da Sala Invertida (VALENTE, 2014).

Nosso PE foi desenvolvido utilizando simulações computacionais aliadas à metodologia Sala de Aula Invertida. As simulações computacionais podem trazer benefícios reais e instantâneos para o estudante, pois ele pode alterar os valores iniciais dos parâmetros e, com isso, ver como o fenômeno se comporta. Clark et al. (2009) corroboram essa ideia ao afirmarem: “são modelos computacionais de situações ou fenômenos hipotéticos ou reais que permitem ao usuário explorar as implicações de manipular ou modificar os parâmetros do modelo”.

Ainda sobre a utilização de simulações computacionais na realização de experimentos, em nosso PE, o avaliador E reconheceu a importância do recurso computacional para as relações da Primeira Lei da Termodinâmica com clareza. E reiterou que a oportunidade dada ao estudante de alterar parâmetros no simulador pode possibilitar relações maiores, o que não seria contemplado apenas com os cálculos das equações.

Aliando os três momentos da Sala de Aula Invertida com as simulações computacionais, foi possível elaborar um material rico que oportunizou a aprendizagem do tema. O avaliador E do PE confirma essa afirmativa:

Os três momentos, aqui citados, foram bem delimitados e precisos, oportunizando, sem dúvidas, para a concepção da sala de aula invertida, momentos, já em casa, por parte dos estudantes, de reflexões e anotações para posteriores debates em sala de aula, na fase seguinte e isso é muito bom para a aprendizagem. Os dois momentos seguintes, o da **aula** e o da **pós-aula**, também foram ricos e oportunizam aprendizagem do tema a que se propõe, que é apresentar aos estudantes o conceito da Primeira Lei da Termodinâmica. Quero, além do mais destacar que, por essa etapa ser, digamos assim, o coração do trabalho, teve uma riqueza de detalhes a mais e, isso, na minha concepção, enquanto docente, é muito bom, pois faz com que os estudantes, já no primeiro momento, que no caso da metodologia adotada é importantíssimo, possam ter acesso a essa riqueza de materiais e propostas que não ficaram apenas na primeira etapa, mas seguiram para as demais.

Em análise aos gráficos das atividades avaliadas, concluímos que, pelo menos, 81,8% dos professores concordam com as atividades didático-pedagógicas propostas no PE. Isso aconteceu para todas as dezenove (19) atividades avaliadas. Com esta análise, entendemos ter atendido também ao objetivo de elaborar um material de apoio pedagógico aos professores.

Finalmente, muito mais do que servir para uso em aulas sobre um assunto específico em turmas de estudantes do Ensino Médio, esperamos que tanto o PE quanto a forma de avaliação por pares empregada e os critérios utilizados para avaliar as atividades propostas possam inspirar e servir de referência para produção de materiais e realização de estudos análogos, para, gradativamente, disponibilizar para uso de professores e estudantes nos diferentes níveis de ensino.

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, Jilvan Cruz. *A metodologia da sala de aula invertida aplicada ao estudo da óptica geométrica para o ensino médio*. 2019. 133 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, BA, 2019.
- BARRETO FILHO, Benigno; SILVA, Cláudio Xavier da. *Física aula por aula: termologia, óptica, ondulatória*. 2º ano. 3. ed. São Paulo: FTD, 2016.
- BERGMANN, Jonathan; SAMS, Aaron. *Sala de aula invertida: uma metodologia ativa de aprendizagem*. Trad. Afonso Celso da Cunha Serra. Rio de Janeiro: LTC, 2019.
- BONADIMAN, Helio; NONENMACHER, Sandra Elisabet Bazana. O gostar e o aprender no ensino de Física: uma proposta metodológica. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 24, n. 2, p. 194-223, ago. 2007.
- BRASIL. Ministério da Educação. *Base Nacional Comum Curricular*. Brasília: MEC, 2018.
- CARLI, Eloir de. *Utilizando Demonstrações em vídeo para o Ensino de Física Térmica no Ensino Médio*. 2014. 87 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.
- CAVALCANTE, Marisa Almeida; BONIZZIA, Amanda; GOMES, Leandro César Pereira. Aquisição de dados em laboratórios de Física: um método simples, fácil e de baixo custo para experimentos em mecânica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 30, n. 2, p. 2501-2506, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v30n2/a11v30n2.pdf>>. Acesso em: 14 maio 2020.
- CHRISTENSEN, Clayton M.; HORN, Michael B.; STAKER, Heather. *Ensino Híbrido: uma inovação disruptiva? Uma introdução à teoria dos híbridos*, 2013. Disponível em: <[http://www.ensino-hibrido\\_uma-inovacao-disruptiva.pdf](http://www.ensino-hibrido_uma-inovacao-disruptiva.pdf)>. Acesso em: 25 jan. 2021.
- CLARK, Douglas; NELSON, Brian; SENGUPTA, Pratim; D'ANGELO, Cynthia. Rethinking Science Learning Through Digital Games and Simulations: genres, examples, and evidence. In: WORKSHOP ON GAMING AND SIMULATIONS, NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2009, Washington, DC. *Anais...* Washington, DC: Academia Premium, 2009. p. 1-71. Disponível em: <<https://www.academia.edu/493598/>>. Acesso em: 25 jan. 2021.
- FÁVERO, Altair Alberto; GABOARDI, Ediovani Antônio (Coord.). *Apresentação de trabalhos científicos: normas e orientações práticas*. 5. ed., rev. e ampl. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2008.
- GIL, Antonio Carlos. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- KAZUHITO, Yamamoto; FUKU, Luiz Felipe. *Física para o Ensino Médio: termologia, óptica, ondulatória*. 4. ed. São Paulo: Saraiva, 2016. v. 2.
- MÁXIMO, Antônio; ALVARENGA, Beatriz; GUIMARÃES, Carla. *Física: contexto & aplicações: ensino médio*. 2. ed. São Paulo: Scipione, 2016.

- MARQUES, Joana Brás Varanda; FREITAS, Denise de. Artigo Método Delphi: caracterização e potencialidades na pesquisa em Educação. *Pro-prosições*, v. 29, n. 2, p. 389-415. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1980-6248-2015-0140>>. Acesso em: 31 maio 2021.
- MARTINI, Glorinha; SPINELLI, Walter; REIS, Hugo Carneiro; SANT'ANNA, Blaidi. *Conexões com a Física: estudo do calor, óptica geométrica, fenômenos ondulatórios*. 3. ed. São Paulo: Moderna, 2016.
- MEDEIROS, Alexandre; MEDEIROS, Cleide Farias de. Possibilidades e limitações das simulações computacionais no Ensino de Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 24, n. 2, p. 77-86, jun. 2002.
- MEEES, Alberto Antonio. *Astronomia: motivação para o ensino de Física para a 8ª série*. 2004. 132 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.
- MORAN, José. Mudando a Educação com Metodologias Ativas. In: SOUZA, Carlos Alberto de; MORALES, Ofelia Elisa Torres (Org.). *Coleção Mídias Contemporâneas. Convergências Midiáticas, Educação e Cidadania: aproximações jovens*. Ponta Grossa: Foca Foto-PROEX/UEPG, 2015. Disponível em: <<http://uepgfocafoto.wordexpress.com/>>. Acesso em: 21 ago. 2020. v. 2.
- MORAN, José; BACICH, Lilian. *Metodologias ativas para uma educação inovadora: uma abordagem teórica-prática*. Porto Alegre: Penso, 2018.
- MOREIRA, Ney Henrique; BASSI, Adalberto Bono Maurizio Sacchi. Sobre a primeira lei da termodinâmica. *Química Nova*, Campinas, SP, v. 24, n. 4, p. 536-567, 2001.
- MORO, Fernanda Teresa. *Atividades experimentais e simulações computacionais: integração para a construção de conceitos de transferência de energia térmica no ensino médio*. 2015. 154 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências Exatas) – Centro Universitário Univates, Lajeado, 2015.
- NERY, Alessandro Ranulfo Lima; BASSI, Adalberto Bono Maurizio Sacchi. A primeira lei da termodinâmica dos processos homogêneos. *Química Nova*, Campinas, SP, v. 32, n. 2, p. 522-529, 2009.
- NUNES, Tiago Morais. *Modelagem e simulações computacionais: uma abordagem para o ensino de gases e termodinâmica no ensino médio*. 2016. 138 f. Dissertação (Mestrado Profissional de Ensino de Física) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.
- OLIVEIRA, Marcus Vinícius Araújo de. *Ensino de física térmica por meio de atividades de estudo com experimentos virtuais e reais*. 2018. 84 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, BA, 2018.

OLIVEIRA, Tobias Espinosa de; ARAÚJO, Ives Solano; VEIT, Eliane Angela. Sala de Aula Invertida (Flipped Classroom): inovando as aulas de Física. *Física na Escola*, Porto Alegre, v. 14, n. 2, 2016.

PAPERT, Seymour. *Logo: computadores e educação*. 3. ed. São Paulo: Editora Brasiliense, 1988.

PHET INTERACTIVE SIMULATIONS. *Calor e termometria*. Disponível em: <[https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulations/category/physics/heat-and-thermodynamics](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/category/physics/heat-and-thermodynamics)>. Acesso em: 15 abr. 2021.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. *Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico*. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

SCHMITZ, Elieser Xisto da Silva. *Sala de Aula Invertida: uma abordagem para combinar metodologias ativas e engajar alunos no processo de ensino-aprendizagem*. 2016. 185 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Educacionais em Rede) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

SCOLARO, Joelma Kominkiewicz. *Sala de aula invertida: ensinagem dos sistemas de equações polinomiais do 1º grau no oitavo ano do ensino fundamental*. 2020. 104 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2020.

SEARS; ZEMANSKY. *Física 2: termodinâmica e ondas*. Trad. Daniel Vieira. 14. ed. São Paulo: Pearson Education, 2015.

STUDART, Nelson. Simulação, Games e Gamificação no Ensino de Física. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 21, 2015, Uberlândia. *Anais...* Uberlândia: SBF, 2015. p. 1-17.

TOMANIK, Marcelo. *O uso do software modellus na formação inicial de licenciandos em física dentro da abordagem metodológica da sala de aula invertida*. 2015. 81 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2015.

VALENTE, José Armando. Blended Learning e as mudanças no ensino superior: a proposta da sala de aula invertida. *Educar em revista*, Curitiba, v. especial, n. 4, p. 79-94, 2014.

VALENTE, José Armando. *O computador na sociedade do conhecimento*. Campinas, SP: UNICAMP/NIED, 1999.

**APÊNDICE A - Convite e instruções para avaliadores do Produto Educacional****Convite e instruções para avaliadores do Produto Educacional**

Prezado(a) professor(a) XXXXXXXX,

Vimos cordialmente convidá-lo(a) a participar da avaliação do Produto Educacional ensino da primeira lei da Termodinâmica por meio de simulações computacionais no contexto da metodologia sala de aula invertida para alunos do segundo ano do ensino médio, vinculado a minha dissertação de mestrado (Rosicler Matiasso), elaborada sob orientação do professor Dr. Juliano Tonezer da Silva e coorientação do professor Dr. Carlos Ariel Samudio Péres. Este trabalho está vinculado ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática (PPGECM) do Instituto de Ciências Exatas e Geociências (ICEG) da Universidade de Passo Fundo (UPF). Gostaríamos de agradecer a sua disponibilidade para avaliar o Produto Educacional, caso aceite.

Anexo a este e-mail, segue o Produto Educacional a ser analisado, cujo conteúdo está dividido nas seguintes seções:

- Apresentação: páginas 6;
- Sequência de atividades;
- Primeira etapa-energia interna;
- Pré-aula: página 14;
- Durante a aula: página 17;
- Pós-aula: página 18;
- Segunda etapa – trabalho de um gás;
- Pré-aula: página 19;
- Durante a aula: página 21;
- Pós-aula: página 23;
- Terceira etapa: 1ª lei da Termodinâmica;
- Pré-aula: página 24;
- Durante a aula: página 28;
- Pós-aula: página 31;
- Quarta etapa: conclusão;
- Atividade avaliativa: página 33;
- Atividades do Produto Educacional: Apêndices A até O – páginas 36 a 58.

Obs.: Todas as atividades que são citadas no texto da sequência didática constam nos apêndices do Produto Educacional para serem avaliadas.

Para fazer a avaliação, leia previamente o produto e depois acesse o formulário de avaliação online, disponível no seguinte endereço:

<[https://docs.google.com/forms/d/1YaaSeL92NkBmorNFomd7-mEZIEF9Adku\\_TvygnBu5U/edit#question=1759529926&field=1531821213](https://docs.google.com/forms/d/1YaaSeL92NkBmorNFomd7-mEZIEF9Adku_TvygnBu5U/edit#question=1759529926&field=1531821213)>.

Além de uma avaliação global, você deverá usar o formulário online para avaliar a parte introdutória e cada uma das 15 atividades propostas.

O preenchimento do formulário deve ser feito de uma só vez (não é possível parar no meio do preenchimento e fazer o restante em outro momento – as informações serão perdidas). Por isso é importante que, antes de iniciar o preenchimento do formulário, você tenha lido o produto e feito anotações sobre eventuais aspectos a serem comentados.

Assim que você finalizar o preenchimento do formulário, os dados de sua avaliação serão devidamente registrados e sua avaliação estará finalizada.

Solicitamos, gentilmente, que faça isso até o dia 30 de novembro de 2021.

Mas, caso não seja viável, basta nos indicar um novo prazo para que possamos ajustá-lo, conforme a necessidade.

Informamos que os resultados desta pesquisa serão publicados na dissertação e em artigos científicos, todavia, sua identidade será preservada. Você não terá gasto ou ganho financeiro por participar da pesquisa e não há riscos. Os benefícios serão de natureza acadêmica para a área de ensino/aprendizagem de Física. Você é livre para aceitar participar da pesquisa sem nenhum prejuízo ou coação.

Ao preencher o formulário, você estará aceitando participar da pesquisa, voluntariamente, após ter sido devidamente esclarecido.

Mais uma vez agradecemos a sua participação e ficamos no aguardo de suas contribuições para a validação deste trabalho.

Quaisquer dúvidas ou maiores informações, estamos à disposição, por e-mail ([rosicler0311@gmail.com](mailto:rosicler0311@gmail.com)) ou pelo celular 54 99131-7171.

Favor confirmar o recebimento do material.

Cordialmente,

Rosicler Matiasso e Juliano Tonezer da Silva.

## APÊNDICE B - Cadastro de avaliador do Produto Educacional

Cadastro para participação na avaliação do Produto Educacional “Ensino da primeira lei da Termodinâmica por meio de simulações computacionais no contexto da metodologia da sala de aula invertida”.

\*Obrigatório

1. Nome Completo \*

---

2. Data de nascimento \*

---

*Exemplo: 7 de janeiro de 2019*

3. Profissão atual \*

---

4. Formação acadêmica: graduação(ões) \*

---

---

---

5. Formação acadêmica: pós-graduação \*

*Marque todas que se aplicam.*

Especialização (*Lato sensu*)

Mestrado em andamento/ Mestrado

Doutorado em andamento/ Doutorado

Pós-Doutorado

<<https://docs.google.com/forms/d/1o0AIQLWdiz3j9jjrgpuHazLRdKEZkJiF331Zd3Xm6EI/edit>>.

6. Local de trabalho (atual) \*

---

7. Por quanto tempo exerce ou exerceu a docência? \*

---

## APÊNDICE C - Questionário de avaliação do Produto Educacional

O presente questionário é referente à avaliação do Produto Educacional “Ensino da Primeira Lei da Termodinâmica por meio de simulações computacionais no contexto da metodologia da Sala de Aula Invertida”.

O seu preenchimento deve ser feito de uma só vez (não sendo possível parar durante o preenchimento e fazer o restante em outro momento, pois as informações serão perdidas). Por isso, é importante que, antes de iniciar o preenchimento do formulário, você tenha lido o Produto Educacional em questão e realizado anotações e comentários acerca das questões do formulário previamente disponibilizadas.

As questões com asterisco (\*) são de preenchimento obrigatório.

[https://docs.google.com/forms/d/1YaaSeL92NkBmorNFomd7-rnEZIEF9Adku\\_TvygnBu5U/edit](https://docs.google.com/forms/d/1YaaSeL92NkBmorNFomd7-rnEZIEF9Adku_TvygnBu5U/edit).

### Análise da parte introdutória

1. O Produto Educacional foi escrito de maneira clara e objetiva para o público-alvo ao qual se destina (professores de Ensino Médio no ensino da 19 Lei da Termodinâmica).\*

*Marcar apenas uma oval.*

- Discordo totalmente
- Discordo
- Indiferente
- Concordo
- Concordo totalmente

2. Comentários a respeito deste item

---



---



---

3. O *layout* e a diagramação do Produto Educacional estão adequados e atrativos. \*

*Layout* é o padrão apresentação visual escolhido para obra (tipo, tamanho, cores de letras, margens, cabeçalhos etc.). A diagramação faz parte do *layout* e diz respeito à distribuição adequada de textos e imagens de modo a tornar leitura organizada e atrativa. Uma página com excesso ou pouca quantidade de textos e/ou imagens, por exemplo, pode ser considerada mal diagramada. Mais informações em: <https://projetonossamidia.wordpress.com/materiais/diagramacao>.

*Marcar apenas uma oval.*

- Discordo totalmente
- Discordo
- Indiferente
- Concordo
- Concordo totalmente

4. Comentários a respeito do *layout* e da diagramação

---

---

---

---

5. Os objetivos, a clientela e o modo da organização da sequência didática estão apresentados adequadamente. \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Discordo totalmente
- Discordo
- Indiferente
- Concordo
- Concordo totalmente

6. Comentários a respeito da apresentação dos objetivos, da clientela e do modo da organização da sequência didática.

---

---

---

---

---

7. O referencial teórico que fundamenta as atividades didáticas é apresentado de maneira clara e objetiva. \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Discordo totalmente
- Discordo
- Indiferente
- Concordo
- Concordo totalmente

8. Comentários a respeito do referencial teórico

---



---



---

### **Avaliação das Atividades da ETAPA 1**

Na etapa 1 são trabalhados o conceito de energia interna de um gás e de calor.

9. As atividades da ETAPA 1, do momento **pré-aula**, proporcionam ao aluno o entendimento prévio do conceito de energia interna de um gás e de calor. \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Discordo totalmente
- Discordo
- Indiferente
- Concordo
- Concordo totalmente

10. As atividades da ETAPA 1, do momento **durante a aula**, relacionadas ao uso do simulador *gases-intro-en* da Phet Colorado, proporcionam ao aluno a compreensão do conceito de energia interna de um gás e de calor. \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Discordo totalmente
- Discordo
- Indiferente
- Concordo
-

- Concordo totalmente
11. As atividades da ETAPA 1, do momento **pós-aula**, proporcionam ao aluno a aprendizagem do conceito de energia interna de um gás e de calor. \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Discordo totalmente
- Discordo
- Indiferente
- Concordo
- Concordo totalmente

12. Comentários sobre as atividades da ETAPA 1

---

---

---

---

---

### **Avaliação das Atividades da ETAPA 2**

Na etapa 2 tem atividades relacionadas ao conceito de trabalho de um gás.

13. As atividades da ETAPA 2, do momento **pré-aula**, proporcionam ao aluno o entendimento prévio do conceito de trabalho de um gás. \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Discordo totalmente
- Discordo
- Indiferente
- Concordo
- Concordo totalmente

14. As atividades da ETAPA 2, do momento **durante a aula**, relacionadas ao uso do simulador *gas-properties-en* da Phet Colorado, proporcionam ao aluno a compreensão do conceito de Trabalho de um gás. \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Discordo totalmente
- Discordo
- Indiferente
- Concordo
- Concordo totalmente

15. As atividades da ETAPA 2, do momento **pós-aula**, proporcionam ao aluno a aprendizagem do conceito de Trabalho de um gás. \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Discordo totalmente
- Discordo
- Indiferente
- Concordo
- Concordo totalmente

16. Comentários sobre as atividades da ETAPA 2

---

---

---

---

### **Avaliação das Atividades da ETAPA 3**

As atividades da etapa 3 estão relacionadas ao conceito da primeira Lei da Termodinâmica

17. As atividades da ETAPA 3, do momento **PRÉ-AULA**, proporcionam ao aluno o entendimento **PRÉVIO** do conceito da primeira Lei da Termodinâmica. \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Discordo totalmente
- Discordo
- Indiferente
- Concordo
- Concordo totalmente

18. As atividades da ETAPA 3, do momento **durante a aula**, relacionadas ao uso do simulador *gas-properties-en* da Phet Colorado, proporcionam ao aluno a compreensão do conceito da primeira Lei da Termodinâmica. \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Discordo totalmente
- Discordo
- Indiferente
- Concordo
- Concordo totalmente

19. As atividades da ETAPA 3, do momento **pós-aula**, proporcionam ao aluno a aprendizagem do conceito da Primeira Lei da Termodinâmica. \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Discordo totalmente
- Discordo
- Indiferente
- Concordo
- Concordo totalmente

20. Comentários sobre as atividades da ETAPA 3

---

---

#### **Avaliação do questionário da Etapa 4**

21. O questionário final, descrito na etapa 4, a ser aplicado aos alunos, permite a avaliação adequada do aprendizado dos estudantes sobre a Lei da Termodinâmica. \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Discordo totalmente
- Discordo
- Indiferente
- Concordo
- Concordo totalmente

22. Comentários a respeito do questionário final da Etapa 4

---

---

---

---

### **Perguntas gerais**

23. De acordo com a BNCC o estudante deve agir de forma autônoma, ser protagonista do seu aprendizado. A partir da realização das tarefas propostas no Produto Educacional, o estudante estará exercitando essas habilidades. \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Discordo totalmente
- Discordo
- Indiferente
- Concordo
- Concordo totalmente

24. Comentários a respeito da questão.

---

---

---

---

---

25. O Produto Educacional apresenta inovação didática em relação ao que está amplamente disponível para os professores \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Discordo totalmente
- Discordo
- Indiferente
- Concordo
- Concordo totalmente

26. Comentários a respeito da Inovação Didática.

---

---

---

---

27. Experimentos com utilização dos simuladores proporcionam ao aluno estratégias na compreensão do tema. \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Discordo totalmente
- Discordo
- Indiferente
- Concordo
- Concordo totalmente

28. Comentários a respeito dos experimentos com utilização dos simuladores.

---

---

---

---

29. O Produto Educacional em questão é passível de utilização em salas de aula regulares da Educação Básica \*

*Marcar apenas uma oval.*

- Discordo totalmente
- Discordo
- Indiferente
- Concordo
- Concordo totalmente

30. Comentários a respeito da viabilidade de uso efetivo em aulas em escolas regulares

---

---

---

### **Considerações Finais**

31. Descreva observações e/ou sugestões que possam ser úteis para o aperfeiçoamento do produto didático em questão (ou até mesmo deste formulário).

---

---

---

---

---

---

---

---

## **PRODUTO EDUCACIONAL**

O produto educacional encontra-se disponível nos endereços:

<[https://www.upf.br/\\_uploads/Conteudo/ppgecm/2022/Rosicler\\_PRODUTO.pdf](https://www.upf.br/_uploads/Conteudo/ppgecm/2022/Rosicler_PRODUTO.pdf)>  
<<http://educapes.capes.gov.br/handle/capes/701629>>