

INSTITUTO FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CAMPUS NATAL – CENTRAL / DIRETORIA DE PESQUISA E INOVAÇÃO
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

Dissertação de Mestrado

**UMA PROPOSTA INVESTIGATIVA SOBRE A PRIMEIRA LEI DA
TERMODINÂMICA POR MEIO DO MOTOR *STIRLING***

Por:

SEBASTIÃO KELSON DE OLIVEIRA

Natal
2018

UMA PROPOSTA INVESTIGATIVA SOBRE A PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA POR MEIO DO MOTOR *STIRLING*

SEBASTIÃO KELSON DE OLIVEIRA

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

Orientador: Manoel Leonel de Oliveira Neto, D. Sc.

Coorientadora: Maria da Glória F. N. Albino, D. Sc.

**UMA PROPOSTA INVESTIGATIVA SOBRE A PRIMEIRA LEI DA
TERMODINÂMICA POR MEIO DO MOTOR STIRLING**

SEBASTIÃO KELSON DE OLIVEIRA

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

Aprovada por:



Manoel Leonel de Oliveira Neto
Presidente/Orientador



Gislene Micarla Borges de Lima
Examinadora externa/UFERSA



Edemerson Solano Batista de Moraes
Examinador interno

Natal, RN
Novembro de 2018

Oliveira, Sebastião Kelson de.
O48u Uma proposta investigativa sobre a primeira lei da termodinâmica por meio do motor stirling / Sebastião Kelson de Oliveira. – Natal, 2018. 94 f. ; il. color.

Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte. Natal, 2018.
Orientador (a): Dr. Manoel Leonel de Oliveira Neto.
Coorientador(a): Dra. Maria da Glória F. N. Albino.

1. Ensino de física. 2. Lei da termodinâmica. 3. Motor Stirling. I. Oliveira Neto, Manoel Leonel de. II. Albino, Maria da Glória F. N. III. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte. IV. Título.

CDU 53:37

Catálogo na Publicação elaborada pela Bibliotecária Maria Ilza da Costa – CRB-15/412
Biblioteca Central Sebastião Fernandes (BCSF) - IFRN

Dedico primeiramente a Deus, à minha família e aos meus amigos pelo apoio na realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Eu agradeço primeiramente a Deus, por me dar forças para atingir meus objetivos, pois é ele é o meu guia e me dá forças para continuar lutando e vencendo.

Agradeço à minha família, pela paciência e por ajudar nos momentos mais difíceis.

Aos meus orientadores, Manoel Leonel e Maria da Glória, pela paciência e pelos incentivos, sempre apresentando observações importantes e compartilhando comigo os seus ensinamentos.

A todos os meus amigos do mestrado nacional profissional em ensino de física, pela amizade, pelo apoio, companheirismo e incentivo que sempre me deram.

Aos meus alunos do segundo ano do ensino médio regular do turno matutino da Escola Estadual Sebastião Fernandes de Oliveira, pela colaboração que me foi dada na realização deste trabalho, através do interesse e participação nas atividades que lhes foram propostas.

A todos os professores do mestrado, pelos conhecimentos transmitidos.

Ao amigo irmão Vianney Reinaldo, a quem agradeço profundamente pelas sugestões, correções e contribuições para melhorar ainda mais o meu trabalho.

A todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para a realização desse trabalho.

RESUMO

A construção de um motor Stirling foi o ponto de partida para motivar, investigar e melhorar o entendimento de conceitos de Termodinâmica em uma proposição da metodologia do ensino por investigação. A proposta se materializou em um roteiro de atividades experimentais com dicas e orientações para o professor e um caderno de atividades para os alunos (construídos como produto obrigatório e parte integrante da dissertação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF), se propondo a contribuir para a compreensão da Primeira Lei da Termodinâmica, mediante uso de metodologia ativa. O material desenvolvido foi aplicado em uma turma do segundo ano do ensino médio regular de uma escola pública da cidade de Natal-RN. Os resultados foram analisados de acordo com uma metodologia quantitativa – que se ateve a quantificar as respostas dos estudantes nos questionários relativos às atividades investigativas 1 e 2, e qualitativa – que discutiu as respostas mais frequentes de acordo com os erros e acertos cometidos pelos estudantes. A análise mostrou que os estudantes apresentaram dificuldades na argumentação e elaboração de hipóteses, mostrando-se resistentes na hora de escrever suas respostas, e exibiram dificuldades quando se depararam com situações em que era necessário elaborar um raciocínio lógico para resolver determinado problema. Por outro lado, participaram ativamente das atividades prático-experimentais: manipulação dos materiais, observação dos fenômenos, construção do motor e apresentação dos trabalhos. Apesar das dificuldades encontradas, foi percebido um interesse significativo dos estudantes pelas aulas de Física, resultado de uma metodologia que trabalha os conteúdos de maneira contextualizada em um ambiente de maior interação, participação e implicação de todos os envolvidos no processo de ensino-aprendizagem.

Palavras-chave: Ensino de Física; Lei da Termodinâmica; Motor *Stirling*.

ABSTRACT

The development of a motor stirling was the starting point to motivate, investigate and improve the comprehension about concepts of Thermodynamics in a proposition involving teaching methodology with investigation. The suggestion has taken the form of experimental activities containing tips for the teacher and an exercise notebook for students (developed as an essential product and integrating part of the dissertation in National Professional Master in Physics Teaching), proposing to contribute for the comprehension about First Rule of Thermodynamics, using active methodology. The material developed was used in a group of second grade in regular high school of a public school in the municipality of Natal-RN. The results were analyzed in accordance with a quantitative methodology – that has quantified the answers of students in questionnaires with respect to the investigation activities 1 and 2, and qualitative – that has discussed more frequent answers according to the mistakes and successes of students. The analysis has shown that students had difficulties to argue and develop hypothesis, resisting to write their answers, and has shown difficulties when faced situations in which it was necessary to elaborate logical thinking in order to solve a problem. On the other hand, they participated in practical and experimental activities: manipulation of materials, observation of phenomena, motor development and presentation of works. Despite the difficulties, we observed a relevant interest of students in Physics classes, as a consequence of a methodology that works the subjects in a contextualized manner in an atmosphere of greater interaction, participation and implication of all the people involved in the teaching-learning process.

Keywords: Teaching based on investigation, First Rule of Thermodynamics, Motor Stirling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ciclo do motor <i>Stirling</i> .	26
Figura 2 – Sistema, fronteira e vizinhança.	28
Figura 3 – Sistemas termodinâmicos.	28
Figura 4 – Sentido do fluxo de calor.	29
Figura 5 – Sensação de quente e frio.	29
Figura 6 – Relação entre a pressão, força e área.	31
Figura 7 – Trabalho realizado pelo gás durante uma expansão.	32
Figura 8 – Trabalho realizado sobre o gás durante uma compressão.	38
Figura 9 – Cálculo do trabalho.	33
Figura 10 – Mapa conceitual sobre a Primeira Lei da Termodinâmica.	34
Figura 11 – Especificações das partes componentes do motor <i>Stirling</i> .	36
Figura 12 – Construção do pistão deslocador.	39
Figura 13 – Construção do bloco do motor.	39
Figura 14 – Montando partes do motor.	40
Figura 15 – Construção, montagem e ajustes de partes do motor.	40
Figura 16 – Motor <i>stirling</i> finalizado.	41
Figura 17 – <i>Kit</i> experimental.	43
Figura 18 – Atividade experimental para resolver o problema 1.	43
Figura 19 – Atividade experimental para resolver o problema 2.	44
Figura 20 – Investigando conceitos de Termodinâmica.	45
Figura 21 – Sistematização do conteúdo.	46
Figura 22 – Apresentação de trabalhos sobre Termodinâmica.	46
Figura 23 – Resumo dos objetivos propostos no trabalho.	47

Figura 24 – Percurso metodológico, da idealização até as considerações finais. __	48
Figura 25 – Percurso metodológico da primeira etapa. _____	52
Figura 26 – Questionário da atividade investigativa 1. _____	53
Figura 27 – Questionário da atividade investigativa 2. _____	54
Figura 28 – Percurso metodológico da segunda etapa (Investigação). _____	55
Figura 29 – Seringa de vidro de 20 ml utilizada no problema 1. _____	61
Figura 30 – Procedimentos realizados pelo aluno para resolver o problema 1. _____	62
Figura 31 – Respostas de alunos sobre conceitos. _____	64
Figura 32 – Respostas de alunos sobre grandezas físicas. _____	66
Figura 33 – Equação do trabalho em função da força e do deslocamento. _____	68
Figura 34 – Equação do trabalho em função da pressão e variação de volume.R _	69
Figura 35 – Respostas de alunos sobre a realização de trabalho. _____	70
Figura 36 – Respostas de alunos sobre o comportamento do gás. _____	71
Figura 37 – Respostas de alunos sobre o que é energia interna do gás. _____	72
Figura 38 – Respostas de alunos sobre o que ocorre com a energia interna. _____	74
Figura 39 – Procedimentos utilizados para resolver o problema 2. _____	75
Figura 40 – Respostas de alunos sobre a realização de trabalho. _____	76
Figura 41 – Respostas de alunos sobre o que ocorre com a energia interna. _____	77
Figura 42 – Procedimentos usados para o motor Stirling funcionar. _____	78
Figura 43 – Recorte da resposta de um aluno, onde é ilustrado o motor <i>Stirling</i> . __	43
Figura 44 – Respostas de alunos sobre o que é máquina térmica. _____	44
Figura 45 – Transformações de energia em máquinas térmicas. _____	82
Figura 46 – Explicação do funcionamento do motor Stirling. _____	83
Figura 47 – Equação que representa a primeira lei da Termodinâmica. _____	85

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Resultados da autoavaliação. _____	58
Gráfico 2 – Resultado da avaliação da oficina. _____	59
Gráfico 3 – Respostas dos alunos sobre conceitos físicos. _____	63
Gráfico 4 – Grandezas físicas observadas e destacadas pelos alunos. _____	65
Gráfico 5 – Respostas dos alunos sobre a realização de trabalho. _____	70
Gráfico 6 – Respostas de alunos sobre comportamento das partículas do gás. ____	71
Gráfico 7 – Respostas de alunos sobre a definição de energia interna. _____	73
Gráfico 8 – Respostas de alunos sobre a realização de trabalho. _____	76
Gráfico 9 – Respostas de alunos sobre o comportamento da energia interna. ____	78
Gráfico 10 – Respostas de alunos sobre exemplos de máquinas térmicas. _____	82
Gráfico 11 – Transformações de energia em máquinas térmicas. _____	83
Gráfico 12 – Respostas de alunos sobre o funcionamento do motor <i>Stirling</i> . ____	84

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO	12
1.1 MOTIVAÇÃO	13
1.2 JUSTIFICATIVA	14
1.3 OBJETIVO	15
1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	16
CAPÍTULO 2 REVISÃO DE LITERATURA	17
CAPÍTULO 3 REFERENCIAL TEÓRICO	20
3.1 O ENSINO DE CIÊNCIAS POR INVESTIGAÇÃO	20
3.1.1 O professor e o aluno em uma proposta investigativa	24
3.2 MOTOR <i>STIRLING</i>	25
3.3 DISCUTINDO CONCEITOS DE TERMODINÂMICA	27
CAPÍTULO 4 PRODUTO EDUCACIONAL	36
4.1 APRESENTAÇÃO	36
4.2 PRIMEIRA ETAPA – CONSTRUÇÃO DO MOTOR <i>STIRLING</i>	36
4.2.1 Materiais e ferramentas para construção do motor <i>Stirling</i>	37
4.2.2 Guia para construção do motor <i>Stirling</i>	37
4.2.3 Construção do motor <i>Stirling</i>	39
4.2.3.1 Primeiro encontro	40
4.2.3.2 Segundo encontro	40
4.2.3.3 Terceiro encontro	41
4.2.3.4 Quarto encontro	41
4.2.3.5 Motor <i>Stirling</i> finalizado	42
4.2.3.6 Avaliação	43

4.3 SEGUNDA ETAPA – INVESTIGAÇÃO	43
4.3.1 Atividade investigativa – 1	43
4.3.2 Atividade investigativa – 2	45
4.4 SISTEMATIZAÇÃO DO CONTEÚDO	46
4.5 COMUNICAÇÃO DOS RESULTADOS	47
CAPÍTULO 5 METODOLOGIA	48
5.1 LOCAL DE REALIZAÇÃO E APLICAÇÃO DO PRODUTO	48
5.2 PERCURSO DA PESQUISA	49
5.3 PRIMEIRA ETAPA – OFICINA	50
5.3.1 Contando a história	50
5.4 SEGUNDA ETAPA – INVESTIGAÇÃO	53
5.4.1 Primeira atividade investigativa	53
5.4.2 Segunda atividade investigativa	54
5.5 SISTEMATIZAÇÃO DO CONTEÚDO	56
5.6 COMUNICAÇÃO DE RESULTADOS	56
5.7 AVALIAÇÕES	57
CAPÍTULO 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	58
6.1 PRIMEIRA ETAPA – OFICINA	58
6.2 SEGUNDA ETAPA – INVESTIGAÇÃO	62
6.2.1 Questionário 1	62
6.2.2 Questionário 2	79
CAPÍTULO 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	88
REFERÊNCIAS	91

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Depois de terminar o curso de licenciatura em Física na UFRN no ano de 1999, comecei a experimentar as primeiras experiências como professor de Física, em escolas públicas e particulares. A partir daí, comecei a perceber que os desafios seriam grandes, pois eu teria que trabalhar com turmas numerosas, nas quais a maioria dos alunos eram desinteressados e desmotivados. Portanto, diante desta constatação, comecei a fazer os primeiros questionamentos: O que deveria ser feito para que pudesse tornar os alunos mais interessados, motivados e, com isso, poder obter melhores resultados?

Ao longo desses dezoito anos como professor de Física para alunos do ensino médio regular e supletivo, hoje vejo que aquele cenário de turmas numerosas, alunos desinteressados e desmotivados e baixos rendimentos escolares persiste e que nunca é tarde para buscar alternativas que possam contribuir de forma significativa para uma aprendizagem melhor e mais eficiente. Portanto, diante desses problemas, o objetivo principal é buscar os meios necessários para superar esses desafios que o professor de Ciências enfrenta no dia a dia na sala aula. Diante disso, busquei aperfeiçoar meus conhecimentos através do mestrado nacional profissional em ensino de Física ofertado pelo IFRN como forma de alcançar todos os objetivos que visam a melhorar minha prática pedagógica como professor, além do rendimento escolar dos alunos em todos os sentidos.

Como educador, pude refletir sobre as diversas relações estabelecidas no ambiente escolar, o papel do professor, do aluno e da sociedade. A questão era: por que, apesar de tanto esforço, não havia interesse dos alunos em aprender física? Que metodologia poderia ser utilizada para motivá-los? O que poderia ser feito para que os alunos participassem da construção do próprio conhecimento, de forma crítica e autônoma? As diversas leituras que fiz sobre o ensino por investigação baseado nas ideias de Anna Maria Pessoa de Carvalho (2014), Andréia de Freitas Zompero (2016) e Carlos Eduardo Laburu (2016), me conduziram a usar a metodologia de ensino por investigação como forma de poder alcançar os objetivos que proponho neste trabalho.

Portanto, na tentativa de superar os desafios inicialmente citados, proponho motivá-los inicialmente por meio da realização de uma oficina sobre a construção de

um motor *Stirling* por acreditar que dessa forma possa haver maior interação e envolvimento entre os alunos e entre eles e o professor e, a partir daí, através do fortalecimento dessas relações, os alunos possam se sentir mais confiantes e motivados para construir conceitos sobre a primeira lei da Termodinâmica sob a perspectiva do ensino por investigação.

1.1 MOTIVAÇÃO

A motivação para este trabalho surgiu a partir de observações quanto às dificuldades dos alunos durante aulas sobre Termodinâmica. Além de estarem visivelmente desinteressados e desmotivados, eles apresentavam grandes dificuldades em compreender conceitos físicos abstratos de Termodinâmica por meio de aulas teóricas apenas.

Essa constatação me fez refletir sobre a metodologia de ensino que estava sendo aplicada. Foi quando me questionei: o que poderia ser feito para modificar aquele ambiente de desinteresse, desmotivação e dificuldades de aprendizagem? Portanto, propus aos alunos que construíssem máquinas térmicas, dentre elas uma máquina a vapor, um conversor termoelétrico e um motor Stirling. De imediato, os alunos demonstraram interesse na ideia, logo a turma foi dividida em grupos e cada um deles pôde escolher uma das máquinas propostas para construí-las. Percebi que o simples fato de ter proposto algo diferente do que estava sendo feito até então despertou a curiosidade e o interesse em querer saber que tipo de máquinas eram aquelas e como poderiam ser construídas. Portanto, foi solicitado que eles realizassem uma pesquisa individual e por escrito na internet sobre o tipo de máquina térmica que eles teriam escolhido, com o objetivo, nesse primeiro momento, de informá-los sobre os tipos de materiais e ferramentas necessárias à sua construção, dentre outras.

Na aula seguinte, a maioria dos alunos que realizaram a pesquisa informativa sobre as máquinas térmicas fez comentários otimistas na medida em que perceberam ser totalmente possível construir tais máquinas, pois os materiais eram de baixo custo e de fácil aquisição.

Após a construção, ficou evidente que a máquina que chamou mais atenção, despertando a curiosidade e o interesse dos alunos, foi o motor Stirling, razão pela

qual foi utilizado nesse trabalho como ponto de partida para motivar, investigar e construir conceitos relativos a Primeira Lei da Termodinâmica.

1.2 JUSTIFICATIVA

Os fundamentos do ensino de Física no Ensino Médio, através dos Parâmetros Curriculares Nacionais¹ - PCN (2008), sugerem um conjunto de competências a serem alcançadas para a área de ciências. “Todas estão relacionadas às três grandes competências de representação e comunicação; investigação e compreensão; e contextualização sociocultural” (PCN, 2008, p. 52). Com relação às competências de investigação e comunicação, podemos citar algumas características:

Desenvolver a capacidade de investigação física, classificar, organizar, sistematizar, identificar regularidades, observar, fazer hipóteses, relacionar grandezas, compreender a Física presente no mundo vivencial e nos equipamentos e procedimentos tecnológicos, além de construir, investigar situações-problema e avaliar (BRASIL, 1999, p. 61).

De acordo com os PCN (2008), no ensino médio a Física deve garantir que a competência investigativa resgate o espírito questionador, a vontade de conhecer o mundo em que se habita, não apenas de forma prática, como aplicação imediata, mas expandindo a percepção do mundo, com a intenção de propor novas questões e, quem sabe, encontrar soluções.

Nessa perspectiva, segundo Carvalho et al. (1999), a ideia central de qualquer atividade deve partir do princípio de que um aprendizado significativo dos conhecimentos científicos requer que os alunos participem na (re) construção dos conhecimentos que, frequentemente, se transmite já elaborados. As recentes investigações científicas mostram que:

Os estudantes desenvolvem melhor sua compreensão conceitual e aprendem mais acerca da natureza das ciências quando participam em

¹ Apesar de existirem novos documentos nacionais para educação brasileira, os PCNs seguem sendo um bom referencial para o ensino de Ciências, de uma maneira geral, e de Física, especificamente, uma vez que se coadunam com as proposições da Base nacional comum curricular na competência específica 1 da área das ciências da natureza e suas tecnologias.

investigações científicas, em que haja suficiente oportunidade e apoio para reflexão (HUDSON, 1992, *apud*, CARVALHO et al., 1999, p.10).

Para tanto, o ensino – considerando os pressupostos do ensino investigativo em articulação com as proposições dos documentos nacionais da educação, no que se refere aos conteúdos de Física térmica – deve proporcionar o estudo sobre o funcionamento das máquinas térmicas, o conceito de calor como energia em trânsito, a obtenção de trabalho por meio do calor e os processos nela envolvidos.

Nesse intento, a proposição de um modelo para o ensino por investigação materializado em um roteiro de atividades experimentais com dicas e orientações para o professor e um caderno de atividades para os alunos pode promover o aprofundamento de pesquisas na área do ensino nessa perspectiva e a multiplicação de alternativas para o desenvolvimento de habilidades, bem como a motivação e melhoria da aprendizagem de conceitos na área das ciências da natureza e suas tecnologias, oferecendo aos professores condições de se apropriar deste estudo e aplicá-lo nas escolas e salas de aula.

1.3 OBJETIVO

O objetivo geral deste trabalho é de elaborar um material que sirva de orientação para construir conceitos sob a perspectiva do ensino por investigação que leve a compreensão da Primeira Lei da Termodinâmica.

Para alcançar esse objetivo, são propostos os seguintes objetivos específicos:

- ✓ Produzir um material contendo atividades para os alunos e orientações para o professor, permitindo, assim, que se construa conceitos sob a perspectiva do ensino por investigação, relativos à Primeira Lei da Termodinâmica;
- ✓ Realizar uma oficina - construção de um motor *Stirling* - utilizando roteiros produzidos para o professor;
- ✓ Elaborar duas atividades investigativas, uma com o *kit* experimental (Figura 17) e outra com o motor *Stirling* (Figura 16);
- ✓ Avaliar a atividade investigativa, aliada à experimentação, como metodologia efetiva na aprendizagem de conceitos de termodinâmica de acordo com as orientações do caderno produzido para o professor.

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está formada por sete capítulos:

No primeiro capítulo, é feita uma introdução sobre o que motivou o estudo sobre a primeira lei da Termodinâmica, além das justificativas e objetivos deste trabalho.

No segundo capítulo, é apresentada uma revisão da literatura que procurou relacionar o ensino por investigação, a primeira lei da Termodinâmica e o motor *Stirling* como forma de melhorar a aprendizagem de conceitos de Física.

O terceiro capítulo – além de embasar o referencial teórico sobre o ensino por investigação, o papel do professor e do aluno em uma proposta investigativa – é fundamentado também em conceitos sobre a primeira lei da termodinâmica e do motor *Stirling*.

No quarto capítulo, apresentamos de forma sucinta o produto educacional desenvolvido neste trabalho. Foi realizada uma descrição da oficina sobre a construção do motor Stirling e das atividades investigativas, utilizados como recursos para motivar e investigar conceitos de termodinâmica.

O quinto capítulo discorre sobre a metodologia utilizada na aplicação deste trabalho, caracterização do público alvo, local, percurso da pesquisa e detalhamento da primeira e segunda etapas, bem como a sistematização do conteúdo, comunicação de resultados e avaliações.

No sexto capítulo, temos os resultados e discussões acerca de atividades realizadas durante a primeira e a segunda etapa.

No sétimo capítulo, as considerações finais, baseadas nos resultados, mostram que o material elaborado com o objetivo de orientar a realização de atividades investigativas sobre a primeira lei da termodinâmica, por meio do motor Stirling, atingiu seus objetivos de motivar, investigar e construir conceitos.

CAPÍTULO 2

REVISÃO DE LITERATURA

Esta revisão de literatura objetiva mostrar vários trabalhos já realizados sobre ensino por investigação, motor *Stirling*, termodinâmica e quais as contribuições desses trabalhos no ensino de Ciências.

Pedroso et al. (2017) fizeram uma análise relacionando o ensino investigativo à primeira lei da Termodinâmica. O foco do seu trabalho foi procurar compreender como ocorre a etapa inicial de problematização e a dinâmica da solução em uma sequência de ensino por investigação. Os resultados mostraram que a etapa de problematização foi primordial para que os alunos, durante a etapa investigativa, levantassem hipóteses para solucionar o problema proposto. Portanto, a conclusão foi de que a etapa de problematização verdadeira deve sempre partir de uma pergunta que possibilite a participação ativa e que os incentive a respondê-las.

Gomes (2014) fala sobre a importância da construção de máquinas térmicas como elemento facilitador para compreender conceitos de termodinâmica. Segundo o autor, esse trabalho foi capaz de despertar o interesse dos alunos em construir máquinas térmicas e em ver o resultado final de seu trabalho. Foi verificado também que alunos que na maioria das aulas tinham problemas de indisciplina ou ficavam dispersos passaram a realizar o trabalho. Outro acontecimento que merece destaque foi a participação dos grupos para solucionar os problemas que surgiram durante as atividades através do despertar do trabalho em equipe e cooperação dos mesmos. O mesmo autor fala da motivação que este trabalho foi capaz de proporcionar aos alunos.

Em seu trabalho sobre princípios de termodinâmica para o ensino de Física envolvendo atividades experimentais com o motor *stirling*, Bolzan (2017) revela que, apesar de as máquinas térmicas fazerem parte do cotidiano dos alunos, seu trabalho revelou que a maioria dos alunos não sabia o que era uma máquina térmica, revelando um distanciamento entre a Física e o cotidiano dos estudantes. Nesse sentido, dialogar, problematizar em sala de aula e fazer com que os alunos participem das atividades é uma maneira eficiente que potencializa o processo de aprendizagem dos estudantes. Este trabalho se relaciona com esta dissertação na medida em que todas

as atividades sobre a construção de experimentos e de conceitos serão realizadas por meio do diálogo e da participação dos estudantes.

D'Ambrósio; Neto (2013) comentam sobre as potencialidades das atividades experimentais investigativas numa experiência de ensino de Ciências realizada com alunos do Ensino fundamental II (6º ao 9º ano) em uma escola privada na cidade de Jundiaí-SP. No trabalho, ele propõe que os alunos identifiquem o refrigerante “normal” e o refrigerante “zero”. De acordo com os autores, os alunos tiveram autonomia para investigar e, durante a sua realização, o papel do professor foi estimular e de orientar. Tal trabalho se relaciona diretamente com esta dissertação, pois nas atividades que desenvolvemos os alunos também terão liberdade para investigar os conceitos que os levem à compreensão da primeira lei da Termodinâmica e o papel do professor também será de incentivar e orientar.

Um trabalho bem completo sobre ensino por investigação abordando os temas termodinâmica e óptica foi realizado por Ambrósio (2014), que trata do uso de atividades de laboratório aberto com experimento e por meio do tipo questão aberta. A mesma autora fala sobre a importância de que todas essas atividades partam de situações contextualizadas com situações do dia a dia dos estudantes. Esse trabalho se relaciona com esta dissertação por reforçar a importância das atividades experimentais e do uso de questionários com questões abertas.

Assis (2009) propõe a utilização do motor *Stirling* de forma contextualizada em aulas de Física como estratégia para que se possa, por meio de questionamentos, esclarecer os subsunçores presentes na estrutura cognitiva dos alunos. Em seu trabalho, foi verificado também que a utilização do motor *stirling*, mediante uma estratégia metodológica fundamentada na teoria de Ausubel, viabilizou a aprendizagem significativa do ciclo de Carnot. Este trabalho se relaciona com esta dissertação na medida em que acreditamos que a construção do motor *stirling* mediante a estratégia metodológica baseada no ensino por investigação também pode viabilizar a compreensão da primeira lei da Termodinâmica.

Sereia; Piranha (2008) falam do uso de atividades práticas investigativas aplicadas em turmas do ensino fundamental com altos índices de indisciplina. Segundo as autoras, com o uso dessas atividades, foi possível observar melhora significativa da disciplina, cooperação e interesse dos alunos, além deles se mostrarem mais participativos, questionando e comentando. Foi observado também que quando o assunto era abordado de outras formas que não por meio de práticas

investigativas, não se mostrava interesse em fazer quase nenhum tipo de questionamento.

O Ensino por investigação não se restringe ao Ensino de Física. Na sua dissertação de mestrado, Lima (2012) afirma que o ensino investigativo pode ser um ótimo aliado para aprender conteúdos mais complexos.

Em um artigo sobre a elaboração de aulas práticas investigativas de citologia para alunos do primeiro ano do ensino médio, Cobalchini (2017) fala sobre a importância das atividades investigativas em promover maior participação dos alunos e, com isso, melhorar o rendimento escolar. A autora relata também que no início os alunos sentiram algumas dificuldades porque estavam acostumados a receber o conteúdo pronto. Depois de algumas aulas, começaram a participar ativamente dos debates, questionar, levantar hipótese e argumentar. Esse trabalho se relaciona com esta dissertação por mostrar que algumas dificuldades podem surgir em virtude dessa mudança de metodologia.

Em seu trabalho, Hernandes et al. (2002) apresentaram, no IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, um relato e uma análise do desenvolvimento de uma atividade experimental. O ponto de partida foi um problema do cotidiano dos alunos: explicar o funcionamento automático das lâmpadas de iluminação pública e, logo a seguir, incentivou os estudantes a discutir, levantar hipóteses e buscar explicações. Segundo os autores, a partir dessa atividade experimental e da metodologia empregada, verificou-se que essa estratégia foi capaz de estimular a participação ativa dos alunos, despertar a curiosidade e o interesse e propiciar a construção de um ambiente motivador e desafiador tanto para os alunos quanto para o professor.

Mostacchio & Pereira (2014), realizou um trabalho que teve como objetivo produzir uma sequência didática sobre máquinas térmicas usando metodologias diferenciadas. Diferentemente dos procedimentos do ensino tradicional, o seu trabalho teve como ponto de partida fazer um diagnóstico através da aplicação de um questionário investigativo para verificar os conhecimentos e melhor estruturar os conteúdos sobre máquinas térmicas e as leis da termodinâmica. Dessa forma, foi possível verificar que houve um interesse maior dos alunos pela disciplina de Física por essa metodologia ter apresentado os conteúdos de forma contextualizada, permitindo a participação e o envolvimento dos alunos na construção do seu conhecimento.

CAPÍTULO 3

REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 O ENSINO DE CIÊNCIAS POR INVESTIGAÇÃO

O ensino de ciências possui um histórico composto por diversas fases que podem ser chamadas de tendências. Durante o período compreendido entre a segunda metade do século XIX até os dias de hoje, o ensino de Ciências exibiu diferentes objetivos em virtude dessas tendências, que ocorreram devido às mudanças na sociedade em diferentes épocas, que estavam de alguma forma relacionadas a aspectos políticos, históricos e filosóficos.

Muitas dessas tendências não tiveram destaque no Brasil, diferentemente de alguns países da Europa e nos estados Unidos. Uma dessas tendências é o ensino por investigação, conhecido como *inquiry*, influenciado pelo filósofo e pedagogo americano John Dewey. Essa tendência era uma maneira de promover o desenvolvimento do raciocínio, de habilidades cognitivas dos estudantes, além da cooperação entre os alunos. Podem ser encontradas na literatura algumas denominações para o *inquiry*, como, por exemplo, ensino por descoberta, aprendizagem por projetos, questionamentos, resolução de problemas, dentre outras (LABURU; ZOMPERO, 2016).

As ideias de John Dewey deram suporte para que fosse usada a metodologia de investigação no ensino de Ciências. O conceito central de Dewey, que influencia diretamente no ensino de Ciência, é a “experiência”, termo frequentemente mal interpretado, pois é comum pessoas associarem a experiência a aulas práticas e como solução para o ensino de Ciências. A título de exemplo, as aulas deveriam ser experimentais, ao contrário de se trabalhar a memorização de conteúdo. Por esse motivo, compreender a experiência dessa maneira não está de acordo com as ideias do filósofo (LABURU; ZOMPERO, 2016).

Apesar de a didática ter avançado bastante, de modo geral o ensino de ciências tem sido realizado através de proposições científicas na forma de definições, leis e princípios exibindo verdades, sem problematização e sem diálogo. Nesse modelo tradicional, são restritas as chances e oportunidades de realizar investigações e de argumentar sobre os assuntos e fenômenos em estudo. Como resultado, os alunos

não aprendem conteúdos sobre as ciências e fazem representações inadequadas sobre a ciência como ação cultural e social (MUNFORD; LIMA, 2007).

Em busca de alternativas para a melhoria do ensino, os parâmetros Curriculares nacionais (1999) afirmam que é necessário dar ao ensino de Física novas dimensões, isso quer dizer: possibilitar um ensino contextualizado e adaptado à vivência de cada aluno. É preciso apresentar uma Física que esclareça, por exemplo, o funcionamento de máquinas térmicas e a realização de trabalho. Uma Física cujo significado o estudante possa compreender no mesmo momento em que ele aprende e não em um momento posterior:

É preciso discutir qual física ensinar para possibilitar uma melhor compreensão do mundo e uma formação para a cidadania mais adequada. Sabemos todos que, para tanto, não existem soluções simples ou únicas, nem receitas prontas que garantam o sucesso. Essa é a questão a ser enfrentada pelos educadores de toda escola, de cada realidade social, procurando corresponder aos desejos e esperanças de todos os participantes do processo educativo, reunindo através de uma proposta pedagógica clara (PCN, BRASIL, 1999, p. 49).

Para tal, é fundamental levar em conta a vida do aluno, sua realidade de perto ou distante, os objetos e fenômenos como eles verdadeiramente enfrentam ou as pesquisas e problemas que estimulam sua curiosidade. Esse deve ser o ponto de partida e, de certa maneira, o ponto de chegada.

A Física tem um jeito particular de enfrentar o mundo, que se manifesta não só por meio da forma como representa, relata e escreve o real, mas acima de tudo na busca de regularidades, na forma de conceitos e quantificação de grandezas e na investigação dos fenômenos. Entender esse jeito de lidar com o mundo, ou seja, o ensino dessa ciência, envolve habilidades e competências próprias que estão relacionadas à percepção e investigação.

A formação e desenvolvimento dessas habilidades e competências relacionadas ao ensino de ciências, considerando as transformações da sociedade atual, pode auxiliar e promover a autonomia para adquirir conhecimento. Desta forma,

as estratégias de ensino devem ser pensadas nessa perspectiva, visto que o futuro, o saber nas futuras profissões está em elaboração no ensino básico².

Como uma das alternativas possíveis para a motivação e promoção de autonomia, o ensino por investigação tem foco no aluno e sua atividade, tendo como proposição a argumentação, o raciocínio, questionamento, levantamento de hipóteses, comunicação de resultados e debates dos conteúdos em sala através de situações-problema. Essas são as atividades que formam o contexto do que se denomina Ciência.

Para Azevedo (2004), para que uma atividade possa ser considerada investigativa, a ação do aprendiz não pode se limitar à manipulação de objetos ou observação: ela deve ir além e conter características de um trabalho científico: o estudante deve refletir, relatar, argumentar, explicar, elaborar hipóteses, comunicar resultados, o que dará ao seu trabalho características de uma investigação científica. A mesma autora deixa claro que:

É importante que uma atividade de investigação faça sentido para o aluno, de modo que ele saiba o porquê de estar investigando o fenômeno que a ele é apresentado. Para isso é fundamental nesse tipo de atividade que o professor apresente um problema sobre o que está sendo estudado (AZEVEDO, 2004, p. 21).

Para Carvalho (2014), a apresentação de um problema relacionado com o fenômeno que está sendo estudado é uma maneira de fazer o aluno refletir a respeito desse fenômeno, possibilitando um caráter investigativo a esta atividade. Usar um problema como ponto de partida é essencial para que possa ser construído um novo conhecimento, na medida em que “todo conhecimento é uma resposta a uma questão” (BACHELAR, 1996 *apud* CARVALHO, 2014, p.45).

Além disso, Carvalho (1999) lembra que a solução de problemas por meio de atividades investigativas deve ter como fundamento a participação ativa do aluno, de forma que ele seja capaz de pensar, mostrar suas ideias, perguntar e interagir, construindo seu conhecimento.

² LDB - Art. 22. A educação básica tem por finalidades desenvolver o educando, assegurar-lhe a formação comum indispensável para o exercício da cidadania e fornecer-lhe meios para progredir no trabalho e em estudos posteriores.

Segundo a autora, a maneira como os alunos construirão seus próprios conhecimentos acontecerá de forma progressiva na medida em que são estimulados a usar um conhecimento já adquirido na solução de outro problema. Ela classifica a atuação do professor e do aluno em diferentes níveis de envolvimento nas atividades investigativas, conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Graus de Liberdade Professor (P) e Aluno (A) na aula de laboratório.

	Grau I	Grau II	Grau III	Grau IV	Grau V
Problema	-	P	P	P	A/P
Hipóteses	-	P/A	P/A	P/A	A
Plano de Trabalho	-	P/A	A/P	A	A
Obtenção dos Dados	-	A/P	A	A	A
Conclusão	-	A/P/Classe	A/P/Classe	A/P/Classe	A/P/Sociedade

Fonte: Carvalho (2006).

O grau I não é uma atividade investigativa, pois somente o professor participa, caracterizando, dessa forma, uma típica aula tradicional. A partir do grau II, é possível observar características inerentes da cultura científica, de forma que o professor apresenta o problema e ensina seus alunos a elaborar hipóteses e a desenvolver seu plano de trabalho (CARVALHO, 2006).

Orientados pelos professores, os estudantes passam a registrar dados, porém as conclusões não devem ser apenas elaboradas pelos alunos, mas apresentadas e discutidas por toda a sala, salientando que é necessário que todo o conhecimento seja divulgado, como na Ciência. Este é um ponto essencial para o processo de enculturação científica. Os níveis III e IV possibilitam maior liberdade aos alunos e o nível V é o que é proposto nos cursos de mestrado e doutorado, em que o aluno pensa num problema e busca a solução para ele.

Carvalho (2014) estabelece seis momentos para a realização das atividades investigativas.

- ✓ A proposta do problema: O problema deve ser apresentado na forma de uma pergunta que incentive a curiosidade científica dos alunos. É importante que o problema apresentado não seja específico de maneira a promover ampla discussão sobre o assunto abordado.

- ✓ Levantamento de hipóteses: Depois de apresentado o problema, o professor deve incentivar a discussão entre os alunos para que eles possam levantar hipóteses sobre a solução.
- ✓ Elaboração do plano de Trabalho: Depois de levantar as hipóteses, deve-se debater a maneira como será realizado o experimento para resolver a questão. Nesta fase, serão organizados os procedimentos necessários à realização da atividade: a começar pelo material necessário, montagem do experimento e a metodologia que será usada. Sugerimos que haja debate com toda a turma, para que se perceba que nem todas as hipóteses podem ser confirmadas com a realização de um único experimento. Daí a importância de mais de um grupo realizar a mesma experiência, a fim de testar todas as hipóteses levantadas, por meio de mudanças ocorridas no experimento. Após decisão sobre as mudanças, cada grupo deve especificar seu plano de trabalho.
- ✓ Montagem do Arranjo Experimental e Coleta de dados: Nesta etapa, os estudantes deverão manusear o material, o que é essencial para que eles comecem a ver a Física com uma ciência experimental.
- ✓ Análise dos Dados: O objetivo de analisar os dados é obter informações sobre a questão-problema.
- ✓ Conclusão: Na conclusão, é preciso formalizar uma resposta ao problema inicial, debatendo a validade ou não das hipóteses iniciais e as consequências delas derivadas.

3.1.1 O professor e o aluno em uma proposta investigativa

Para que uma proposta seja considerada investigativa, mudanças importantes devem acontecer quanto ao papel do professor e do aluno. Segundo Carvalho (2014), o professor deve ser um mediador na sala de aula: por meio da apresentação de questões, incentivando a elaboração de hipóteses, estimulando a argumentação e a participação ativa dos estudantes na busca de possíveis explicações causais para os fenômenos observados. Modificar a postura tradicional para uma postura investigativa é uma maneira que o professor tem de encontrar meios que permitam entender em que estágio de conhecimento se encontram os alunos.

De acordo com Silva; De Aguiar Júnior (2015):

Na proposta de ensino investigativa, que coloca o aluno em uma posição mais ativa frente à construção do conhecimento, ao contrário do que pode parecer, à primeira vista, o professor não tem sua importância diminuída. (SILVA; JÚNIOR, 2015, p. 7).

O aluno sai de uma posição passiva, deixando de ser apenas um observador de aulas, para se tornar um sujeito que exerce grande influência sobre ela, e não é mais um conhecedor de conteúdo, passando a aprender atitudes e a desenvolver habilidades como argumentar, questionar, interpretar e explicar para os outros alunos da sala de aula, utilizar os conhecimentos adquiridos como forma de justificar as suas ideias.

3.2 MOTOR *STIRLING*

O motor *Stirling* é um motor de combustão externa inventado pelo pastor escocês Robert *Stirling* no ano de 1816, auxiliado pelo seu irmão engenheiro, cujo objetivo era a substituição do motor a vapor, devido aos inúmeros acidentes provocados por essas máquinas. Este motor utilizava ar em vez do vapor como fluido de trabalho. Dessa maneira, evitava-se o risco de explosão dos motores a vapor, bastante comum naquela época. As caldeiras explodiam com muita frequência, fazendo vítimas por causa de problemas nos projetos, péssima qualidade dos materiais, ausência de regras de utilização e manutenção. Portanto, foram esses acidentes, aliados às descobertas científicas e tecnológicas, que levaram Robert *Stirling* a projetar um motor sem caldeira, porém submetido a grandes pressões. O motor *Stirling* foi utilizado pela primeira vez em 1818, com o objetivo de bombear água para uma pedreira e para retirar água de poços (BARROS, 2005).

O motor *Stirling* é diferente dos motores que utilizam combustão interna ou do motor a vapor. Um dos pontos positivos desse tipo de motor é o fato de poder utilizar qualquer fonte de calor como combustível e poder ser mais eficiente do que os motores a gasolina e diesel.

Este tipo de motor é composto por duas câmaras, nas quais existe diferença de temperatura, que aquecem e resfriam o fluido de trabalho de forma alternada, provocando expansão e compressão do fluido de trabalho de maneira cíclica, fazendo

com que os pistões ligados ao mesmo eixo se movimentem, devido ao calor fornecido por meio de uma fonte de calor (AFONSO, 2012).

O motor *Stirling* é considerado uma máquina térmica de ciclo fechado, reversível e cujo ciclo termodinâmico é formado por quatro fases: compressão isotérmica, aquecimento isométrico, expansão isotérmica e resfriamento isométrico.

1→2. Expansão isotérmica – processo em que o ar presente no motor sofre uma expansão isotérmica, absorvendo calor de fontes externas (queima de carvão, velas etc.);

2→3. Resfriamento isométrico – o ar presente no motor transfere calor para o meio externo, mantendo-se a volume constante;

3→4. Compressão isotérmica – processo em que o ar contido dentro do motor é contraído e sua pressão aumenta grandemente, em um processo que ocorre em temperatura constante;

4→1. Aquecimento isométrico – o último processo ocorre a volume constante e envolve transferência de calor da fonte quente para o ar contido dentro do cilindro do motor.

A seguir, está o diagrama (pressão x volume) que representa o ciclo do motor *Stirling* (figura 1):

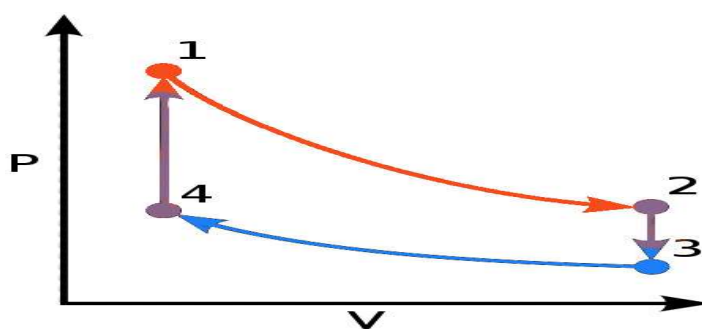


Figura 1 – Ciclo do motor *Stirling*.

Neste trabalho, propomos a construção e a utilização do motor *stirling* em aulas de Física no Ensino Médio mediante estratégia metodológica fundamentada no Ensino por investigação. Acreditamos que a construção desse motor poderá ser utilizada como ponto de partida para motivar, investigar e construir conceitos que levem ao entendimento da primeira lei da Termodinâmica. Utilizando uma máquina térmica que os próprios alunos construíram, o experimento tem potencial capaz de despertar a curiosidade e o interesse deles em querer conhecer como essa máquina funciona e, com isso, facilitar a compreensão de conceitos como calor, trabalho e energia interna,

dentre outros. Através de questionamentos do tipo, o que deve ser feito para essa máquina funcionar? A partir daí o aluno pode perceber que, ao fornecer calor ao sistema, podemos observar a ocorrência de duas situações: um aumento de temperatura e uma expansão do gás. Esse aumento de temperatura representa o aumento da energia interna do sistema e a expansão do gás representa a realização de trabalho. Esse é apenas um exemplo da forma como o motor *stirling* pode ser utilizado na investigação de conceitos de termodinâmica.

Por que o motor Stirling pode ser mais eficiente? Em que situações reais é possível observar sua aplicação?

Os motores de combustão externa que funcionam segundo o ciclo Stirling são os mais eficientes já inventados e podem funcionar com vários tipos de combustíveis. Dentre os vários tipos de motores, os motores Stirling apresentam uma eficiência muito elevada se comparados com os motores de combustão interna, atingindo até 45% de eficiência energética, muito além dos 20% a 30% alcançados por outros tipos de motores, como por exemplo os motores movidos a óleo diesel ou gasolina.

O motor *stirling* é tão funcional que qualquer fonte de calor pode ser usada no funcionamento desses motores, como por exemplo, a chama de uma vela e até mesmo o calor transferido pela palma de uma mão, basta que haja uma diferença de temperatura entre a fonte quente e a fonte fria.

O fato desse tipo de motor ter elevado rendimento se deve a utilização de um regenerador instalado entre as câmaras quente e fria, onde o calor (que seria rejeitado na câmara fria) fica armazenado para a fase seguinte de aquecimento, dando um incremento na eficiência termodinâmica.

O motor Stirling pode ser usado em várias situações reais. Em submarinos são usados devido ao fato de ser silencioso não permitindo ser detectado pelo inimigo enquanto submerso e também pela mesma razão são usados como geradores auxiliares de energia em iates. É aplicado também em sistemas de refrigeração por serem mais ecológicos e eficientes.

3.3 DISCUTINDO CONCEITOS DE TERMODINÂMICA

Há relatos de professores afirmando que os alunos do ensino médio encontram muitas dificuldades em compreender conceitos de termodinâmica. Acredita-se que um dos fatores que podem originar tais dificuldades é o fato de os alunos raciocinarem os conteúdos em função de modelos abstratos e aulas teóricas meramente expositivas, sem o uso da experimentação relacionada com o conteúdo teórico ensinado. Para Bolzan (2017), a relação entre o Ensino Aprendizagem de Física aliado a atividades experimentais é uma forma de diminuir a distância entre da abstração de conceitos com os adventos de fenômenos que somam nosso meio e o cotidiano, ou seja, como um instrumento capaz de aproximar, refletir e perceber.

Sabemos que a termodinâmica estuda a relação entre calor, trabalho e outras formas de energia e que temperatura é um conceito central desse ramo da Física. Desde crianças, temos conhecimento prático sobre esse conceito e o de energia térmica, por exemplo, de que se deve evitar objetos que estejam com temperatura elevada ou sensibilidade ao frio em nosso corpo devido a baixas temperaturas e estar com pouca roupa de proteção ao frio. A Termodinâmica possui uma aplicação muito ampla tanto na ciência quanto na tecnologia, como, por exemplo, na indústria de automóveis e na medicina, dentre outros. Na área de educação, a termodinâmica está presente na sala de aula com uma perspectiva para o Ensino e aprendizagem de Física, sendo esta um componente do currículo escolar essencial para a formação do indivíduo.

A Termodinâmica está relacionada com experimentos nos quais a energia é transformada de uma forma em outra e é transferida de um lugar para outro. Por esse motivo, se faz necessário dividir e dizer a região na qual tem interesse em estudar. A Figura 2 ilustra um gás dentro de um recipiente. Se considerarmos que o gás é o sistema de interesse, o recipiente será, portanto, a fronteira deste sistema e todo o resto será considerado a vizinhança.



Figura 2 – Sistema, fronteira e vizinhança.

Os sistemas podem ser classificados em isolado, fechado e aberto. Sistema aberto é aquele que permite tanto a troca de energia quanto a troca de massa. Sistema fechado é aquele que permite apenas a troca de energia entre o sistema e sua vizinhança. O sistema isolado, por sua vez, não permite trocas de calor nem de matéria, pois suas paredes são impenetráveis a qualquer tipo de troca com o meio externo. A Figura 3 ilustra resumidamente os sistemas aberto, fechado e isolado.

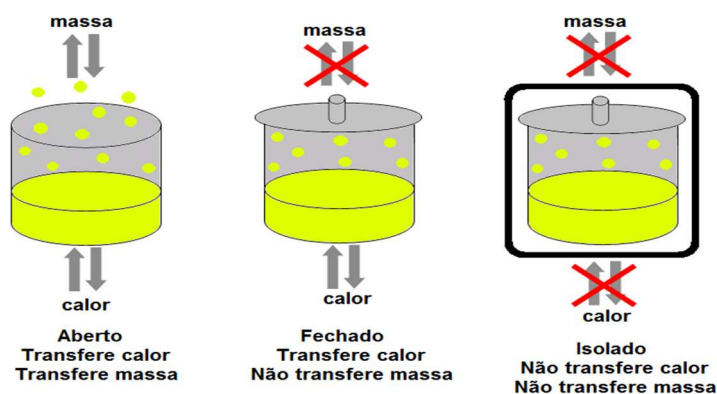


Figura 3 – Sistemas termodinâmicos.

Calor e trabalho são conceitos semelhantes no sentido de que ambos representam formas de se transferir energia. Essas não são propriedades intrínsecas de um sistema, ou seja, não se pode afirmar que determinado sistema “contém” determinada quantidade de calor ou de trabalho. De maneira oposta a propriedades como pressão, temperatura e energia interna, o calor e o trabalho não são propriedades de estado de um sistema, ou seja, eles não são funções de estado. A seguir, mostraremos algumas definições de calor encontradas em livros: “Calor é uma forma de energia que é transferida em razão de uma diferença de temperatura” (TIPLE; MOSCA, 2012, p. 600); “Calor é a energia que flui entre um sistema e sua vizinhança como consequência da diferença de temperatura que existe entre eles” (HALLIDAY; RESNICK, 1994, p.181). Na Figura 4, está representado o sentido do fluxo de calor que ocorre espontaneamente do corpo quente para o corpo frio.

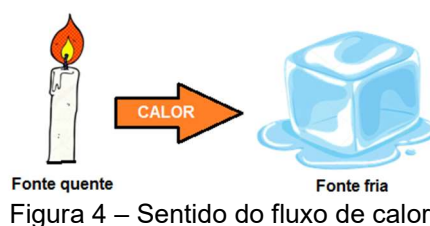


Figura 4 – Sentido do fluxo de calor.

A temperatura é o principal conceito da termodinâmica. Por ser uma palavra tão comum no dia a dia, devido às sensações de quente e frio, a tendência é nos

tornarmos muito confiantes no seu entendimento. Porém, nosso “senso de temperatura” não deve ser sempre confiável. Em nosso cotidiano, o conceito de temperatura está associado à sensação de quente e frio. Apesar de sua utilidade, podemos dizer que este é um conceito empírico baseado nos nossos sentidos e pode variar de acordo com a pessoa e a situação. Em uma atividade experimental que pode ser realizada dentro de sala de aula com a participação de todos os alunos, consiste em utilizar três vasilhas com água, sendo uma com água quente, outra com água gelada e uma terceira com água da torneira (Figura 5).



Figura 5 – Sensação de quente e frio.

O procedimento é o seguinte: primeiro coloque a mão direita dentro da vasilha com água quente e a mão esquerda dentro da vasilha com água gelada. Deixe as mãos submersas durante um minuto. Qual é a sensação? A mão direita sente a água quente e a mão esquerda sente a água fria, o que indica que a água quente está com a temperatura superior à temperatura do corpo, e a água fria está com temperatura inferior à do corpo. Esta medida de temperatura é apenas relativa. Em seguida, retire as duas mãos, ao mesmo tempo, e as coloque na vasilha que contém água da torneira, ou seja, água à temperatura ambiente. Qual a sensação de cada uma das mãos? Você vai perceber que a mão que estava na água quente vai sentir uma sensação de frio e a mão que estava na água gelada sente uma sensação de quente. Portanto, temperatura é a propriedade física da matéria que se manifesta pelas sensações de quente ou frio.

A seguir, citamos a definição de temperatura encontrada em um livro muito utilizado pela comunidade científica: “A temperatura é uma medida quantitativa de uma qualidade macroscópica relacionada com nosso senso de quente e frio” (HALIDAY; RESNICK, 1994, p. 71).

Dando continuidade às discussões relativamente aos conceitos de calor e temperatura, tão importantes neste trabalho, segundo Amaral; Mortimer (1998), existem na literatura três características principais sobre as concepções de calor e

temperatura apresentadas por estudantes relacionadas com a forma como nos expressamos sobre esses fenômenos no dia a dia. O primeiro é a noção do calor como uma substância. O segundo diz que existem dois tipos de “calor”: o quente e o frio; o terceiro é sobre a afirmativa de que o calor é diretamente proporcional à temperatura de um corpo.

Como resultado das duas primeiras características, um corpo quente possui calor ao passo que um corpo frio possui frio. Afinal de contas, é comum dizer que vamos colocar uma pedra de gelo em uma bebida para esfriar essa bebida. Essa forma de se expressar sugere que o gelo transfere “frio” para a bebida. Na ciência, ao contrário do que ocorre no dia a dia, não se admite que existam dois processos de transferir energia, ou seja, o calor e o frio, mas apenas o calor. Isso quer dizer que a bebida esfria porque transfere energia para a pedra de gelo até que o sistema esteja a uma mesma temperatura.

Sendo o calor uma forma de energia, não é uma substância. O entendimento de que o calor é uma substância subjaz à ideia de que um corpo pode conter calor, ou seja, de que calor e frio são atributos dos materiais. Essa ideia foi aceita por vários cientistas no passado, que consideravam de que todos os corpos possuíam em seu interior uma substância em forma de frio invisível, considerando que todos os corpos possuíam em seu interior uma substância fluida invisível e de massa desprezível (denominada calórico), ou seja, um corpo que possuísse maior temperatura teria mais calórico do que um corpo de menor temperatura.

Em relação à terceira ideia, de que o calor é proporcional à temperatura, teve como origem a forma como lidamos com “calor” no dia a dia. Por exemplo, as expressões “faz muito calor” e “calor humano” mostram algumas formas como essas ideias estão arraigadas na linguagem do cotidiano. Afinal, a expressão “faz muito calor” só é falada quando a temperatura está alta. Isso é um dos motivos pelos quais os conceitos de calor e temperatura são interpretados como sinônimos. A temperatura é uma propriedade que nos diz em que direção ocorre o fluxo de energia. Portanto, se a energia flui de um corpo A para um corpo B, podemos afirmar que A está a uma temperatura maior do que B. Essa forma de definir temperatura também estabelece a relação entre calor e temperatura.

Em relação à pressão e o volume, é importante que o aluno perceba, no decorrer das atividades experimentais, que a pressão está relacionada às colisões entre as moléculas do gás e as paredes internas do recipiente, como na Figura 6.

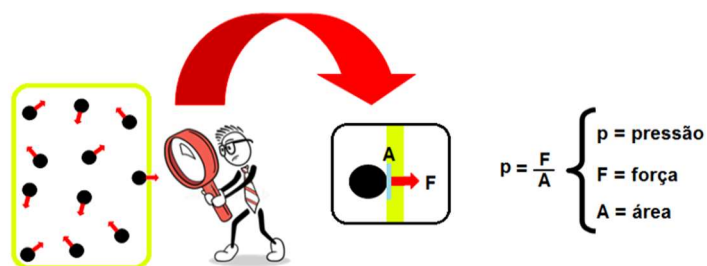


Figura 6 – Relação entre a pressão, força e área.

No que se refere ao volume do gás, é importante que os alunos percebam que o gás não tem forma ou volume próprios, ou seja, o volume do gás é o volume do recipiente que contém o gás. Além disso, eles podem observar, durante a realização das atividades, que o volume pode variar durante a expansão e a compressão do gás.

No que concerne ao trabalho realizado durante variação de volume, os alunos foram incentivados a observar o que aconteceria com a seringa quanto estava sendo aquecida ou resfriada. O gás aquecido ou resfriado se expande ou se contrai, portanto, foi verificado que ocorreu uma variação de volume ΔV e, conseqüentemente, realização de trabalho W e troca de energia mecânica com as vizinhanças. A realização de trabalho durante uma transformação gasosa pode, portanto, ser interpretada como uma medida da energia trocada pelo sistema gasoso com as vizinhanças, sem a necessidade de uma diferença de temperatura.

Agora, consideremos um gás preso em um cilindro de vidro dotado de um êmbolo que pode deslizar sem atrito. As colisões entre as moléculas do gás contra o êmbolo têm como resultado uma força \vec{F} , cujo sentido está mostrado na Figura 7.

Se durante uma transformação gasosa o gás sofrer uma expansão, o êmbolo se desloca na mesma direção e no mesmo sentido da força \vec{F} , de forma que o trabalho W das forças exercidas pelas moléculas do gás é positivo e, portanto, podemos afirmar que o gás realizou um trabalho sobre o meio.



Figura 7 – Trabalho realizado pelo gás durante uma expansão.

No caso de o gás sofrer uma contração de volume, o êmbolo se desloca na mesma direção e em sentido contrário ao da força \vec{F} , de maneira que o trabalho W é negativo e dizemos que o trabalho está sendo realizado sobre o gás.

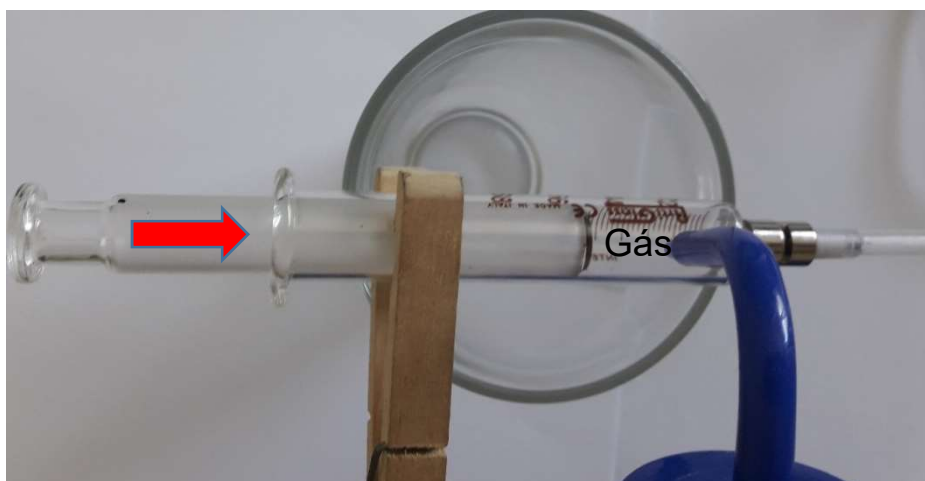


Figura 8 – Trabalho realizado sobre o gás durante uma compressão.

Portanto, podemos concluir que:

- ❖ Se o volume do gás aumentar: $\Delta V > 0 \leftrightarrow W > 0$ (o gás realiza trabalho).
- ❖ Se o volume do gás diminuir: $\Delta V < 0 \leftrightarrow W < 0$ (o gás recebe trabalho).
- ❖ Se o volume do gás não variar: $\Delta V = 0 \leftrightarrow W = 0$

Para obter a expressão que nos permita calcular o trabalho trocado pelo gás durante uma transformação gasosa, simplificaremos, considerando uma expansão isobárica, como mostrado na Figura 9.

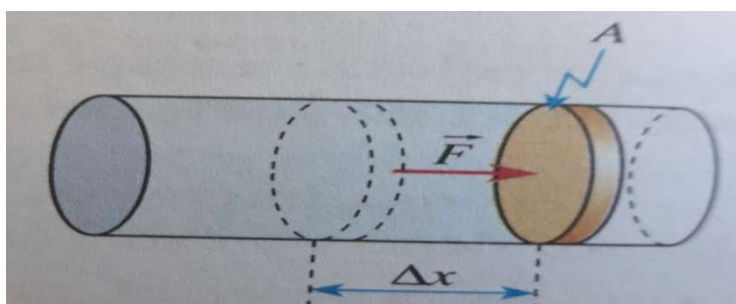


Figura 9 – Cálculo do trabalho.

Considerando $p = \frac{F}{A}$, temos para a força $F = p.A$, expressão na qual F é a força aplicada pelas moléculas do gás sobre o êmbolo e p é a pressão, constante por hipótese, exercida pelo gás. O trabalho W da força constante F no deslocamento Δx

pode ser representado por $W = F \cdot \Delta x$. Sabendo que $A \cdot \Delta x = \Delta V$, onde ΔV representa a variação de volume sofrida pelo gás, podemos calcular o trabalho $W = F \cdot \Delta x = p \cdot A \cdot \Delta V / A$, então podemos finalmente obter o trabalho das forças de pressão exercido pelo gás numa transformação sob pressão constante da seguinte forma $W = p \cdot \Delta V$.

Toda vez que você dirige um automóvel, usa a geladeira e liga um condicionador de ar, você está desfrutando dos benefícios práticos da termodinâmica, que envolve as relações entre calor, trabalho mecânico e também outros aspectos da energia ou transformações entre tipos de energia.

Segundo Sears; Zemansky (2003), a primeira lei da termodinâmica é uma extensão do princípio da conservação da energia. Ela amplia este princípio de forma a incluir as trocas de energia tanto por meio da transferência de calor quanto por realização de trabalho, além de introduzir um dos conceitos mais importantes de termodinâmica, energia interna. Sabe-se que a matéria é constituída de átomos e moléculas e que estas partículas possuem energia cinética e energia potencial. Logo, pode-se definir energia interna como a soma de todas as energias cinéticas somadas a todas as energias potenciais resultantes das interações entre as partículas do sistema.

Para os referidos autores, se considerarmos o caso particular de um gás ideal monoatômico, a energia interna está associada apenas à energia cinética translacional de seus átomos, portanto, quanto maior for a temperatura do gás, maior serão a energia cinética e interna dos átomos.

Quando um sistema sofre uma mudança de estado, a energia interna pode variar de um estado inicial U_i para um estado final U_f e, portanto, sua variação pode ser determinada por $\Delta U = U_f - U_i$. Entendemos que calor é uma transferência de energia. Portanto, quando ocorre uma transferência de calor com um trabalho realizado, a energia interna sofre uma variação total que pode ser medida por:

$$U_f - U_i = \Delta U = Q - W \text{ (primeira lei da Termodinâmica).}$$

De forma simplificada, mostraremos, por meio de um mapa conceitual, a relação entre as grandezas calor (Q), trabalho (W) e variação de energia interna (ΔU) como forma de melhor compreendermos a primeira lei da termodinâmica (Figura 10).



Fonte: <http://becodafisica.blogspot.com/2015/09/>.

Figura 10 – Mapa conceitual sobre a Primeira Lei da Termodinâmica.

Esta equação, de modo geral, mostra que quando uma quantidade de calor Q for fornecida a determinado sistema, uma parcela dessa energia adicionada fica dentro do sistema, fazendo sua energia interna variar de ΔU ; a outra parte deixa o sistema quando realiza trabalho W de expansão contra suas vizinhanças.

É importante lembrar que as grandezas Q , W e ΔU podem ser positivas, negativas ou nulas em diferentes processos.

É importante lembrar que, quando se refere a um gás ideal, de acordo com Sears; Zemansky (2003, p. 188), “a energia interna de um gás ideal depende somente da sua temperatura, não depende do volume nem da pressão”.

CAPÍTULO 4

PRODUTO EDUCACIONAL

4.1 APRESENTAÇÃO

O produto educacional desenvolvido a partir do objetivo geral do Curso do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física é composto de um caderno de atividades para o aluno e outro de orientações para o professor. Cada caderno é dividido em duas etapas. Na primeira, trata-se de uma oficina temática sobre a construção de um motor *Stirling*. A forma como ocorreu a realização dessa oficina teve como finalidades: motivar, despertar a atenção dos alunos, desenvolver a capacidade de trabalhar em grupo e trabalhar habilidades manipulativas. Além disso, o motor *stirling* também foi utilizado na segunda etapa para investigar conceitos de Termodinâmica.

Na segunda etapa, foram realizadas duas atividades experimentais investigativas. Na primeira foi utilizado um *kit* experimental (Figura 17) com o objetivo de investigar os conceitos de calor, trabalho e energia interna. Na segunda, foi utilizado o motor *Stirling* para investigar e estabelecer a relação entre as grandezas calor, trabalho e a variação da energia interna e, com isso, definir a primeira lei da termodinâmica como um princípio de conservação da energia.

Todos os conceitos investigados nesse trabalho foram construídos por meio do diálogo entre aluno – aluno e aluno – professor e teve como ponto de partida um problema e/ou perguntas abertas, como forma de despertar a curiosidade científica dos alunos.

A seguir, serão mostradas as atividades realizadas em cada uma das etapas.

4.2 PRIMEIRA ETAPA – CONSTRUÇÃO DO MOTOR *STIRLING*

Com duas semanas de antecedência, os alunos foram informados sobre a realização da oficina que teria como objetivo a construção de um motor *Stirling*. Neste momento, a turma foi dividida em grupos e foi pedido que eles realizassem, de forma individual e por escrito, uma pesquisa na internet com o objetivo de se informar sobre

este tipo de motor. Um canal de comunicação foi estabelecido entre o professor e alunos por meio de um aplicativo de mensagem instantânea com o propósito de acompanhar a aquisição e organização do material e tirar dúvidas. A seguir, mostraremos os materiais, ferramentas e forma como ocorreu a construção do motor *Stirling*.

4.2.1 Materiais e ferramentas para construção do motor *Stirling*

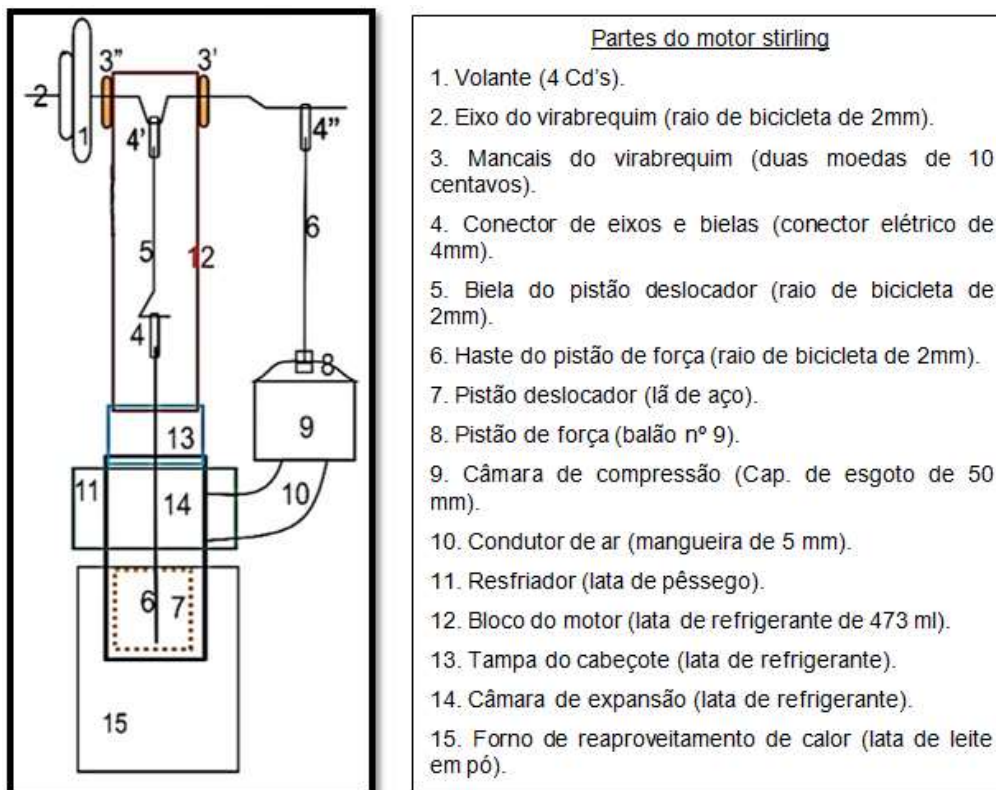
Para a construção do motor, foram utilizados os seguintes materiais e ferramentas como mostrado no quadro 1.

Materiais	Ferramentas
Quatro raios de bicicleta; Uma esponja de aço; Seis conectores de eletricidade; Uma tampa plástica de iogurte de aproximadamente 5 cm de diâmetro; Uma tampa de garrafa pet; Uma lixa. Um tubo de cola de silicone para altas temperaturas; Um cap de esgoto de 50 mm; Quatro latinhas de refrigerante; Uma bexiga de número 10; Uma mangueira de borracha de 40 cm de comprimento e 5 mm de diâmetro; Uma lata de leite em pó; Uma lata de pêssego; Quatro discos de CD; Porcas, parafusos e arruelas	Furadeira; Chave de fenda; Alicates; Martelo; Régua escolar de 30 cm; Estilete de 15 cm; Tesoura.

Quadro 1 – Materiais e ferramentas utilizados na construção do motor *Stirling*.

4.2.2 Guia para construção do motor *Stirling*

Durante sua construção, os alunos foram orientados e guiados por meio da Figura 10, que mostra e especifica todas as partes do motor.



Fonte: <https://motoresStirling.files.wordpress.com/2016/04/slide21.jpg>.

Figura 11 – Especificações das partes componentes do motor *Stirling*.

A seguir, está a explicação sobre o funcionamento do motor Stirling ao longo de todo o ciclo termodinâmico associado a algumas partes do motor como por exemplo, o pistão de trabalho ou pistão de força (nº 8 na Figura 11) e o pistão deslocador (nº 7 na Figura 11). No motor Stirling tipo gama, os motores possuem um pistão deslocador e um pistão de trabalho, alocados em cilindros separados e conectados por um conduto. Neste motor, o pistão deslocador tem função de deslocar o gás contido no cilindro, ocorrendo assim o aquecimento e o resfriamento do gás. O pistão de trabalho é o componente mais importante do motor Stirling. Este, comprime e expande o gás, e desloca-se devido ao aumento ou decréscimo de pressão, impulsionando o volante de inércia.

Durante a compressão Isotérmica, o pistão de trabalho é movimentado para cima, realizando trabalho de compressão sobre o fluido de trabalho, enquanto rejeita-se calor para o sistema de resfriamento, mantendo a temperatura constante. No aquecimento isométrico, o pistão deslocador é movimentado para baixo, fazendo com que o fluido de trabalho se direcione para o espaço de expansão, recebendo calor da fonte externa e elevando a pressão. Na expansão Isotérmica, com o aumento da

pressão do motor, o pistão de trabalho é movimentado para baixo, realizando trabalho, ou seja, este processo é realizado a temperatura constante, sendo que durante a expansão, o gás de trabalho recebe calor da fonte externa. Por último, a compressão isométrica, onde ocorre a rejeição de calor, o pistão deslocador é movimentado para cima, fazendo com que o fluido de trabalho passe para o espaço de compressão, rejeitando calor para o sistema de resfriamento e reduzindo sua pressão até a condição inicial.

Na sequência, será dada a explicação do papel desempenhado pelas partes do motor Stirling:

- ✓ Bloco do motor – consiste no corpo principal do motor, nela são fixados todos os demais elementos que compõe o motor (virabrequim, cabeçote, etc).
- ✓ Biela do pistão deslocador - assegura a transmissão entre o pistão e o virabrequim e transmite a este último o esforço resultante da pressão dos gases no cilindro.
- ✓ As hastes fazem a conexão entre os êmbolos (pistão e deslocador) com suas respectivas bielas.
- ✓ Virabrequim - sua função é a transformação do movimento linear do pistão em um movimento circular do eixo de saída do motor. A rotação do virabrequim que está acoplada ao bloco do motor se realiza pelo intermédio dos mancais do virabrequim.
- ✓ Volante – discos (cd's) fixado na extremidade do virabrequim e cuja inércia permite, sobretudo regularizar a velocidade de rotação.
- ✓ Cabeçote - fixado na parte superior do bloco, delimita juntamente com o pistão o volume da câmara de combustão.

4.2.3 Construção do motor *Stirling*

O motor *Stirling* é um motor de combustão externa e de ciclo fechado que foi construído com materiais de baixo custo e de fácil aquisição, usado para motivar e investigar conceitos de Termodinâmica. Sua construção foi realizada pelos alunos, com orientação do professor, no contraturno, durante quatro encontros, sendo cada um equivalente a duas aulas de 45 minutos. Durante sua construção, os alunos foram orientados sobre os cuidados que deveriam adotar ao manusear os materiais e

ferramentas e incentivados a resolver os problemas na medida em que surgiam. A seguir, mostraremos as atividades realizadas em cada encontro.

4.2.3.1 Primeiro encontro

Durante o primeiro encontro, os alunos construíram o pistão deslocador, o pistão de força, virabrequim, hastes e a biela. A Figura 12 mostra um desses momentos durante a construção de uma das partes do motor.



Figura 12 – Construção do pistão deslocador.

4.2.3.2 Segundo encontro

No segundo encontro, os alunos construíram o bloco do motor, a câmara de expansão, o forno de reaproveitamento de calor, os cabeçotes e o resfriador. A Figura 13 mostra um desses momentos durante a construção do bloco do motor.



Figura 13 – Construção do bloco do motor.

4.2.3.3 Terceiro encontro

No terceiro encontro, foram construídos o volante, os mancais, condutor de ar, a câmara de expansão e também foram feitas a montagem e a vedação de algumas partes do motor. A Figura 14 mostra os alunos participando ativamente da montagem de algumas partes do motor.



Figura 14 – Montando partes do motor.

4.2.3.4 Quarto encontro

No quarto encontro, foram verificados alinhamento e ajustes e foram feitos os primeiros testes de funcionamento do motor. A Figura 15 mostra os alunos montando,

fazendo os ajustes finais para, em seguida, fazer os testes a fim de verificar as condições plenas de funcionamento do motor.



Figura 15 – Construção, montagem e ajustes de partes do motor.

4.2.3.5 Motor *Stirling* finalizado

A Figura 16 mostra o motor *Stirling* construído pelos alunos durante a realização da oficina.



Figura 16 – Motor *Stirling* finalizado.

4.2.3.6 Avaliação

Após a construção do motor *Stirling*, os alunos realizaram uma avaliação da oficina e fizeram também uma autoavaliação.

Nessa etapa, foram feitas perguntas sobre as dificuldades encontradas, participação e interação dos componentes, pontos importantes que contribuíram para sua realização, importância das atividades experimentais e sua satisfação com relação à oficina.

Durante a autoavaliação, foram feitas perguntas sobre sua participação, responsabilidade, respeito à opinião dos outros, motivação e interação com o professor e colegas durante a realização da oficina. O objetivo da autoavaliação é fazer o aluno desenvolver a capacidade de analisar suas aptidões e atitudes, seus pontos fortes e fracos e, a partir daí, ser capaz de refletir sobre o próprio desempenho como caminho eficiente para identificar e corrigir seus próprios erros.

4.3 SEGUNDA ETAPA – INVESTIGAÇÃO

Nessa etapa do trabalho, os alunos realizaram duas atividades experimentais investigativas. Na primeira, eles utilizaram um *kit* experimental (Figura 17) para investigar os conceitos de calor, trabalho e energia interna. Na segunda, eles utilizaram o motor *Stirling* (Figura 16) construído na primeira etapa do trabalho para investigar e estabelecer uma relação entre as grandezas calor, trabalho e a variação da energia interna ($Q = \Delta U + W$), estabelecendo, assim, a primeira lei da Termodinâmica como um princípio da conservação da energia.

4.3.1 Atividade investigativa – 1

Nessa primeira atividade, as investigações foram realizadas em grupos, porém eles foram informados de que a resposta seria individual, ou seja, cada aluno responderia ao seu questionário. Posteriormente, foi distribuído a cada grupo um *kit* experimental (Figura 17) e também um questionário (Figura 25) contendo dois problemas como forma de instigar a curiosidade científica dos alunos e onze questões discursivas, cuja solução estaria condicionada à solução destes problemas. Em

seguida, os alunos foram orientados a manusear o material do *kit* experimental e a discutir com seus pares os arranjos possíveis para solucionar problemas. Vale salientar que, enquanto os alunos estavam discutindo a solução para os problemas, o professor os incentivava a observar bem o que estava acontecendo, pois isso seria necessário para que pudessem, em seguida, responder às onze questões. Durante as discussões ocorridas nessa atividade, o professor ficou atento para poder fazer as intervenções necessárias por meio de resposta aos questionamentos apresentados.



Figura 17 – *Kit* experimental.

As Figuras 18 e 19 mostram os alunos realizando as atividades experimentais para resolverem os problemas 1 e 2, respectivamente.



Figura 18 – Atividade experimental para resolver problema 1.



Figura 19 – Atividade experimental para resolver o problema 2.

4.3.2 Atividade investigativa – 2

Nessa atividade, os alunos utilizaram o próprio motor *Stirling* para investigar conceitos e estabelecer a relação entre as grandezas calor, trabalho e a variação da energia interna. Para chegar ao objetivo desejado, primeiramente eles colocaram o motor para funcionar. Em seguida, foi distribuído a cada aluno um questionário (Figura 26). Posteriormente, foram informados de que, para responder às questões, deveriam observar o funcionamento do motor, discutir com os pares e levantar hipóteses. Na medida em que resolviam as questões propostas no questionário, o professor, atento às discussões, fazia novas perguntas com o objetivo de mantê-los envolvidos na atividade, para que pudessem construir novos conceitos. A Figura 20, mostra alunos observando o funcionamento do motor e investigando conceitos.

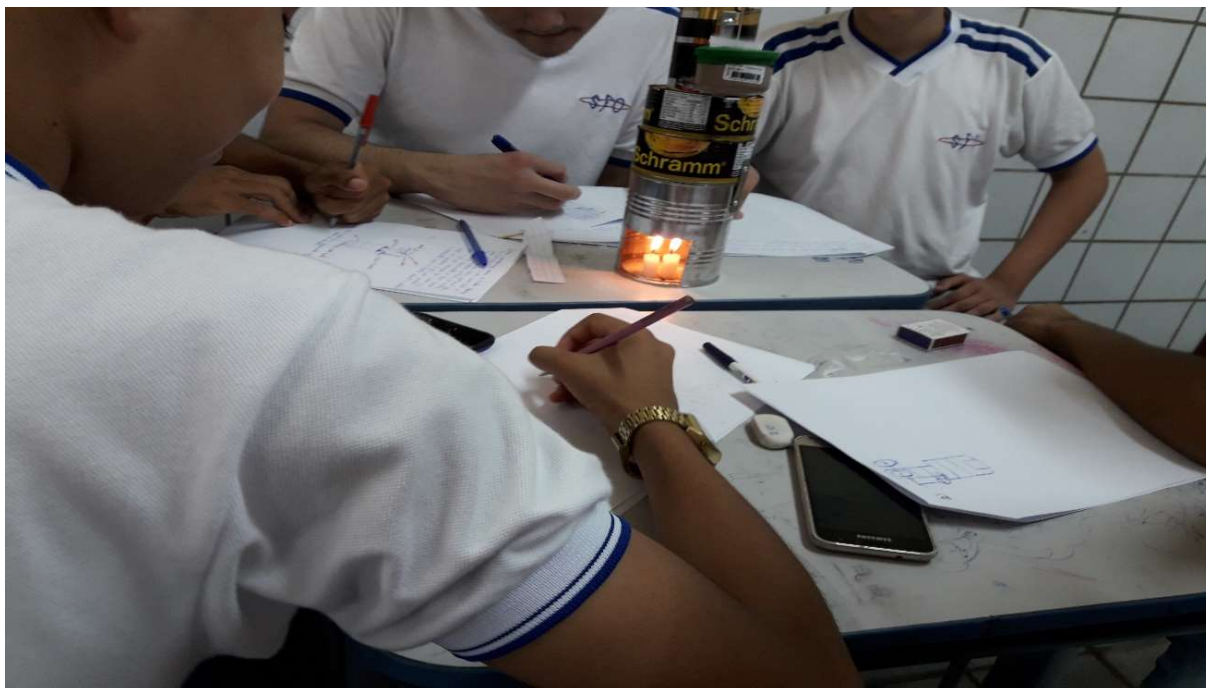


Figura 20 – Investigando conceitos de Termodinâmica.

4.4 SISTEMATIZAÇÃO DO CONTEÚDO

Inicialmente, os alunos foram orientados a prestar atenção às explicações do professor, fazer anotações e tirar todas as dúvidas sobre tudo aquilo que foi discutido durante a etapa da investigação.

Durante a sistematização do conteúdo, foram utilizados três vídeos (YOUTUBE, 2018a; YOUTUBE, 2018b; YOUTUBE, 2018c), o primeiro sobre o trabalho mecânico realizado pelo gás ideal durante uma transformação isobárica, o segundo sobre energia interna do gás ideal e o terceiro sobre a primeira lei da termodinâmica. Foram utilizados também recortes de questões apresentadas pelos alunos durante a etapa investigativa.

Após as atividades, é importante o professor sistematizar os conteúdos trabalhados com os alunos utilizando-se aulas teóricas e interativa, retomando o que foi discutido anteriormente. A Figura 20 mostra o momento em que o professor utiliza os recursos acima mencionados para sistematizar os conteúdos discutidos nas etapas anteriores.



Figura 21 – Sistematização do conteúdo.

4.5 COMUNICAÇÃO DOS RESULTADOS

Nesse momento, os alunos foram orientados a realizar uma apresentação sobre o que aprenderam acerca da primeira lei da termodinâmica. A metodologia de apresentação ficou a cargo de cada grupo, porém ficou estabelecido que durante a apresentação todos deveriam participar. Ficou estipulado que cada grupo teria um tempo de 15 minutos para a apresentação.



Figura 22 – Apresentando trabalhos sobre Termodinâmica.

Para maiores detalhes sobre: etapas desenvolvidas, atividades realizadas pelos alunos, orientações para o professor e o cronograma das atividades podem ser encontradas no produto educacional. No próximo capítulo, exporemos a metodologia usada durante a aplicação do produto educacional e as recomendações para sua aplicação.

CAPÍTULO 5

METODOLOGIA

Este capítulo traz o percurso realizado para pesquisar um processo educativo e, por isso, apresenta uma série de características que fazem com que a análise deva ser realizada por meio de recolhimento planejado e sistemático de dados com a posterior interpretação desses.

5.1 LOCAL DE REALIZAÇÃO E APLICAÇÃO DO PRODUTO

Esse trabalho foi desenvolvido na Escola Estadual Sebastião Fernandes de Oliveira, localizada no bairro do Tirol, na zona Leste da cidade de Natal-RN, com uma turma do segundo ano do ensino médio regular do turno matutino, contando com vinte e oito alunos.

A seguir, será relatado com detalhes como foi realizada cada etapa deste trabalho. Vale salientar que cada etapa se relaciona aos objetivos propostos, como mostrado na Figura 23.

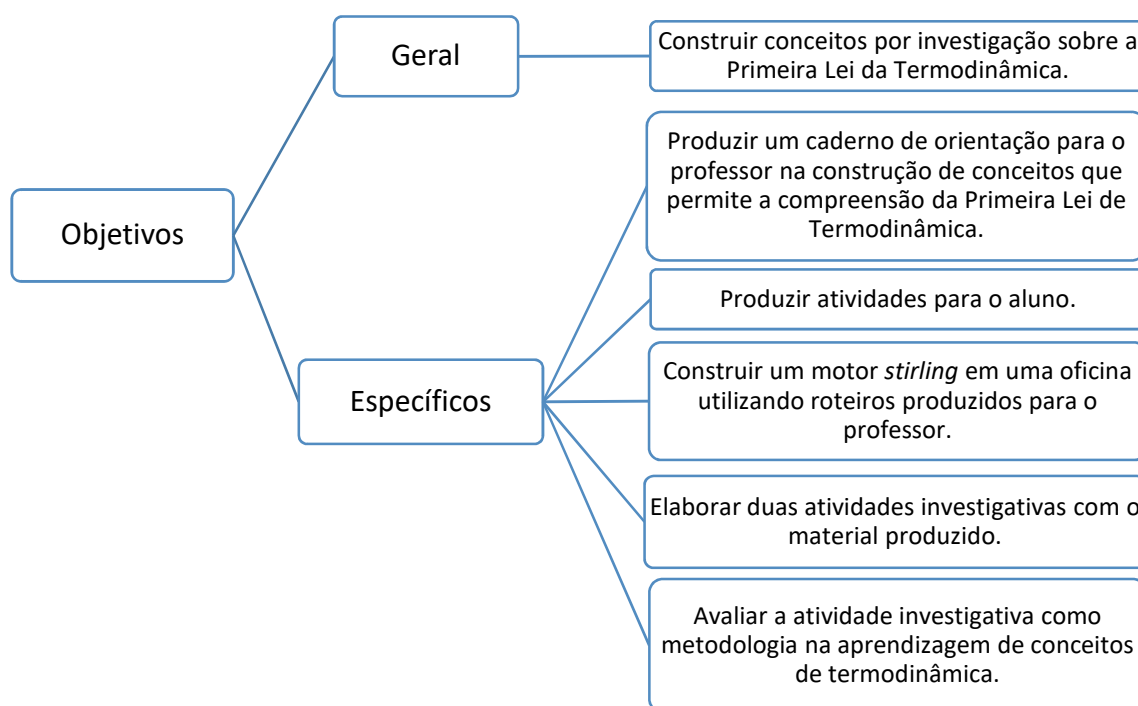


Figura 23 – Resumo dos objetivos propostos no trabalho.

5.2 PERCURSO DA PESQUISA

O tipo de pesquisa usada neste trabalho foi a pesquisa ação, na qual professor pesquisador participa de todas as atividades, orientando a realização das atividades e incentivando o envolvimento e a participação ativa dos estudantes diante da proposta de trabalho teórico-prático (LAVILLE; DIONNE, 1999).

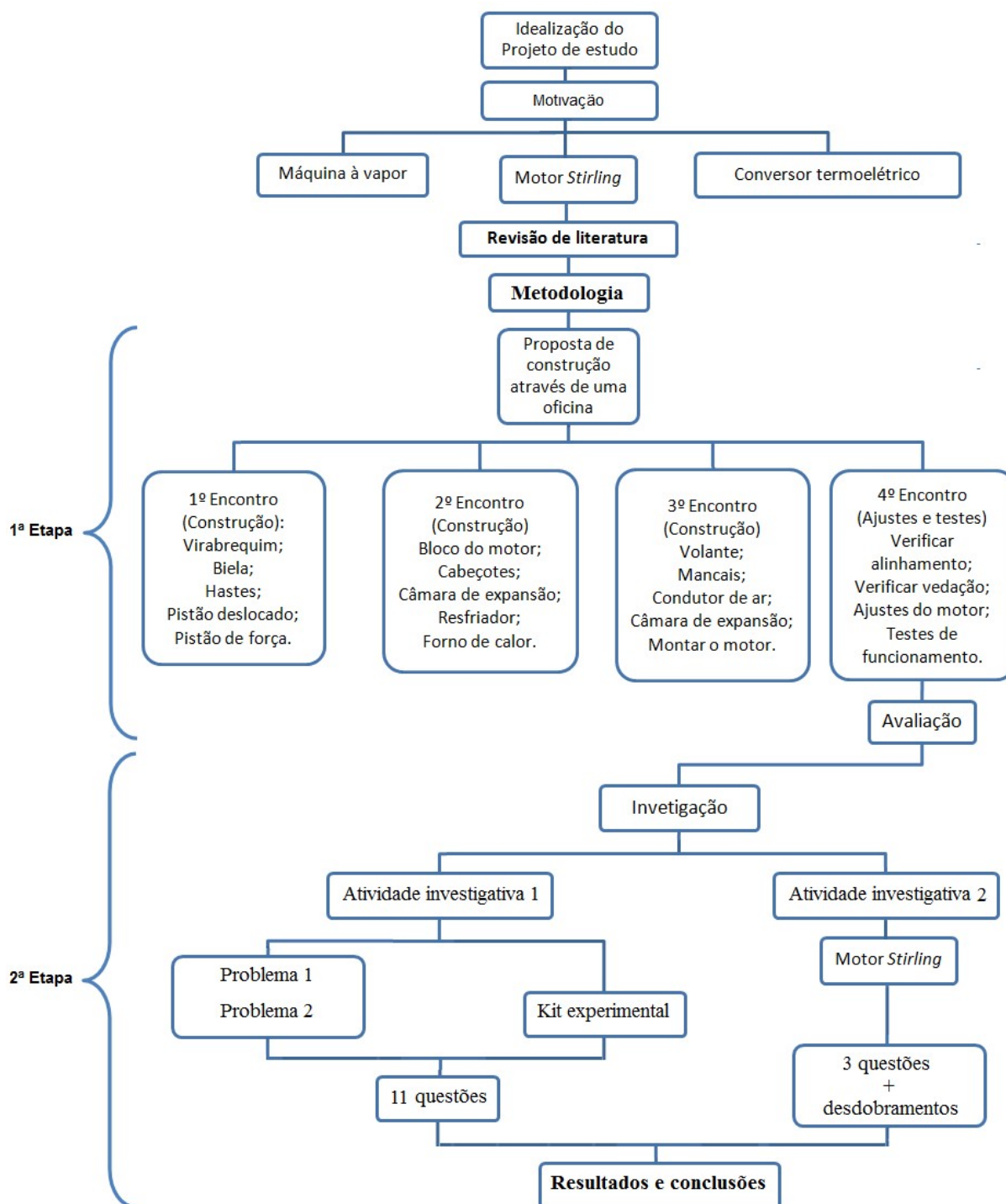


Figura 24 – Percurso metodológico, da idealização até as considerações finais.

5.3 PRIMEIRA ETAPA – OFICINA

5.3.1 Contando a história

Com duas semanas de antecedência, os alunos foram informados sobre a realização da oficina que teria como objetivo a construção de um motor *Stirling*. Portanto, diante dessa proposta, já era esperado que eles fizessem a seguinte pergunta: professor, o que é um motor *Stirling*? Diante desse questionamento, foi solicitado que, individualmente, eles realizassem uma pesquisa por escrito na internet (como no *Youtube*), pois lá poderiam encontrar diversos vídeos tratando desse tipo de motor e como poderiam ser construídos, de modo que ficassem embasados sobre os materiais e ferramentas necessárias à sua construção, dentre outras informações.

Em seguida, a turma foi dividida em cinco grupos e foi informada de que a oficina seria realizada no contraturno e cada grupo ficaria responsável em juntar e organizar todo o material. Por esse motivo, foi criado um canal de comunicação entre o professor e alunos em um aplicativo de mensagem instantânea com o nome “motor *Stirling*”, para tirar dúvidas, acompanhar os trabalhos dos grupos com relação ao levantamento e à organização do material, bem como para garantir que todo o material estaria completo e disponível a fim de se iniciar a construção do motor *Stirling* no tempo programado.

Depois disso, foram realizados quatro encontros, sendo cada um deles com dois tempos de 45 minutos, totalizando oito aulas.

Vale ressaltar que antes de cada encontro os alunos foram informados sobre a organização da sala antes e após a oficina e também sobre as normas de segurança durante os procedimentos de cortar, furar, dentre outros.

Durante todos os encontros, os alunos foram incentivados a ajudar outros colegas com dificuldades de realizar algumas atividades e de pedir ajuda quando em dificuldade. A dinâmica da aula consistiu em promover a maior interação possível entre os alunos e com o professor. Vale ressaltar que a prioridade foi sempre fazer com que os alunos resolvessem os problemas ou desenvolvessem as atividades entre eles, cabendo intervenção do professor orientador somente nos casos em que os alunos não estivessem conseguindo desenvolver as atividades.

Para a realização das atividades, foram utilizados os seguintes materiais e ferramentas como mostrado no quadro 2.

Materiais	Ferramentas
Quatro raios de bicicleta; Uma esponja de aço; Seis conectores de eletricidade; Uma tampa plástica de aproximadamente 5 cm de diâmetro; Uma tampa de garrafa pet; Uma lixa; Um tubo de cola de silicone para altas temperaturas; Cap de esgoto de 50 mm; Duas latinhas de refrigerante, nas quais serão aproveitadas apenas a parte superior de cada latinha; Uma bexiga de número 10; Uma mangueira de borracha de 40 cm de comprimento e 5 mm de diâmetro; Uma lata de leite em pó; Uma lata de pêssego; Quatro discos de CD; Porcas, parafusos e arruelas.	Furadeira; Chave de fenda; Alicates; Martelo; Régua escolar de 30 cm; Estilete de 15 cm; Tesoura.

Quadro 2 – Materiais e ferramentas.

A seguir, será apresentado o cronograma dos encontros realizados para a construção do motor Stirling como mostrado no quadro 3.

CRONOGRAMA DE ATIVIDADES	
ENCONTROS	ATIVIDADES REALIZADAS
Primeiro	Virabrequim, biela, hastes, pistão deslocador e o pistão de força.
Segundo	Bloco do motor, cabeçotes, câmara de expansão, resfriador e o forno de reaproveitamento de calor.
Terceiro	Volante, mancais, condutor de ar, câmara de expansão e montagens, colagens e vedação do motor.
Quarto	Verificação do alinhamento, vedação, ajustes e testes de funcionamento do motor.

Quadro 3 – Encontros e atividades da oficina.

Após a construção do motor *Stirling*, os alunos realizaram uma avaliação das atividades com cinco perguntas relacionadas à oficina (construção e funcionamento do motor) e cinco perguntas relacionadas à sua autoavaliação (comportamento, atitudes e integração com o grupo).

As questões referentes à autoavaliação seguem abaixo:

- Questão 1: Participei ativamente de atividades?
- Questão 2: Senti-me responsável?
- Questão 3: Respeitei a opinião dos outros?
- Questão 4: A oficina me motivou e despertou minha atenção?
- Questão 5: Fiz perguntas quando não entendi?

As questões referentes à avaliação da oficina sobre a construção do motor *Stirling* seguem abaixo:

- Questão 6: O que você destacaria como ponto (s) importante (s) na realização desta atividade?
- Questão 7: Durante a construção, você encontrou alguma dificuldade? Se sim, indique suas dificuldades.
- Questão 8: Há participação e integração dos componentes do seu grupo durante a realização da oficina?
- Questão 9: Você gosta de realizar atividades experimentais?
- Questão 10: Indique seu grau de satisfação com a oficina.

Segue abaixo o percurso metodológico da primeira etapa sobre a construção do motor *Stirling*, apresentado no diagrama esquematizado na Figura 25.

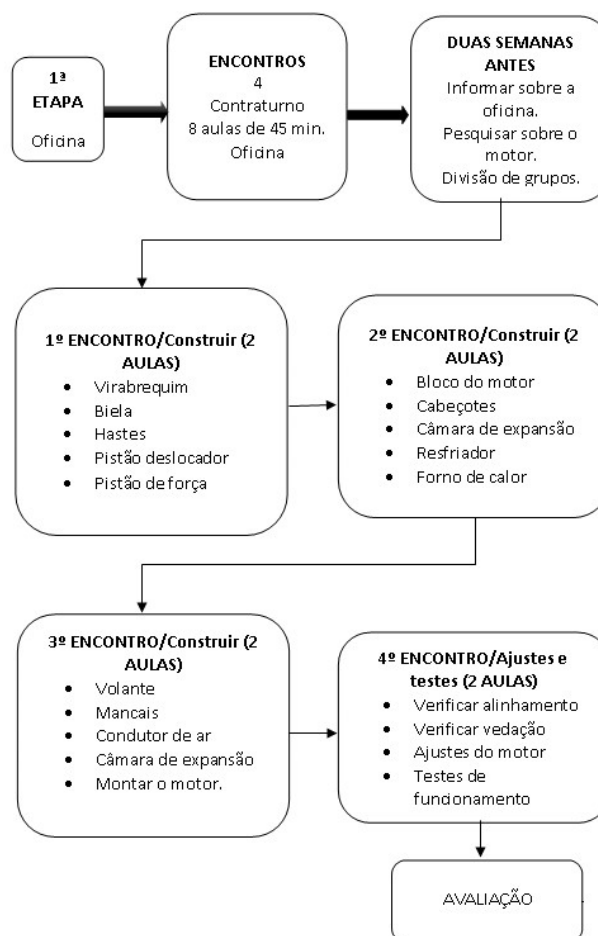


Figura 25 – Percurso metodológico da primeira etapa.

5.4 SEGUNDA ETAPA – INVESTIGAÇÃO

Nessa etapa, foram realizadas duas atividades investigativas, detalhadas a seguir.

5.4.1 Primeira atividade investigativa

Inicialmente, cada grupo recebeu um *kit* experimental (Figura 17) juntamente com um questionário composto por dois problemas e onze questões discursivas (Figura 26). Em seguida, os alunos foram informados de que primeiramente deveriam manusear o material e discutir com os pares os arranjos possíveis para solucionar os problemas inicialmente propostos. Os alunos foram informados de que, durante a resolução desses problemas, deveriam observar o fenômeno, pois deveriam resolver onze questões discursivas baseadas nessas observações. A ideia principal é construir conceitos com base no diálogo entre os próprios alunos, bem como entre eles e o

professor. Portanto, é importante que o professor esteja sempre atento aos diálogos entre os alunos para que possa intervir respondendo aos questionamentos nos momentos de indecisão entre eles.

As questões discutidas consideraram o gás contido na seringa como ideal e que o êmbolo da seringa pode mover-se livremente e sem atrito.

Para essa atividade, foram necessárias três aulas consecutivas de 45 minutos. Inicialmente, os alunos foram divididos em cinco grupos. Para cada grupo, foi entregue um *kit* experimental (Figura 17).



Problema 1	Problema 2
Utilizando os materiais contidos no kit experimental, que procedimentos utilizaremos para movimentar o êmbolo tocando apenas na seringa? Dica: mantenha a seringa imóvel e na posição horizontal.	Resolvido o problema 1, que procedimentos utilizaremos para fazer o êmbolo retornar à posição inicial, sem tocá-lo? Dica: mantenha a seringa imóvel e na posição horizontal.
	
As questões de 1 a 08 se refere ao problema 1 e de 09 a 11 ao problema 2	
<ol style="list-style-type: none"> 1. DESCREVA os procedimentos usados para resolver o problema 1. 2. Quais os conceitos físicos envolvidos nesse experimento? 3. O que foi possível observar nesse experimento? Justifique sua resposta. 4. Como podemos calcular o trabalho Termodinâmico? Justifique sua resposta. 5. O trabalho foi realizado pelo gás ou sobre ele? Justifique sua resposta. 6. Ao fornecer calor ao sistema, o que acontece com as partículas do gás? 7. O que é energia interna de um gás? Justifique sua resposta. 8. A energia interna aumenta, diminui ou permanece constante? Justifique sua resposta. 09. DESCREVA os procedimentos usados para resolver o problema – 2. 10. O trabalho foi realizado pelo gás ou sobre ele? Justifique sua resposta. 11. O que ocorre com a energia interna do gás? Justifique sua resposta. 	

Figura 26 – Questionário da atividade investigativa 1.

5.4.2 Segunda atividade investigativa

Nessa atividade, os alunos utilizaram o próprio motor *Stirling* (Figura 16) como objeto de investigação. Foram orientados a colocar o motor para funcionar. Em

seguida, foi distribuído para todos os componentes do grupo um questionário (Figura 27). Para responderem a esse questionário, foram orientados a observar o funcionamento do motor, discutir com os pares, levantar hipóteses e fazer o registro por escrito das informações.

Vale ressaltar que, no momento da atividade, foram distribuídas três questões elaboradas antecipadamente para cada aluno, mas durante as respostas os alunos foram sendo estimulados a responder sobre outras questões, de acordo com suas respostas, de modo que essas outras questões não foram, necessariamente, as mesmas para todos os alunos.

Na primeira questão, como era de caráter descritivo, não havia a necessidade de desdobramentos, diferentemente das questões dois e três, cujas respostas levavam a formulação de outros questionamentos. Como desdobramentos da questão 2 e como forma de continuar diálogo, foram feitos os seguintes questionamentos:

- O que é uma máquina térmica?
- Dê exemplos de máquinas térmicas.
- Ocorre transformações de energia? Descreva.

Com relação ao desdobramento da questão 3, foi feito o seguinte questionamento:

- Qual é a relação matemática entre as grandezas Q , ΔU e W ?

Questão 1: Descreva os procedimentos usados para fazer o motor *Stirling* funcionar.

Questão 2: Represente por meio de um desenho ou esquema o motor *Stirling* e IDENTIFIQUE nele a fonte quente, a fonte fria e o fluido de trabalho.

Questão 3: EXPLIQUE o funcionamento do motor *Stirling* usando os conceitos de calor (Q), variação de energia interna (ΔU) e trabalho (W).

Figura 27 – Questionário da atividade investigativa 2.

Após todas essas análises, os alunos foram orientados a discutir e a responder às questões propostas para que pudessem compreender a relação entre calor, trabalho e variação da energia interna, como um princípio de conservação da energia aplicada às máquinas térmicas.

A Figura 28 mostra o percurso metodológico da segunda etapa.



Figura 28 – Percurso metodológico da segunda etapa (Investigação).

5.5 SISTEMATIZAÇÃO DO CONTEÚDO

Para sistematizar o conteúdo e tirar dúvidas dos alunos sobre conceitos de Termodinâmica, foram necessárias duas aulas dialogadas, apresentações em *PowerPoint*, recortes de questões e vídeos sobre Termodinâmica. Durante esses momentos, foram discutidos os conceitos de calor, temperatura, pressão, energia interna, trabalho, princípio da conservação de energia e a Primeira Lei da Termodinâmica.

5.6 COMUNICAÇÃO DE RESULTADOS

Ao final da segunda etapa, cada grupo apresentou um seminário de 15 minutos, quando os alunos relataram o que compreenderam sobre a Primeira Lei da Termodinâmica, sendo necessário utilizar o motor *Stirling* construído por eles para explicar tal fenômeno.

5.7 AVALIAÇÕES

Para a realização do questionário da autoavaliação na primeira etapa (questões de 1 a 5), os alunos foram orientados a atribuir notas de 1 a 10 para as perguntas propostas de acordo com o nível de contentamento: quanto maior a nota maior o contentamento em relação à questão proposta.

Abaixo, seguem os critérios da autoavaliação:

Muito pequeno: de 1 a 3;

Moderado: de 4 a 7;

Muito grande: de 8 a 10.

Para avaliação das atividades realizadas durante a oficina (questões 6 e 7), as questões foram de múltipla escolha e os alunos foram informados de que poderiam optar por mais de uma alternativa. Para as questões 8, 9 e 10, os critérios utilizados foram semelhantes àqueles do questionário da autoavaliação.

Na etapa 2, foram feitas avaliações quantitativas e qualitativas das atividades investigativas 1 e 2. Na análise quantitativa, procurou-se mensurar as respostas dos alunos, ao passo que na qualitativa foi feita uma análise levando em conta as respostas mais frequentes dos alunos de acordo com os erros e acertos cometidos.

CAPÍTULO 6

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados e discussão desse trabalho foram realizados por meio do estudo do produto educacional no ensino da física. O produto educacional é uma proposta de atividade investigativa que pode ter como característica uma oficina temática e atividades investigativas, nas quais podem ser realizadas análises quantitativas e qualitativas para obtenção de resultados (CARVALHO, 2014; ZOMPERO; LABURÚ, 2016).

Este trabalho foi aplicado aos alunos da escola pública com idades entre 15 e 17 anos. Vale ressaltar que os mesmos não tiveram aulas de física no ano anterior o que acreditamos ter dificultado a compreensão de alguns conceitos e interferido nos resultados esperados.

6.1 PRIMEIRA ETAPA – OFICINA

O Gráfico 1 representa os resultados da autoavaliação dos alunos sobre a construção do motor *Stirling*.

As questões referentes à autoavaliação seguem abaixo:

Questão 1: Participei ativamente de atividades?

Questão 2: Senti-me responsável?

Questão 3: Respeitei a opinião dos outros?

Questão 4: A oficina me motivou e despertou minha atenção?

Questão 5: Fiz perguntas quando não entendi?

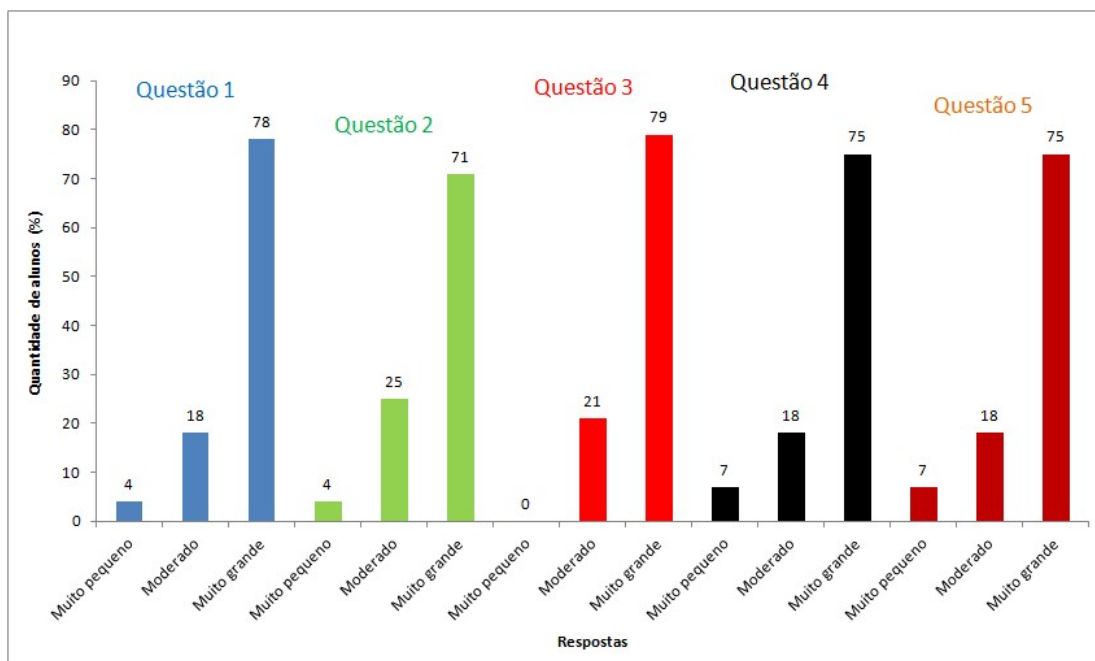


Gráfico 1 – Resultados da autoavaliação.

Na questão 1, a grande maioria dos alunos (78%) considerou-se muito empenhada na realização das atividades. Na questão 2, 71% dos alunos consideraram-se responsáveis. De fato, de maneira geral, foi observado que a turma teve um comportamento bastante responsável. Essa responsabilidade pode estar relacionada à pontualidade, assiduidade, cuidado com os objetos da escola, organização, planejamento e realização das tarefas dentro do grupo.

Na questão 3, os alunos consideraram-se respeitosos à opinião dos seus pares, sem maiores contestações em relação a isso, na medida em que alguns consideraram a opinião do colega moderadamente (21%).

As questões 4 e 5 proporcionaram resultados exatamente iguais entre os alunos, de modo que a grande maioria (75%) considera-se motivada na realização da oficina, sendo exatamente este o motivo pelo qual faziam perguntas para sanar suas dúvidas.

O Gráfico 2 representa uma avaliação dos alunos sobre o que ocorreu durante a realização da oficina na construção do motor *Stirling*.

As questões referentes à avaliação da oficina sobre a construção do motor *Stirling* seguem abaixo:

Questão 6: O que você destacaria como ponto (s) importante (s) na realização desta atividade?

Questão 7: Durante a construção, você encontrou alguma dificuldade? Se sim, indique suas dificuldades.

Questão 8: Há participação e integração dos componentes do seu grupo durante a realização da oficina?

Questão 9: Você gosta de realizar atividades experimentais?

Questão 10: Indique seu grau de satisfação com a oficina.

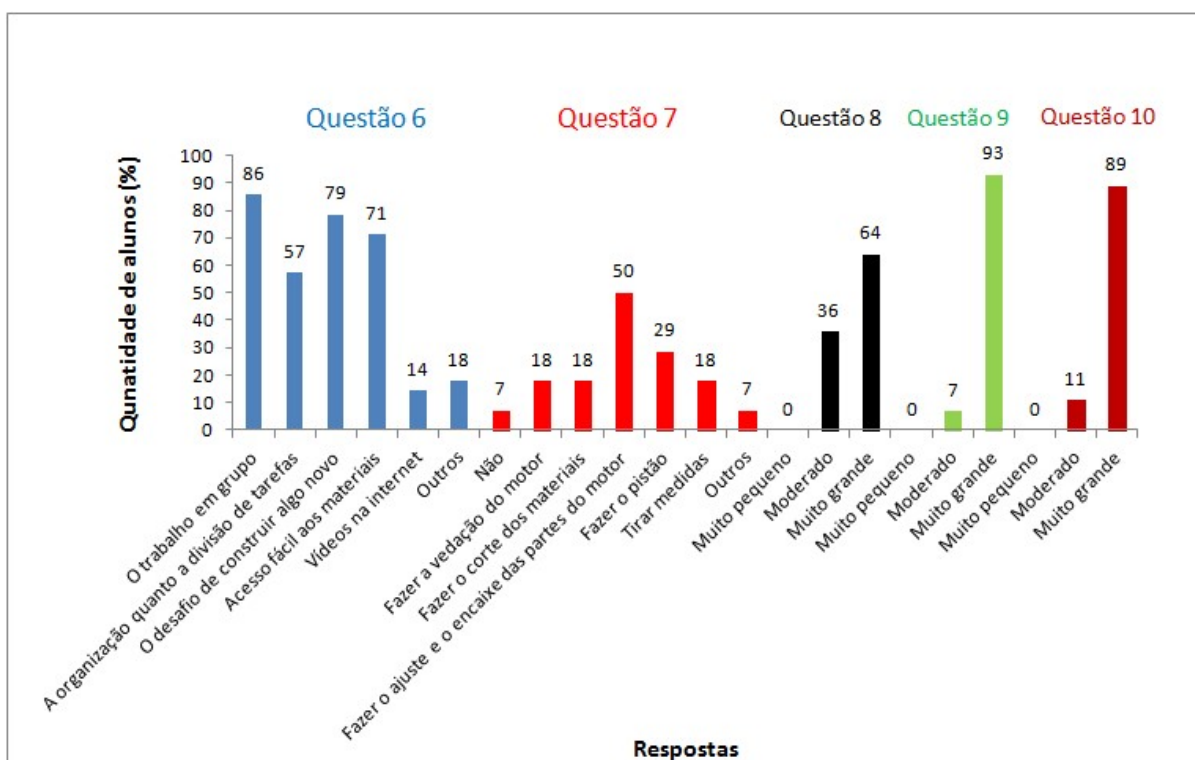


Gráfico 2 – Resultado da avaliação da oficina.

Na questão 6, de maneira geral, os alunos consideraram vários pontos importantes na realização das atividades, tais como: o trabalho em grupo (86%); o desafio de construir algo novo (79%); acesso fácil aos materiais (71%); a organização quanto a divisão de tarefas (57%) (Gráfico 2).

Entretanto, apesar de a internet ser uma grande aliada na construção do conhecimento, apenas 14% dos alunos consideraram os vídeos na internet importantes na realização da atividade. Isso pode ter ocorrido pelos seguintes

motivos: falta de acesso ao computador e à internet; dificuldade no entendimento das explicações dos vídeos.

Ainda na questão 6, foi verificado que 18% dos alunos consideraram como pontos importantes outros fatores, como o tempo e o espaço físico.

Durante a realização da oficina, foi observado que alguns grupos não conseguiram cumprir as atividades no tempo determinado, necessitando de tempo extra. Além disso, a sala de aula, nas condições em que foram realizadas as atividades, não era o ambiente mais adequado.

Na questão 7, os alunos consideraram como pontos de maior dificuldade fazer o ajuste e o encaixe das partes do motor (50%) e fazer o pistão (29%). De fato, esses são os momentos de maior dificuldade na construção do motor.

Na questão 7, também foram destacados como pontos de dificuldade a vedação do motor, o corte dos materiais e a realização de medidas, todos com 18%. Somente 7% dos alunos consideraram que não tiveram nenhum tipo de dificuldade para desenvolver e executar as atividades (Gráfico 2).

Na questão 8, 64% dos alunos consideraram que há integração e participação do grupo no desenvolvimento e na execução da oficina; 36% dos alunos acharam que essa contribuição foi moderada, de modo que alguns integrantes não correspondiam integralmente às atividades propostas. Vale destacar que nem todos os alunos se interessam ou têm aptidão para desenvolver atividades dessa natureza. Dessa forma, pode-se concluir que os alunos consideram que existem integração e participação de todos os integrantes do grupo, mesmo que moderadamente.

Em relação às questões 9 e 10, existe uma relação bastante próxima nas respostas dos alunos, de modo que, de maneira geral, aqueles que responderam que gostam de realizar atividades experimentais (93%) também se mostraram satisfeitos com a realização da oficina (89%). Da mesma forma, aqueles que responderam que gostam moderadamente de realizar atividades experimentais (7%) também se mostraram moderadamente satisfeitos com a realização da oficina (Gráfico 2).

6.2 SEGUNDA ETAPA – INVESTIGAÇÃO

Como forma de fazer os alunos refletirem sobre os conceitos envolvidos na Primeira Lei da Termodinâmica, foram elaborados dois problemas.

A solução desses problemas, assim como a resposta às questões propostas, vem a seguir.

6.2.1 Questionário 1

A descrição do Problema 1 é a seguinte: “Utilizando os materiais contidos no kit experimental (Figura 17), que procedimentos utilizaremos para movimentar o êmbolo tocando apenas na seringa? Dica: mantenha a seringa imóvel e na posição horizontal” (Figura 29).



Figura 29 – Seringa de vidro de 20 ml utilizada no problema 1.

➤ **Questão 01 – Descreva os procedimentos usados para resolver o problema 1.**

Apesar de todos os grupos terem resolvido o problema com sucesso (questão 1), 43% dos alunos descreveram os procedimentos na sequência correta e 57% descreveram os procedimentos de forma aleatória. O tempo médio dos grupos para a resolução desse primeiro problema foi de 20 min.

Abaixo, segue a resposta da resolução desse problema de acordo com o entendimento de um dos alunos (Figura 30).

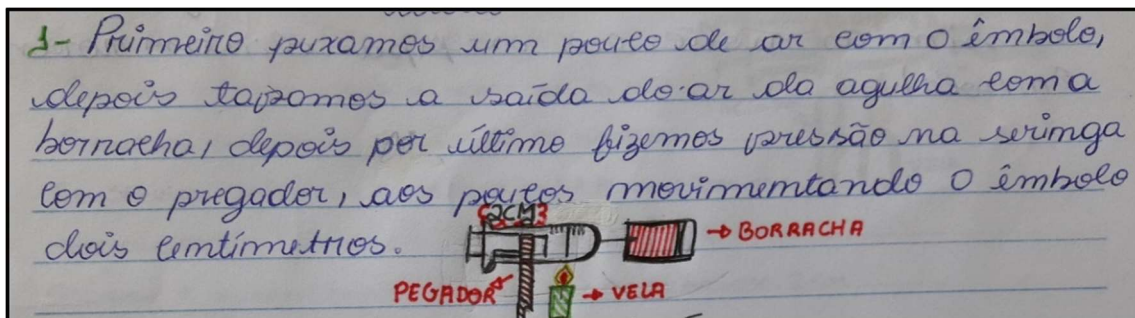


Figura 30 – Procedimentos realizados pelo aluno para resolver o problema 1.

Percebe-se que, além de descrever os procedimentos de maneira correta, o aluno representou os passos que conduziram à resolução do problema através de um desenho ilustrativo, prática comum em 67% das respostas.

O mais importante foi perceber que essa problematização inicial foi capaz de promover a participação ativa dos alunos na busca da solução do problema. Essa participação ficou evidente no momento em que os alunos manuseavam os materiais, procurando arranjos possíveis para resolver o problema e também durante as discussões entre os componentes de cada grupo. A resposta dessa questão baseada na manipulação de materiais é importante para que os alunos comessem a enxergar a Física como uma ciência experimental.

Portanto, o desenvolvimento de habilidades como manusear materiais, observar, discutir, escrever, descrever e desenhar experimentos são características essenciais em uma atividade com viés científico.

➤ **Questão 02 – Quais os conceitos físicos envolvidos nesse experimento?**

Quando questionados sobre quais conceitos físicos se relacionavam com esse experimento (questão 2), os alunos responderam o seguinte (Gráfico 3):

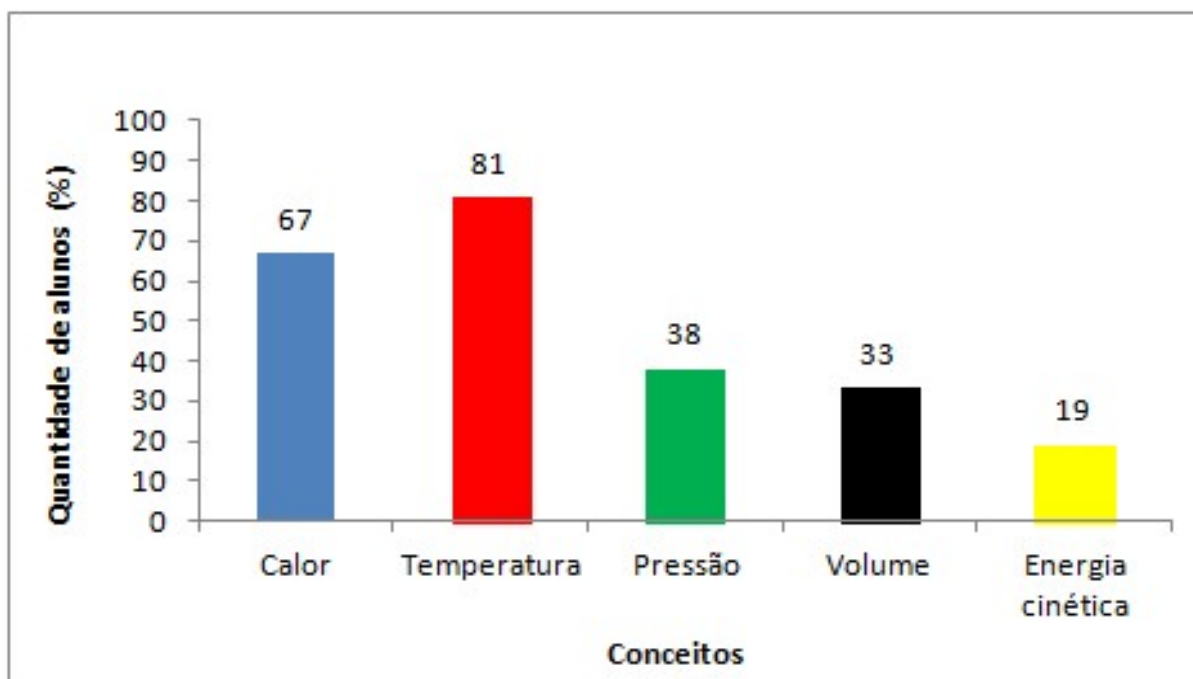


Gráfico 3 – Respostas dos alunos sobre conceitos físicos.

O Gráfico 3, mostra que foram citados pelos alunos como conceitos envolvidos no experimento calor, temperatura, pressão, volume e energia cinética, sendo os mais citados temperatura e calor, com 81% e 67% das citações, respectivamente. Os outros conceitos, apesar de citados, foram relativamente menos mencionados.

Apesar de todos os conceitos citados no Gráfico 3 estarem envolvidos com o referido experimento, vale ressaltar que o fato dos conceitos sobre pressão, volume e energia cinética terem sido menos mencionados, não significa dizer que sejam menos importantes ou que nem existam na formação do conceito que levem à compreensão da Primeira Lei da Termodinâmica.

Um fato que pode estar associado aos dois conceitos que mais se destacaram (temperatura e calor) é que esses conceitos são mais frequentes e comuns no dia-a-dia dos alunos.

Quando foram perguntados sobre o que significa cada conceito, cada um dos 21 alunos responderam individualmente.

Abaixo, segue recorte com algumas respostas de alunos:

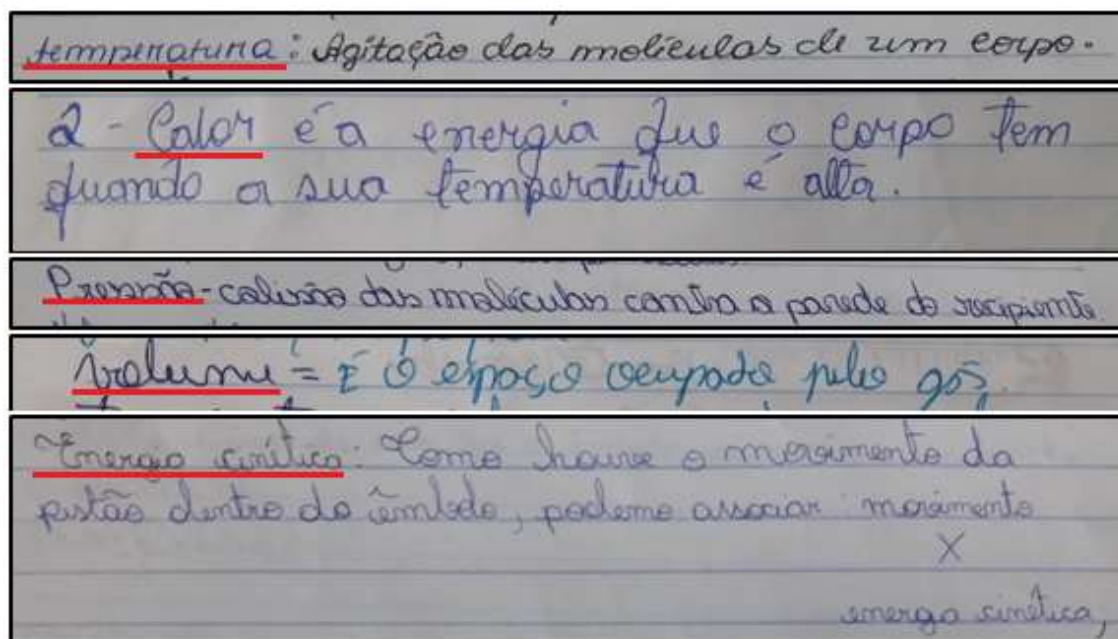


Figura 31 – Respostas dos alunos sobre conceitos.

Para a formação desses conceitos, os alunos apenas dialogaram entre si e com professor, não sendo permitido acessos de consultas à livros, internet etc.

Dos 14 alunos (67%) que citaram calor, 6 o definiram corretamente como sendo “energia térmica em trânsito devido a uma diferença de temperatura entre os corpos”; 7 definiram calor de maneira errada, de modo que 5 associaram calor à agitação térmicas das partículas e 2 disseram que quem tem maior temperatura tem maior quantidade de calor; e 1 não respondeu.

A temperatura foi apontada por 17 alunos (83%), dentre os quais, 11 definiram corretamente relacionando temperatura com agitação térmica das partículas; 4 disseram que temperatura é o mesmo que calor; 2 não responderam.

A pressão foi citada por 8 alunos (38%), dos quais, 5 definiram corretamente como sendo o resultado das colisões entre as moléculas e as paredes internas do recipiente; 3 definiram corretamente como sendo força por unidade de área ($P = F/A$).

O volume foi citado por 7 alunos (33%), onde 5 definiram corretamente como sendo o espaço ocupado pelo gás e 2 não responderam.

A energia cinética foi apontada por apenas 4 alunos (19%) e todos eles definiram corretamente relacionando energia cinética com o movimento das partículas ou do êmbolo.

Observou-se que alguns conceitos como calor e temperatura apesar de terem sido trabalhados no início do ano letivo, muitas dúvidas ainda persistiram. Alguns

alunos entenderam calor como uma propriedade do corpo e não como energia em trânsito. Outros responderam considerando calor como sinônimo de temperatura e há também os que pensam que calor é uma substância. Isso demonstra o quanto é difícil mudar as concepções alternativas dos alunos com relação a esses conceitos.

Com relação a pressão e o volume, por terem sido trabalhados há menos tempo no estudo dos gases perfeitos, todos os que responderam o fizeram de maneira correta.

- **Questão 03 – O que foi possível observar nesse experimento? Justifique sua resposta.**

O gráfico mostra a relação das grandezas físicas que foram observadas em relação a quantidade de alunos.

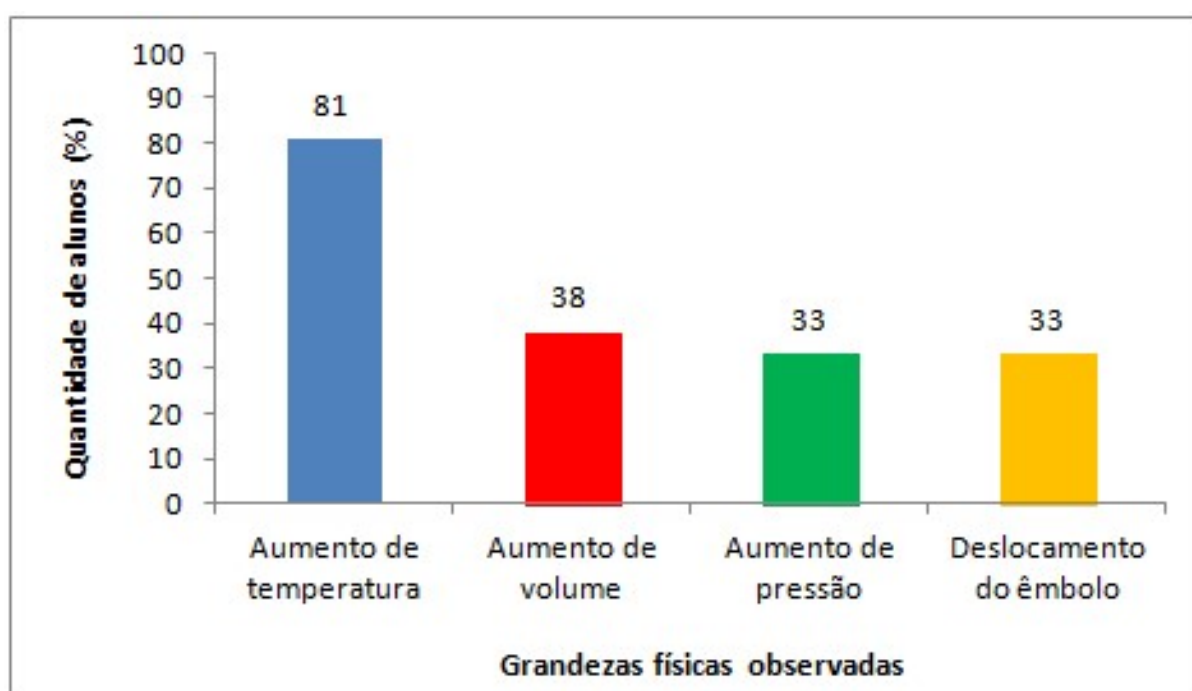


Gráfico 4 – Grandezas físicas observadas e destacadas pelos alunos.

Analisando o Gráfico 4, percebe-se que a maioria dos alunos observou o aumento de temperatura como a principal grandeza física associado à essa experiência (81%). Isso ocorreu devido o contato físico direto (tato) que os alunos tiveram com a seringa durante o seu manuseio.

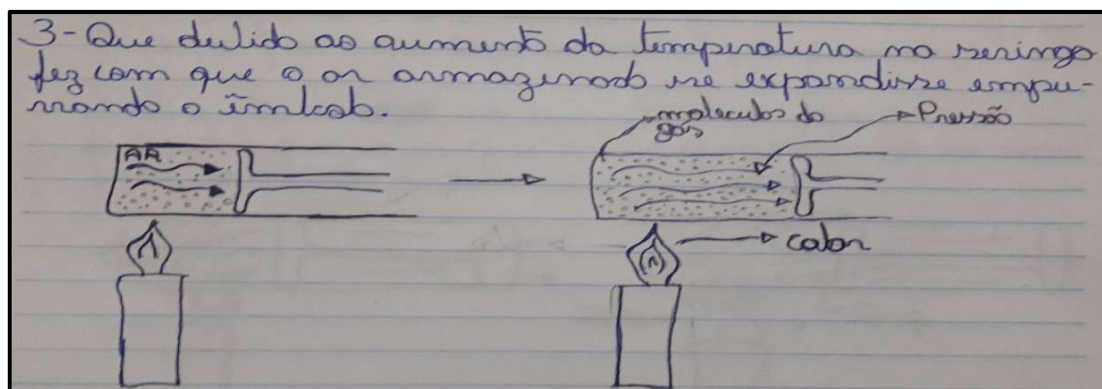


Figura 32 – Respostas de alunos sobre grandezas físicas.

Os alunos também perceberam outras grandezas físicas nesse experimento, mesmo que menos observadas, como aumento de volume (38%), aumento de pressão (33%) e deslocamento do êmbolo (33%), como é possível observar no Gráfico 4. Talvez isso tenha ocorrido porque grandezas físicas como volume e pressão sejam menos perceptíveis. Entretanto, era esperado que a grandeza física deslocamento também fosse destacada tanto quanto temperatura, o que não ocorreu. Uma justificativa para isso é que o contato físico direto (tato) com a seringa e a sensação de elevação de temperatura pode ter provocado uma maior impressão dessa grandeza em relação às outras, tornando-as menos evidentes pelos alunos.

O objetivo principal dessa questão foi promover uma discussão envolvendo o deslocamento do êmbolo e a causa responsável por tal deslocamento e, a partir daí, chegar a relação do trabalho ($W = F \times d$). Portanto, um diálogo foi realizado com o objetivo de discutir a relação entre a força e o deslocamento, e a forma como isso aconteceu foi por meio do seguinte diálogo:

Professor: Qual foi a causa responsável pelo deslocamento do êmbolo?

Alunos: Calor, temperatura e ar.

A partir das respostas dos alunos, o diálogo continuou:

Professor: Preste atenção! Vou fazer uma comparação com a cadeira. Vou empurrar a cadeira... empurrei! A cadeira se deslocou?

Alunos: Sim!

Professor: O que foi que tive que fazer para deslocar a cadeira?

De imediato vários alunos responderam:

Alunos: Aplicar uma força.

Professor: Está certo. Vamos voltar para a questão da seringa. O êmbolo se deslocou?

Alunos: Sim.

Professor: Qual foi a causa responsável pelo deslocamento do êmbolo?

Alunos: A força.

Professor: O que está interagindo, ou seja, em contato com o êmbolo?

Alunos: O ar

Professor: Portanto, quem aplica a força sobre o êmbolo, fazendo-o se deslocar?

Aluno: O ar.

Portanto, a partir das discussões que foram realizadas, foi possível estabelecer, por meio do diálogo, a relação entre a força e o deslocamento, grandezas fundamentais para que seja discutido o conceito de trabalho ($T = F \times d$).

A observação é uma habilidade importante que está presente em toda atividade investigativa. Analisando a resposta dada pelos alunos, eles relatam com detalhes o que acontece com temperatura, volume e deslocamento do êmbolo e o ato de empurrar configura que houve a aplicação de uma força. Portanto, temos uma relação importante entre duas grandezas físicas, a força e o deslocamento.

➤ **Questão 04 – Como podemos calcular o trabalho termodinâmico? Justifique sua resposta.**

Quando os alunos se depararam com a questão quatro, perguntaram imediatamente o que é trabalho. Como já comentado anteriormente, eles não estudaram mecânica, portanto, foi necessário esclarecer que, do ponto de vista da Física, trabalho é uma medida da energia transferida ou transformada através de uma força que realizou um deslocamento. A partir disso, os alunos foram orientados a discutirem entre si e a encontrarem uma equação matemática que relacionasse o trabalho (W), a força (F) e o deslocamento (d), grandezas essas que já tinham sido discutidos anteriormente.

Abaixo, tem-se alguns resultados apresentado por alunos:

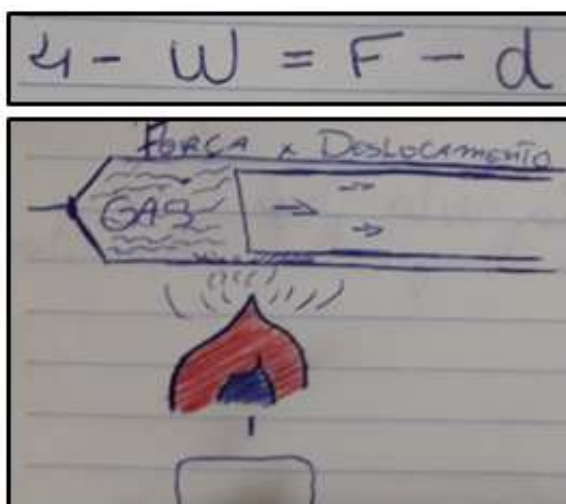


Figura 33 – Equação do trabalho em função da força e do deslocamento.

Observa-se na Figura 33 que um dos alunos representou a equação do trabalho como sendo a diferença entre a força e o deslocamento. Outro aluno representou corretamente a equação de trabalho, através de um desenho, como sendo o produto da força vezes o deslocamento.

Todos os alunos procuraram representar o trabalho realizado por meio de uma equação. De todas as questões analisadas, apenas 2 alunos representaram o trabalho com sendo o produto da força pelo deslocamento. É possível que o baixo índice de acerto se deva ao fato dos alunos não terem tido aulas de Física no ano anterior e, conseqüentemente, não terem tido a oportunidade de conhecer alguns conceitos fundamentais de Física.

Com o objetivo de definir o trabalho em função das grandezas termodinâmicas pressão e volume, e com base nas informações que foram dadas na questão anterior, foi realizado o seguinte diálogo:

Professor: Com relação ao volume do gás, o que vocês observaram?

Alunos: O volume aumentou.

Professor: Nesse caso posso dizer o que o volume do gás variou?

Alunos: Sim, pode.

Professor: Essa variação no volume do gás foi causada por que grandeza (s) física (s)?

Alunos: Força, pressão, temperatura e calor.

Professor: Existe alguma relação entre a pressão e a força?

Alunos: Acho que existe!

Professor: Qual? Lembrem-se de quando estudamos os gases.

Alunos: Sim, $p = F/A$.

Professor: Certo! Agora estabeleça uma relação matemática entre trabalho (W), pressão (p) e a variação do volume (ΔV).

Abaixo, tem-se alguns recortes de respostas apresentados por alunos da equação do trabalho em função da pressão e da variação do volume de acordo entendimentos dos alunos A e B:

A

$$W = \Delta V + \frac{F}{A}$$

ISSO É VOLUME (pointing to ΔV)
ISSO É PRESSÃO (pointing to $\frac{F}{A}$)

B

$$W = P \times V$$

Figura 34 – Equação do trabalho em função da pressão e variação de volume.

A Figura 34 representa algumas equações sobre trabalho (W) com a finalidade de relacionar pressão e variação de volume. Entretanto, apesar dos esforços e diálogo entre os alunos, os mesmos não conseguiram expressar corretamente a equação.

Entretanto, pôde-se perceber que o aluno B foi aquele que mais se aproximou da equação correta de trabalho ($W = p \times \Delta V$), deixando apenas de citar o volume como uma grandeza física variável (ΔV) durante a realização do trabalho.

➤ **Questão 05 – O trabalho foi realizado pelo gás ou sobre ele? Justifique sua resposta.**

Nos recortes abaixo, mostram que os alunos responderam e argumentaram de maneira correta sobre a realização de trabalho (Figura 35).

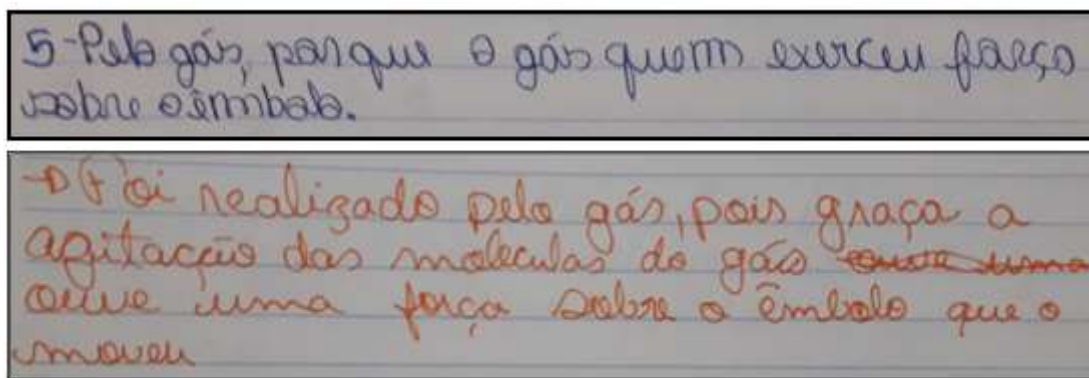


Figura 35 – Respostas de alunos sobre a realização de trabalho.

Foi observado que, nos dois casos (Figura 35), os alunos responderam de forma correta e fizeram a argumentação dentro das expectativas para a resposta, ou seja, o gás ao ser aquecido se expande e aplica uma força sobre o êmbolo, fazendo-o se deslocar, portanto, diz-se que o gás realizou trabalho sobre o meio.

O Gráfico 5 representa a análise geral das respostas apresentadas pelos alunos.

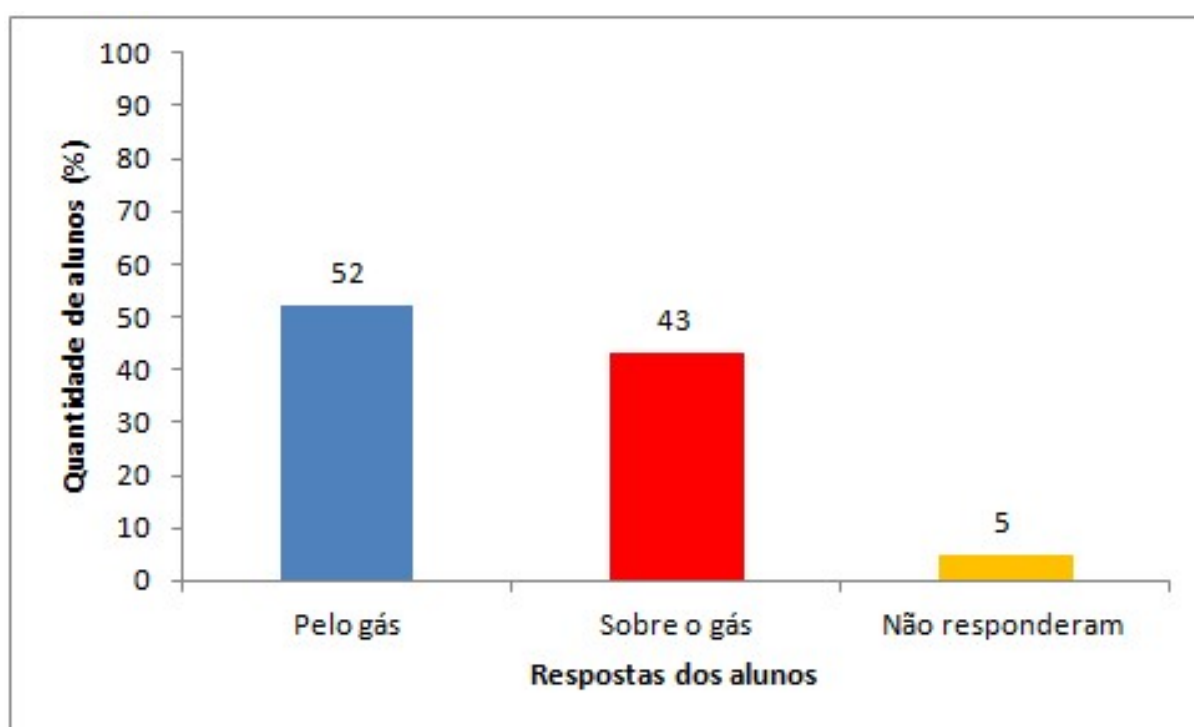


Gráfico 5 – Respostas dos alunos sobre a realização de trabalho.

Da análise feita (Gráfico 5), 52% responderam de maneira correta, 43% responderam errado e apenas 5% não responderam.

- **Questão 06 – Ao fornecer calor ao sistema, o que acontece com as partículas do gás? Justifique sua resposta.**

O Gráfico 6 representa a análise geral das respostas apresentadas pelos alunos.

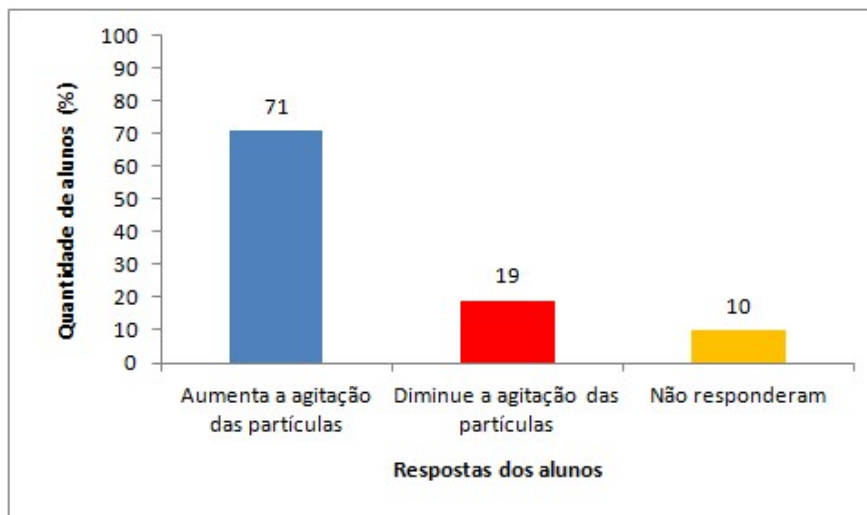


Gráfico 6 – Respostas dos alunos sobre o comportamento das partículas do gás.

Nessa questão, 71% responderam de maneira correta, 19% responderam de forma errada e 10% não responderam (Gráfico 6).

Em duas respostas, os alunos responderam e argumentaram de maneira correta (Figura 36).

Em duas respostas, mostra o entendimento que os alunos A e B tiveram sobre o comportamento que as partículas do gás tiveram ao receberem calor (Figura 36).

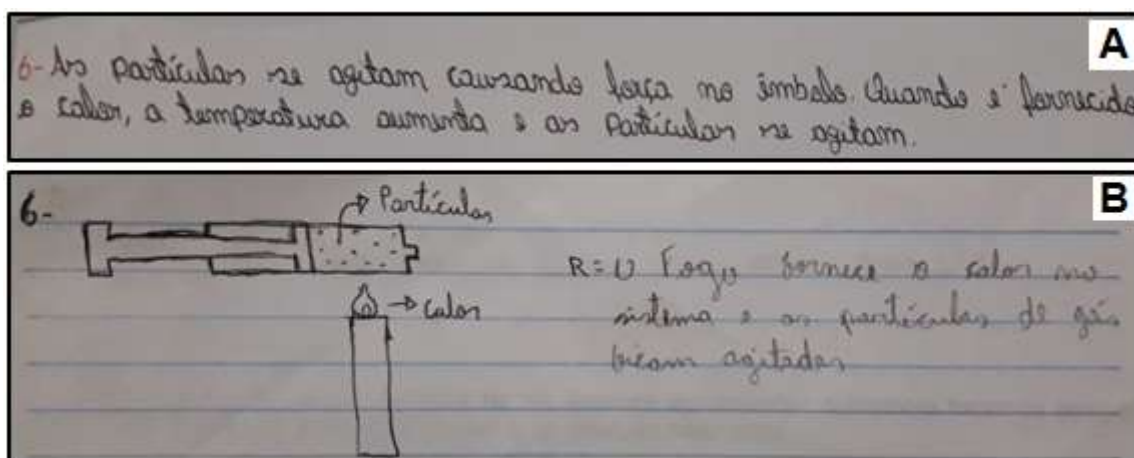


Figura 36 – Respostas de alunos sobre o comportamento do gás.

Verificou-se que nas duas respostas os alunos conseguiram estabelecer uma relação correta entre o calor fornecido e o estado de agitação térmica das partículas do gás. Observou-se na resposta de um dos alunos (aluno A) um maior detalhamento ao afirmar que quando é fornecido calor ao gás, sua temperatura aumenta e, conseqüentemente, as partículas do gás ficam mais agitadas.

Entretanto, também é importante destacar um recurso muito utilizado pela maioria dos alunos, que é o uso de desenhos ilustrativos para dar explicações para os fenômenos, como foi o caso do aluno B. Acreditamos que isso se deve à falta do desenvolvimento da habilidade de escrever. Portanto, podemos afirmar que o objetivo dessa questão foi atingido, que era discutir a relação entre temperatura e o estado de agitação térmica das partículas do gás, relação tão importante para que fosse dado início as discussões sobre o que é energia interna de um gás.

➤ **Questão 07 – O que é energia interna de um gás? Justifique sua resposta.**

Em três respostas, mostra o entendimento dos alunos A, B e C ao responderem e argumentarem sobre o questionamento (Figura 37).

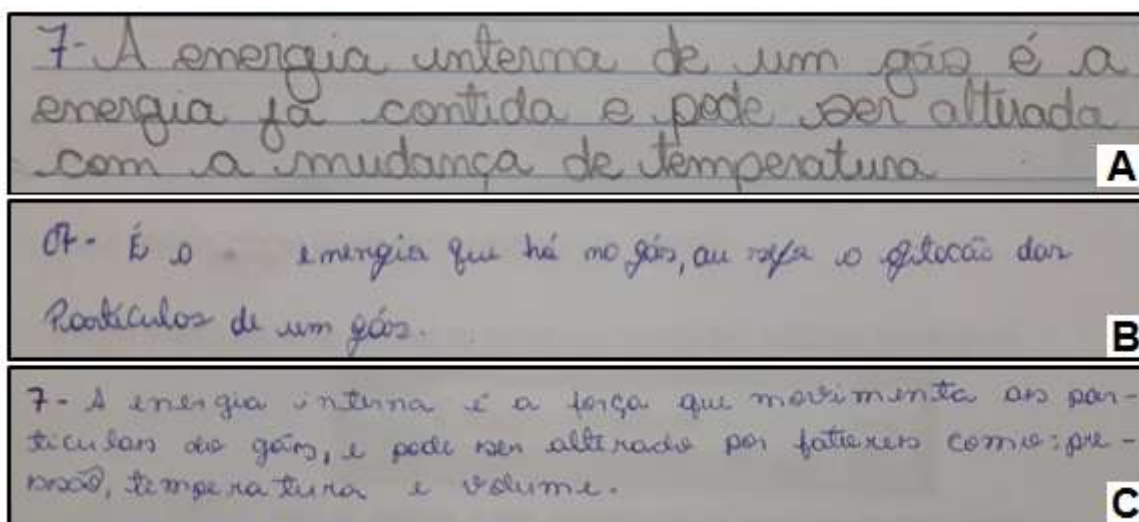


Figura 37 – Respostas de alunos sobre o que é energia interna do gás.

Os alunos A e B responderam de forma correta ao afirmarem que a energia interna de um gás é a energia contida no gás, ou seja, é toda a energia que ele tem armazenado dentro de si. Além disso, o aluno A estabeleceu uma relação importante entre a energia interna e a temperatura ao afirmar que, se a temperatura for alterada,

a energia interna também o será. Portanto, essa afirmação está de acordo com a Lei de Joule que diz: a energia interna de um gás perfeito é função exclusiva da temperatura.

Com relação ao aluno C, houve dois erros: o primeiro ao afirmar que a energia interna é uma força e o segundo ao dizer que a energia interna pode ser alterada pela pressão e o volume. E o certo é que a energia interna de um gás ideal só depende da temperatura e do número de mols.

O Gráfico 7 representa a análise geral das respostas apresentadas pelos alunos.

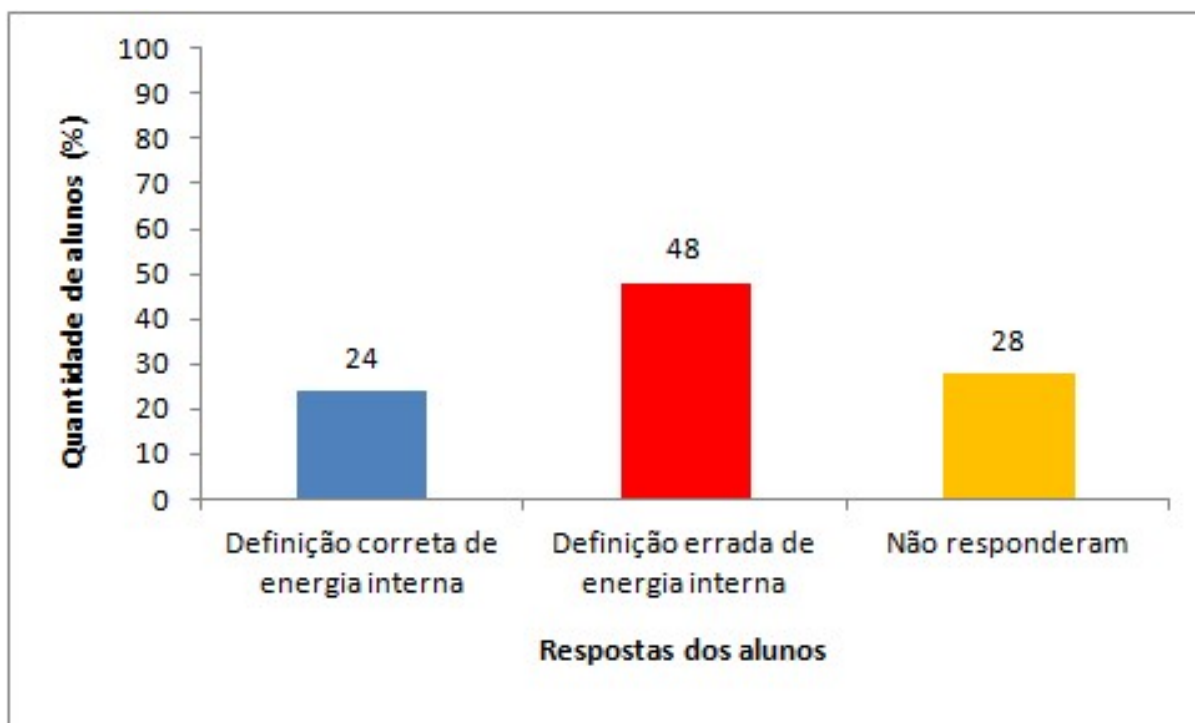


Gráfico 7 – Respostas de alunos sobre a definição de energia interna.

Quando perguntados sobre o que é energia interna de um gás, 48% dos alunos disseram que a energia interna é uma força, 24% disseram que energia interna é uma energia que está contida no gás e 28% não responderam (Gráfico 7).

- **Questão 08 – A energia interna aumenta, diminui ou permanece constante? Justifique sua resposta.**

Recorte de respostas de acordo com o entendimento dos alunos (A) e (B) com relação a energia interna permanecer constante, aumentar ou diminuir (Figura 38).

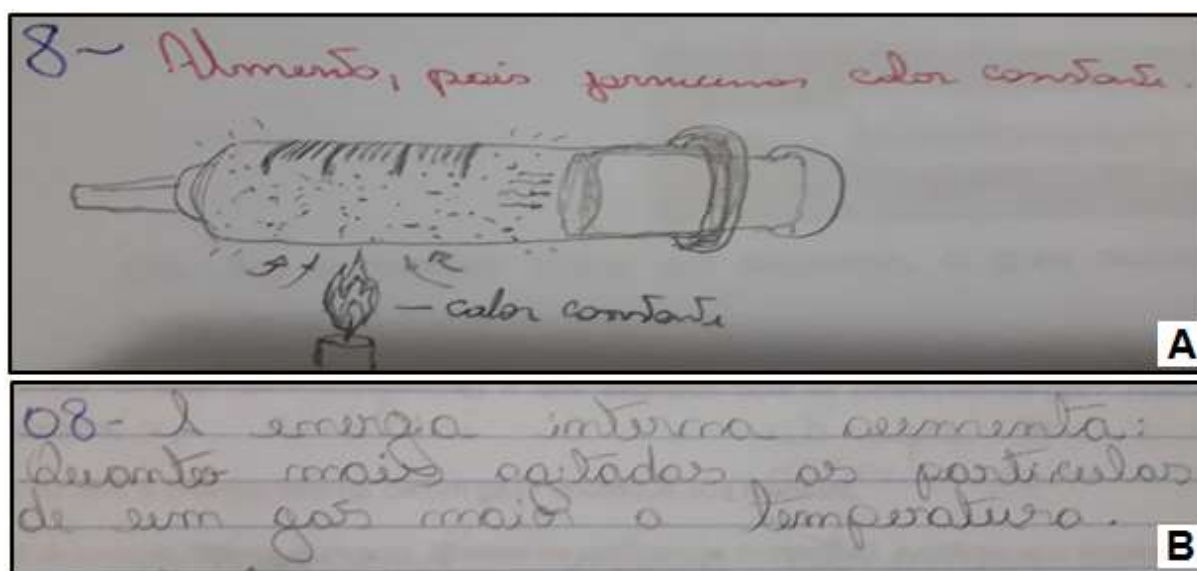


Figura 38 – Respostas de alunos sobre o que ocorre com a energia interna.

As duas respostas estão corretas, porém, é importante destacar que a resposta do aluno B, além de estar correta, estabelece uma relação importante entre a temperatura e a energia interna do gás (Figura 38).

Na análise geral da turma, observou-se que 76% dos alunos afirmaram corretamente que a energia interna aumenta devido ao calor fornecido ao gás e 24% erraram ao afirmar que a energia interna diminui ou permanece constante com o fornecimento do calor.

- **Questão 09 – Descreva os procedimentos usados para resolver o problema-2.**

A descrição do problema 2 é a seguinte: “Que procedimentos utilizaremos para fazer o êmbolo retornar à posição inicial sem tocá-lo?”

A Figura 39 representa a resposta de um aluno sobre os procedimentos usados para resolver o problema 2, representado a resposta da grande maioria dos alunos.

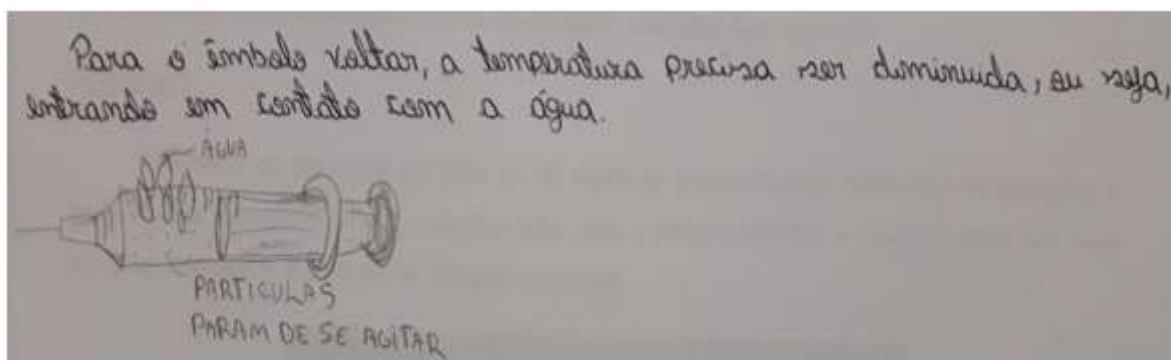


Figura 39 – Procedimentos utilizados para resolver o problema 2.

Na análise geral da turma, verificou-se que todos os alunos realizaram os procedimentos de maneira correta. Entretanto, no momento da descrição desses procedimentos, nem todos conseguiram expressar o que de fato ocorreu. Dessa forma, 86% dos alunos realizaram e descreveram os procedimentos de forma correta, onde foi enfatizado que, para o êmbolo retornar à posição inicial, foi necessário esfriar o gás dentro da seringa, jogando água sobre ela, como mostrado no desenho (Figura 39). Os outros 24% dos alunos não descreveram os procedimentos.

Um erro comum para 38% dos alunos foi considerar que ao esfriar o gás suas partículas iriam parar de vibrar, o que caracterizaria uma situação impossível de acontecer.

Merece destaque, mais uma vez, o fato dessa questão ter promovido uma maior participação e interação entre os alunos enquanto os mesmos manuseavam e discutiam os arranjos possíveis para solucionar o problema.

➤ **Questão 10 – O trabalho foi realizado pelo gás ou sobre ele? Justifique sua resposta.**

A Figura 40 representa algumas respostas de alunos sobre as formas de realização do trabalho, pelo gás ou sobre o gás.

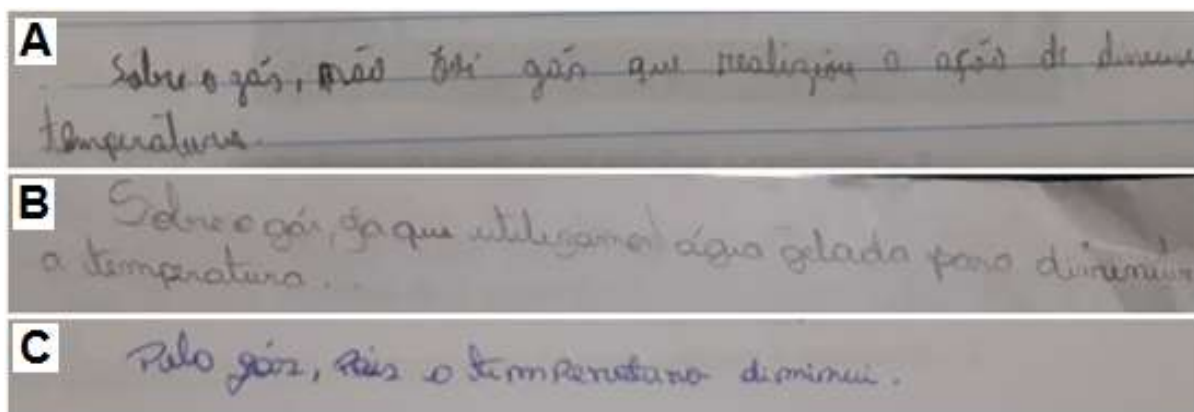


Figura 40 – Respostas de alunos sobre a realização de trabalho.

Na Figura 40, os alunos A e B justificaram corretamente a realização do trabalho, quando afirmaram que o trabalho foi realizado sobre o gás, diferentemente do aluno C, que afirmou erradamente que o trabalho foi realizado pelo gás.

Numa análise geral da turma, verificou-se que 67% responderam de maneira correta, 28% responderam de forma errada e 5% não responderam (Gráfico 8).

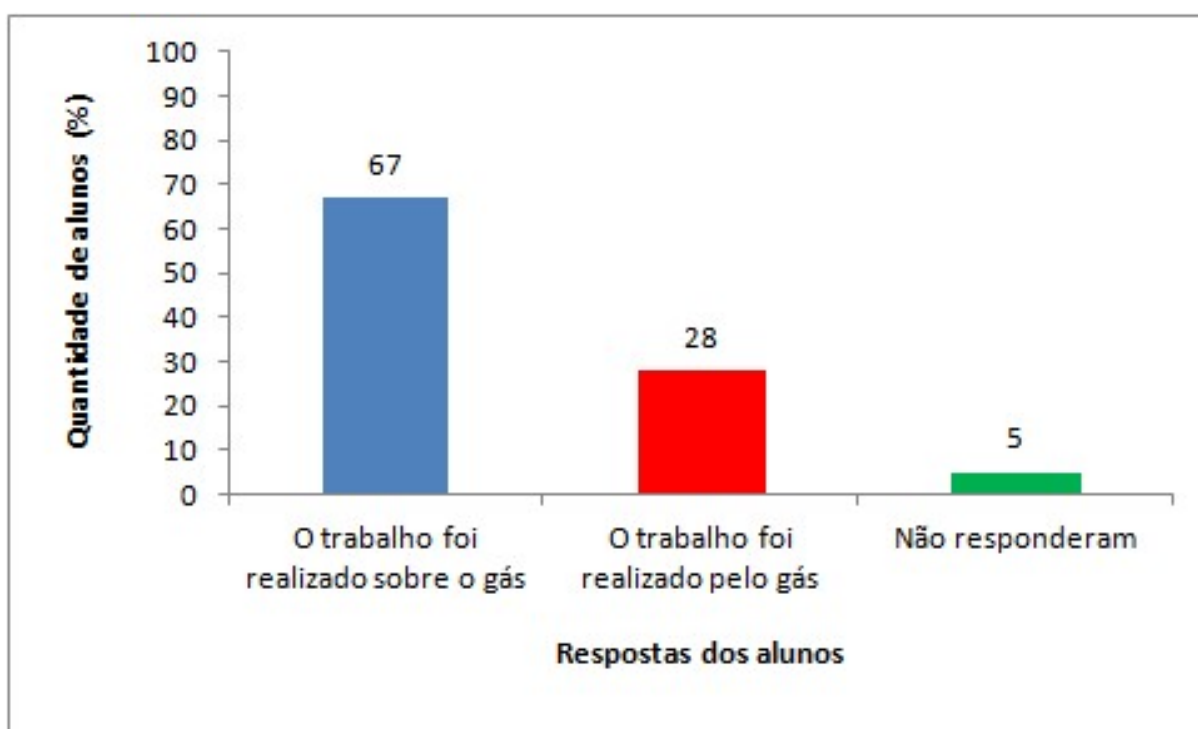


Gráfico 8 – Respostas de alunos sobre a realização de trabalho.

- **Questão 11 – O que ocorre com a energia interna do gás? Justifique sua resposta.**

A Figura 41 representa as respostas de alguns alunos sobre o comportamento da energia interna do gás (aumento ou diminuição).

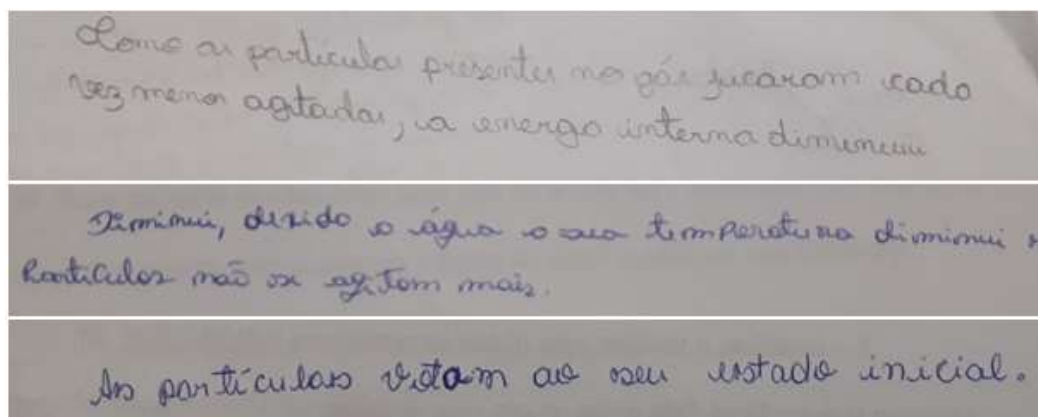


Figura 41 – Respostas de alunos sobre o que ocorre com a energia interna.

Na Figura 41, pode-se perceber que todos os alunos responderam acertadamente ao afirmarem que a energia interna diminuiu em virtude da diminuição da temperatura.

Entretanto, na análise geral da turma, verificou-se que 77% responderam corretamente, 14% responderam de maneira errada e 9% não responderam (Gráfico 9).



Gráfico 9 – Respostas de alunos sobre o comportamento da energia interna.

6.2.2 Questionário 2

- **Questão 01 - Descreva os procedimentos usados para fazer o motor *Stirling* funcionar.**

A Figura 42 representa a resposta de um aluno sobre os procedimentos usados para fazer o motor *Stirling* funcionar, representando a resposta da grande maioria dos alunos.

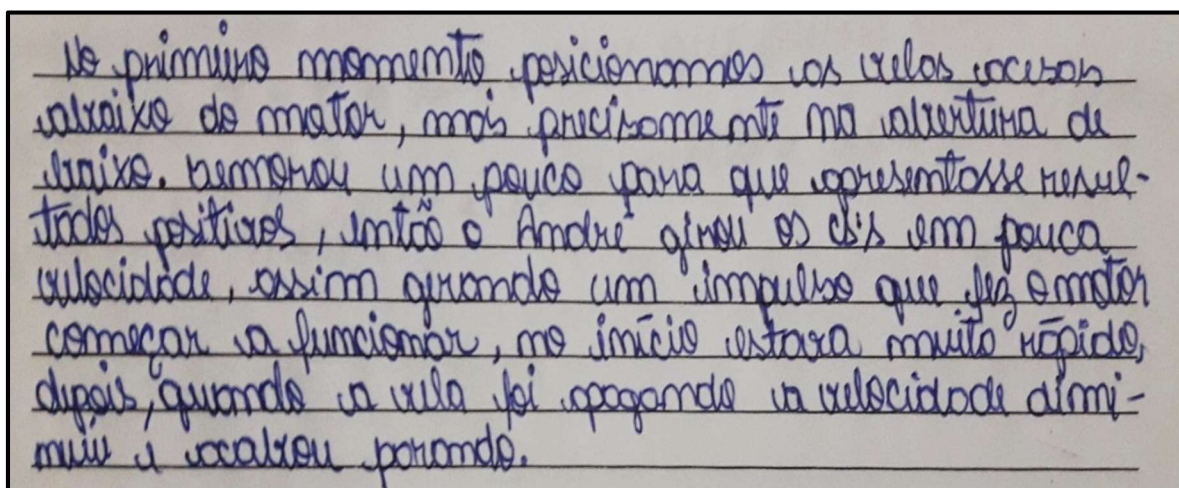


Figura 42 – Procedimentos usados para o motor *Stirling* funcionar.

Na resposta do aluno (Figura 42), é possível observar uma descrição detalhada dos passos que foram dados para colocar o motor para funcionar.

Na análise geral da turma, verificou-se que todos os alunos realizaram os procedimentos de maneira correta para colocar o motor *Stirling para funcionar*. Entretanto, assim como ocorreu na Questão 09 da Atividade Investigativa 1, no momento da descrição desses procedimentos, nem todos conseguiram expressar corretamente a sequência lógica dos fatos. Dessa forma, 89% dos alunos descreveram corretamente o processo, enquanto 11% não conseguiram descrever.

Foi observado que durante a resolução dessa questão, a maioria dos alunos estavam participando ativamente, ou seja, estavam empenhados, manuseando e discutindo a melhor forma possível de descrever os passos que teriam que ser dados para colocar o motor para funcionar.

➤ **Questão 02 – Represente por meio de um desenho ou esquema o motor *Stirling* e identifique nele a fonte quente, a fonte fria e o fluido de trabalho.**

Na análise geral da turma foi observado que 98% dos alunos desenharam o motor *Stirling* e descreveram as suas partes, enquanto 2% preferiram não participar da atividade. Entretanto, foi observado que, entre aqueles que desenharam as partes do motor, somente 14% descreveram corretamente essas partes, como fonte quente, fonte fria, fluido de trabalho.

A Figura 43 representa o motor *Stirling* com a descrição das suas partes feita por um aluno, representando, genericamente, a resposta da grande maioria da turma.

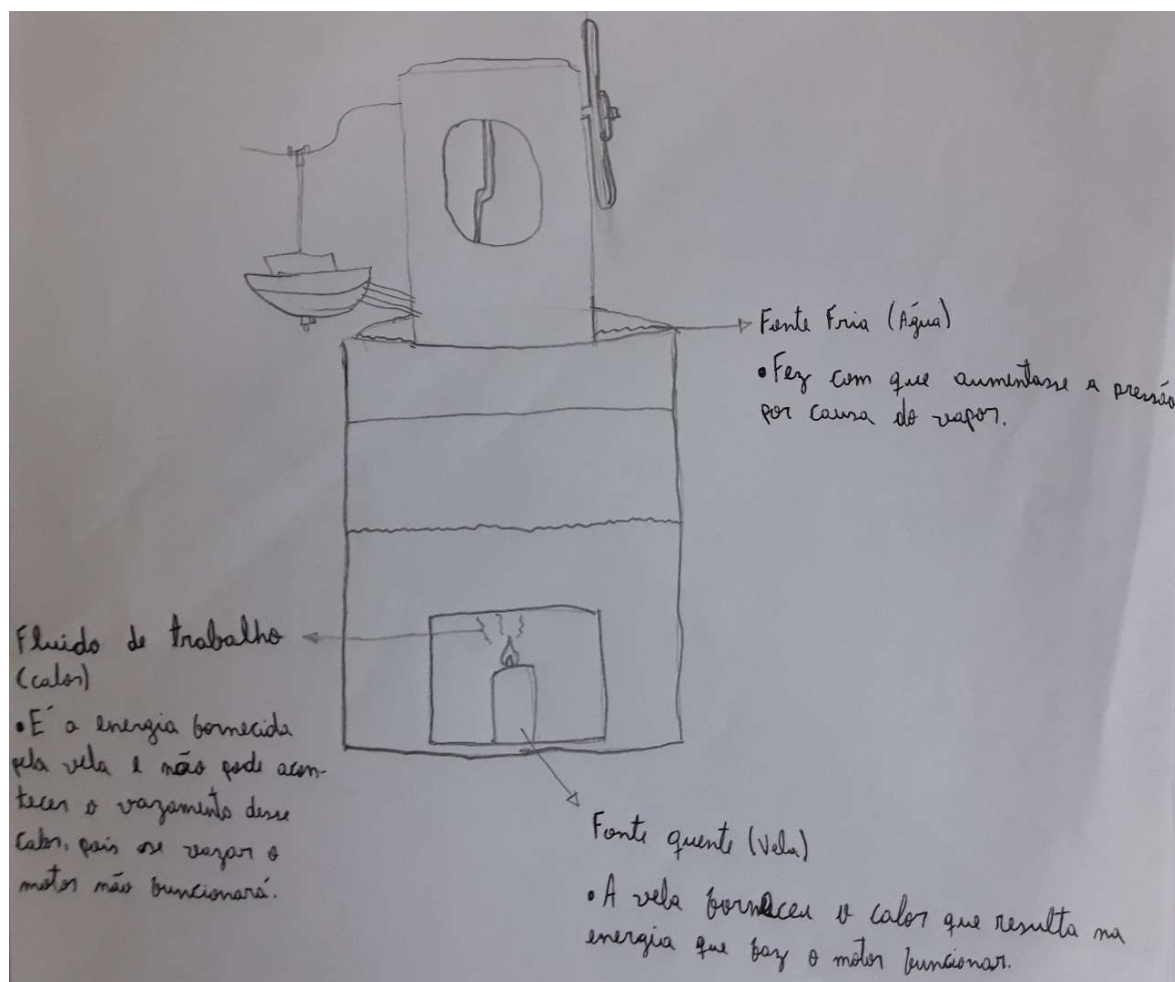


Figura 43 – Recorte da resposta de um aluno, onde é ilustrado o motor *Stirling*.

Na Figura 43 é possível perceber que o aluno, apesar de ter desenhado o motor *Stirling* corretamente, cometeu erros na descrição de algumas de suas partes, como na descrição do fluido de trabalho ao afirmar que o calor seria fluido, quando o correto seria afirmar que o fluido de trabalho é o ar que se encontra preso dentro do motor. Outro equívoco observado foi na descrição da fonte fria, onde o aluno considerou que essa fonte fria seria a responsável pelo aumento de pressão dentro do motor, onde o correto seria afirmar que a fonte fria seria a responsável por retirar parte do calor do fluido de trabalho. O aluno descreveu corretamente apenas a fonte quente (vela), ao afirmar que seria essa fonte quente que forneceria o calor necessário para o motor funcionar.

Durante a resolução dessa questão, foram feitos outros questionamentos, como “o que é uma máquina térmica?” e “dê exemplos de máquinas térmicas.”.

Abaixo, seguem algumas definições sobre máquinas térmicas de acordo com o entendimento dos alunos A, B, C e D (Figura 44).

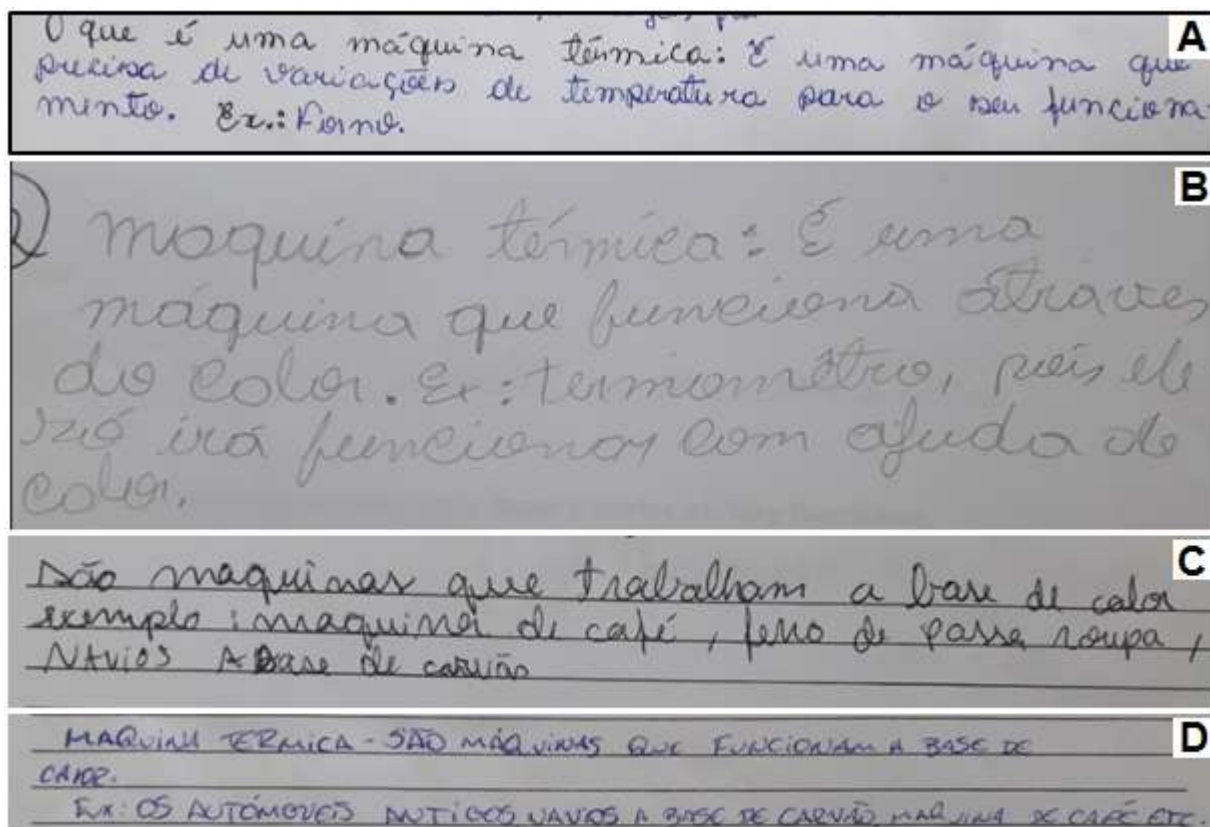


Figura 44 – Respostas de alunos sobre o que é máquina térmica.

Com base nas respostas dos alunos (Figura 44), pôde-se observar que essas respostas, não podem ser consideradas erradas, apesar de incompletas. Entretanto, muitos exemplos foram citados erradamente, quando os alunos citaram forno, termômetro, máquina de café e ferro de passar roupas como sendo máquinas térmicas. Apenas os alunos C e D citaram exemplos corretos de máquinas térmicas, como automóveis e navios à vapor.

De maneira mais genérica, foram demonstrados no Gráfico 10 os principais exemplos de máquinas térmicas relatados pelos alunos.

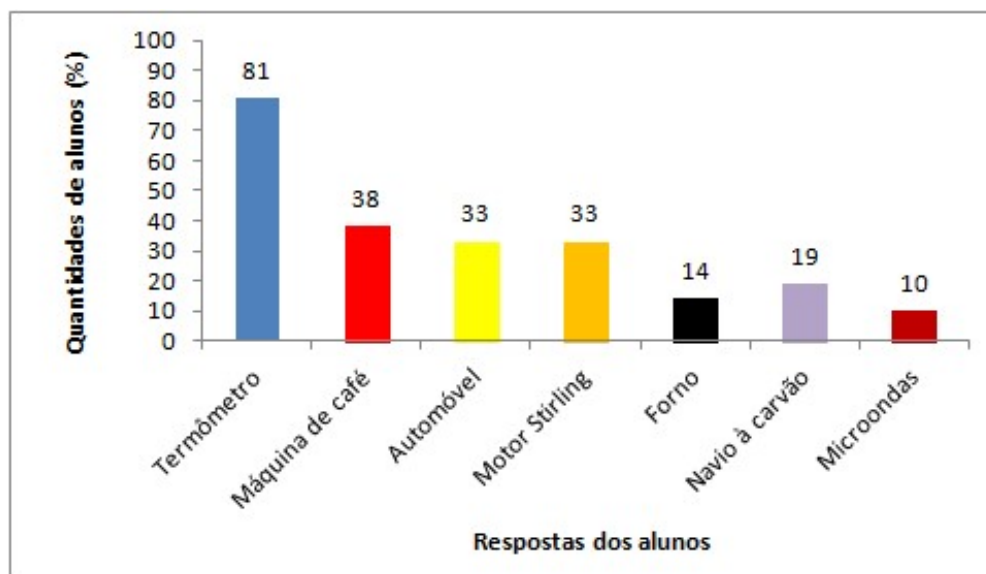


Gráfico 10 – Respostas de alunos sobre exemplos de máquinas térmicas.

Quando pedido para dar exemplos de máquinas térmicas, a maioria dos alunos associaram a máquina térmica a qualquer dispositivo que, de uma forma ou de outra, utilizasse qualquer fonte de calor. Sabe-se que máquina térmica é um dispositivo capaz de realizar trabalho, convertendo energia térmica em energia mecânica.

Em um trabalho semelhante, Laburu, Barros e Kanbach (2007) revelou que a maioria dos alunos não sabiam o que era uma máquina térmica, mesmo sendo presente no dia a dia dos alunos, isso mostra o quanto o Ensino de Física está distanciado dos estudantes, é neste sentido que, discutir e problematizar em sala de aula e tornar os alunos participantes potencializam o processo de aprendizagem.

Na sequência, foi feito o seguinte questionamento: “ocorre transformações de energia? Descreva.”.

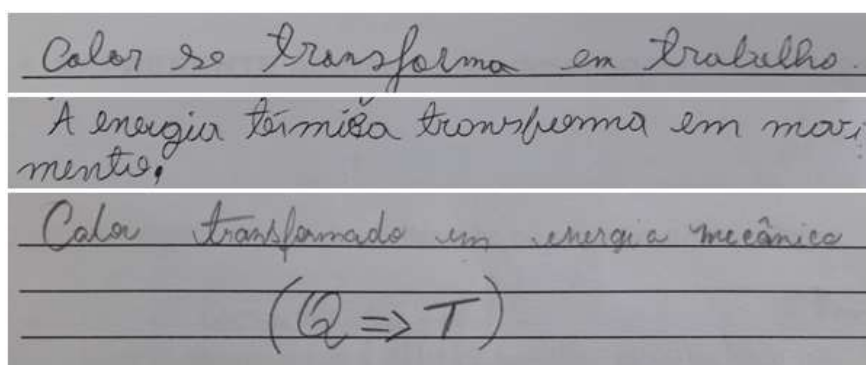


Figura 45 – Transformações de energia em máquinas térmicas.

A Figura 45 demonstra respostas corretas de alunos sobre as transformações de energia que ocorrem nas máquinas térmicas, como no motor *Stirling*.

Na análise geral da turma foi observado que 22% responderam de maneira correta ao afirmar que a energia térmica se transforma em energia mecânica; 54% citaram apenas uma forma de energia, sem fazer nenhuma referência quanto a transformações de energia; e 24% não responderam (Gráfico 11).

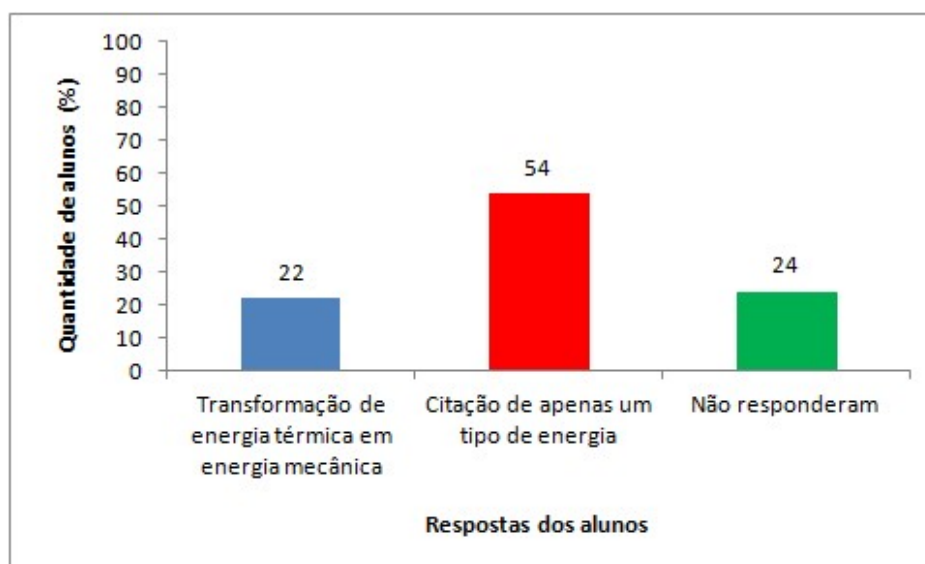


Gráfico 11 – Transformações de energia em máquinas térmicas.

- **Questão 03 – Explique o funcionamento do motor *Stirling* usando os conceitos de calor (Q), variação de energia interna (ΔU) e trabalho (W).**

A Figura 46 representa respostas de alunos sobre o funcionamento do motor *Stirling*, relacionando calor (Q), variação de energia interna (ΔU) e trabalho (W).

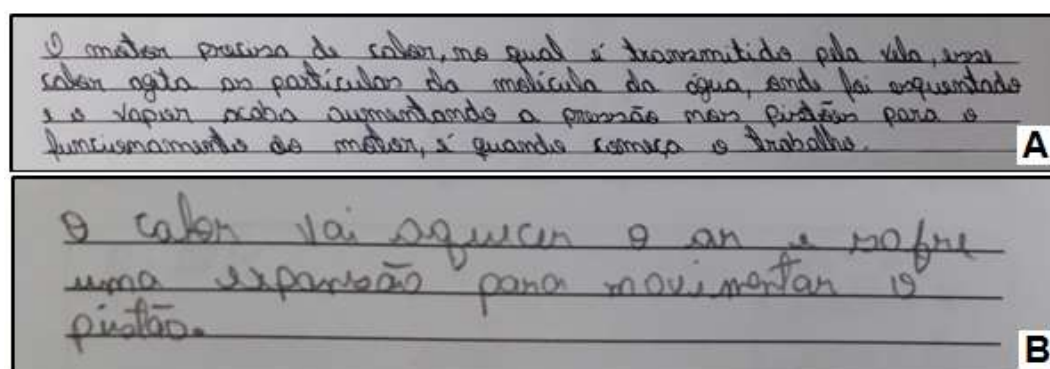


Figura 46 – Explicação do funcionamento do motor *Stirling*.

De acordo a Figura 46, o aluno A iniciou corretamente a resposta ao afirmar que, para o motor funcionar é necessário o fornecimento de calor. Entretanto, o mesmo errou ao finalizar afirmando que o vapor de água foi o responsável pela realização do trabalho, quando, na verdade, o correto seria afirmar que o ar preso no

interior do motor, ao se expandir, seria o responsável pela realização do trabalho, exatamente como interpretado pelo aluno B.

Na análise geral da turma foi observado que 84% dos alunos responderam o questionamento. Desse total, apenas 19% responderam corretamente sobre o funcionamento do motor *Stirling*, relacionando-o com os conceitos de calor (Q), variação de energia interna (ΔU) e trabalho (W); 67% responderam equivocadamente; e 14% não responderam (Gráfico 12).

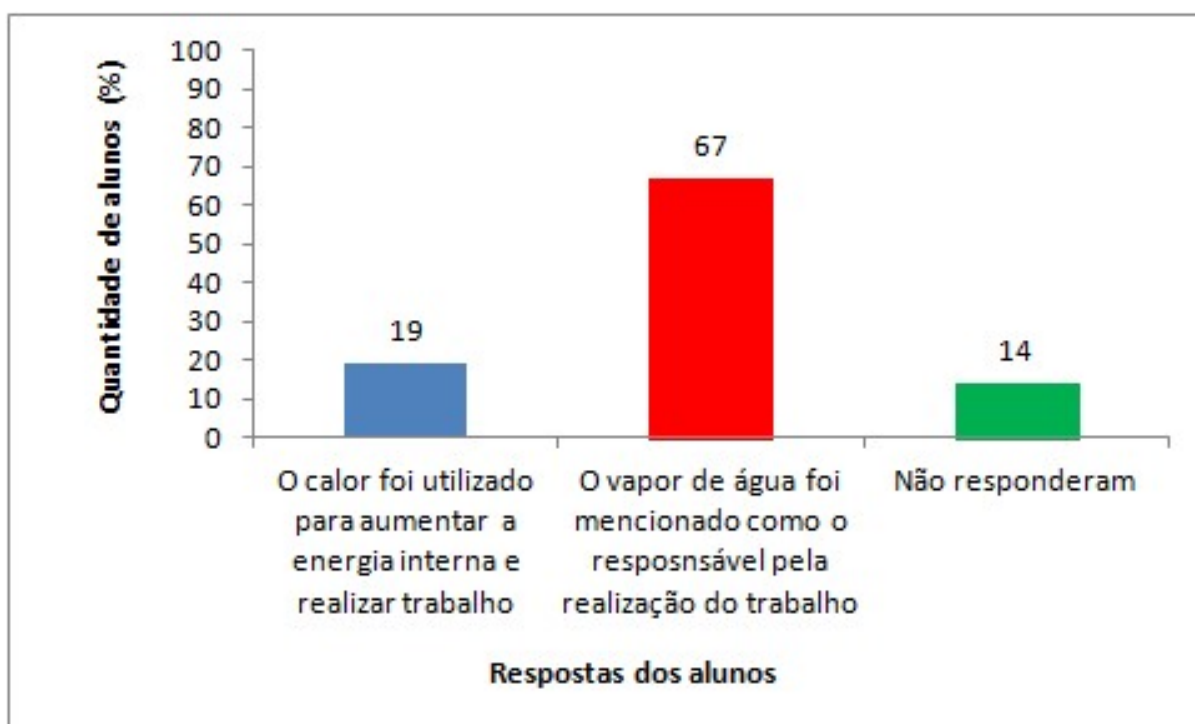


Gráfico 12 – Respostas de alunos sobre o funcionamento do motor *Stirling*.

Na sequência, foi feito o seguinte questionamento: “qual a relação entre as grandezas Q, ΔU e W?”.

Abaixo, seguem alguns recortes de respostas dos alunos A, B e C, sobre o que eles entenderam sobre a equação que representa a primeira Lei da termodinâmica (Figura 47).

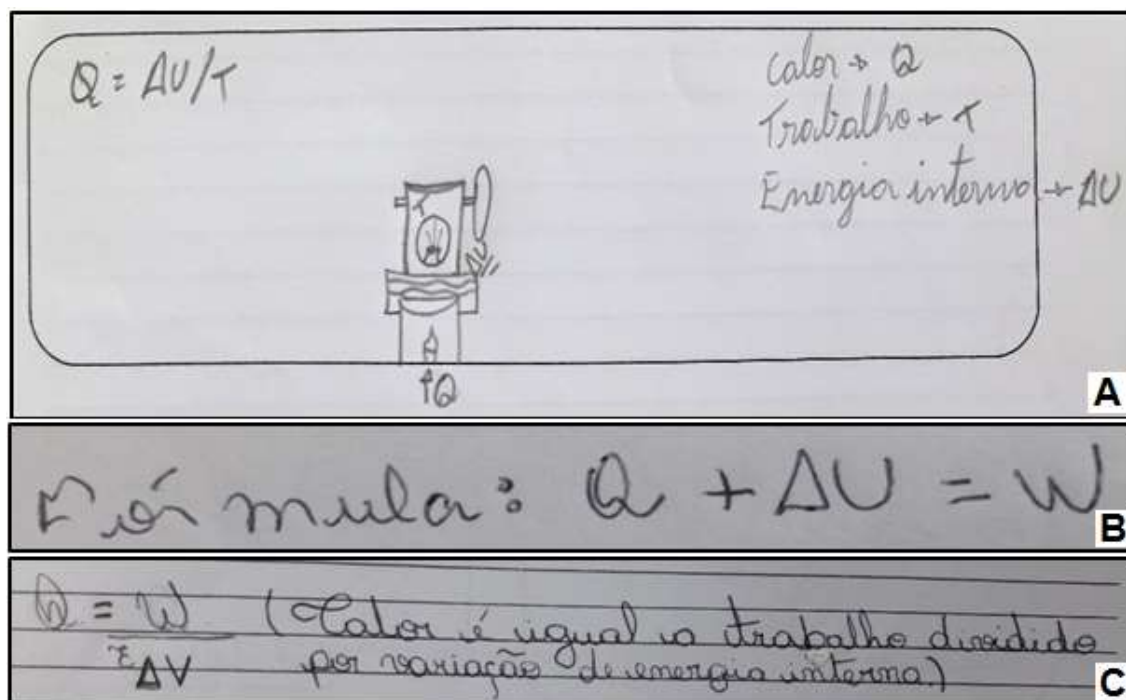


Figura 47 – Equação que representa a primeira Lei da termodinâmica.

As respostas contidas na Figura 47 representam as respostas de toda a turma, sendo que todos os alunos descreveram erradamente a equação que representa a primeira Lei da termodinâmica.

Na análise geral da turma foi observado que 97% dos alunos responderam o questionamento e 3% não responderam. Daqueles que responderam, 37% entenderam a equação que representa a primeira Lei da termodinâmica como está representado pelo aluno A; 29% como representado pelo aluno B; 25% como representado pelo aluno C; e 9% de outras formas.

Apesar de nenhum aluno ter relacionado corretamente as grandezas da forma correta ($Q = \Delta U + W$), foi observado que houve empenho na discussão e na busca de obter uma equação que relacionasse de forma correta as referidas grandezas físicas.

Como forma de fazê-los chegar a relação correta entre as grandezas físicas citadas foi, portanto, foi realizado o seguinte diálogo:

Professor: O que é necessário para o motor funcionar?

Alunos: Fornecer calor.

Professor: Quando fornece calor ao motor ele funciona de imediato?

Alunos: Não, demora um pouco.

Professor: Por que demora um pouco?

Alunos: Para esquentar o ar dentro do motor.

Professor: Está certo! E o que acontece com a energia interna do motor quando o ar é aquecido?

Alunos: Aumenta professor.

Professor: Então, eu posso dizer que o calor fornecido ao motor foi utilizado para aumentar sua energia interna?

Alunos: Sim, pode.

Professor: Agora, com relação ao pistão do motor, qual é causa responsável pelo seu movimento?

Alunos: É o calor, também.

Professor: Sem fornecer calor, tem como movimentá-lo?

Alunos: Não.

Professor: Então, eu posso dizer que o calor fornecido ao motor foi utilizado para aquecer o ar (aumentar a energia interna) e movimentar o pistão (realizar trabalho)?

Alunos: Pode!

Professor: Portanto, eu posso representar matematicamente assim: $Q = \Delta U + W$?

Alunos: Pode!

Por meio desse diálogo foi possível fazer os alunos perceberem que o calor fornecido ao motor foi utilizado em parte para aumentar sua energia interna e em parte para ser utilizada para realizar trabalho. Logo, a equação poderia ser representada da forma $Q = \Delta U + W$, que é a representação matemática da primeira Lei da Termodinâmica, ou seja, é o princípio da conservação da energia aplicado a sistemas termodinâmicos.

Diante do que foi observado em sala de aula e dos resultados apresentados, percebemos que os objetivos motivacionais tiveram resultados bastante satisfatórios. Porém, em relação aos conceituais, não foram obtidos os resultados esperados haja vista que os alunos que participaram dessa atividade não tiveram aulas de física no ano anterior.

CAPÍTULO 7

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A abordagem da Termodinâmica partindo da construção de máquinas térmicas, pode possibilitar um aumento significativo do interesse e da participação ativa dos alunos em sua própria aprendizagem. A utilização do motor Stirling como recurso didático, além de apresentar o assunto de forma dinâmica e atrativa, permitiu, em nossa experiência, alcançar resultados que dificilmente seriam possibilitados em uma abordagem tradicional, como por exemplo, alunos motivados, engajados e participativos.

Durante a realização da oficina, observei que os alunos ao lidar com esse tipo de atividade, despertou neles a vontade em construir o experimento e vê-lo na prática funcionando, uma vez que alguns alunos que pareciam dispersos e tímidos na sala de aula, demonstraram durante essas atividades, interesse e vontade em trabalhar com algo prático, no caso, a construção do motor *Stirling*. A experiência demonstrou que a utilização de forma alternativas de ensino são sempre positivas, pois tem a capacidade de despertar a curiosidade dos alunos por aquilo que é novo e diferente.

Como em qualquer atividade experimental, durante o seu desenvolvimento, surgiram pequenos problemas, o que foi motivante e uma boa oportunidade para alfabetização científica dos alunos, que puderam perceber que a atividade experimental pode ser cansativa e merece muita concentração, bem diferente dos vídeos vistos na internet onde tudo parecia ser bem mais fácil, segundo os comentários realizados pelos próprios alunos no decorrer da atividade. Quando os alunos começaram a cooperar uns com os outros e a investigar as possíveis causas do não funcionamento de alguns motores. Isso ocasionou discussão para encontrarem soluções para os problemas que se apresentaram. As discussões e a solidariedade reforçaram o caráter formativo esperado nesse tipo de atividade proposta por Ana Maria pessoa de Carvalho, que leva em consideração a formação não somente de conceitos, mas também de habilidades (procedimentos) e atitudes. E robusteceu as relações interpessoais na turma, não somente entre os estudantes, mas dos estudantes com o professor, o que favorece a aprendizagem, funcionando como instrumento motivador da realização de atividades propostas para o ensino.

Trabalhar os conceitos de Termodinâmica por meio de oficinas investigativas, se mostrou uma maneira de oportunizar ao aluno a construção de conhecimento de forma ativa, contribuindo para sua autonomia enquanto coadjuvante e protagonista no processo de aprendizagem.

Mesmo depois das oficinas, parte mais prática do processo, os alunos continuaram motivados para investigar conceitos da Primeira Lei da Termodinâmica que se deu através da realização de duas atividades investigativas, uma utilizando o kit experimental e a outra o próprio motor *Stirling*. Durante estas atividades, a grande maioria dos alunos participou de forma ativa dialogando, manipulando materiais, observando os fenômenos e discutindo soluções. Nesse sentido, a estratégia metodológica utilizada, mostrou-se ter grande potencial para mobilizar os estudantes para um estudo mais aprazível da Física, desmistificando assim, a ideia de que a disciplina é difícil de ser aprendida.

Os limites encontrados durante o processo são relativos as dificuldades encontradas pelos alunos, principalmente, com relação a escrita, sendo muitas vezes simplistas ou incoerentes nas respostas, outras vezes respondendo por meio de desenhos ilustrativos. Acreditamos que isso se deve à falta do desenvolvimento da habilidade de escrever ou de responder questionamentos de forma argumentativa e teórica. O problema com a formulação das respostas talvez possa explicar também a impaciência que alguns alunos apresentaram quando tinham que responder as questões. Isso indica claramente a necessidade de que nós professores da área das ciências, de uma maneira geral, e especificamente da física, precisarmos desenvolver atividades que propiciem a observação, a descrição e a argumentação. Essas atividades, segundo a perspectiva do ensino por investigação privilegia a aprendizagem de procedimentos, ultrapassando a mera execução de certo tipo de tarefas, tornando-se, como explicitam Maués e Lima (2006), uma oportunidade, para desenvolver novas compreensões, significados e conhecimentos do conteúdo ensinado.

Como educador em busca de constante formação, percebi que essa maneira de trabalhar pode ser bastante instigadora e desafiadora. Instigadora por nos proporcionar uma reflexão sobre a maneira como geralmente trabalhamos esses assuntos - de forma tradicional, e como os resultados parecem se repetir – o insucesso de muitos na aprendizagem, na generalização dos conceitos. E desafiadora, por nos dar oportunidade de testar uma metodologia diferenciada, que, se bem planejada,

pode permitir o logro de resultados significativos e, assim, podem nortear a maneira de ensinar.

A experiência nos demonstrou que essa maneira de trabalhar pode proporcionar ao professor-orientador uma reflexão sobre como devem ser tratados os conteúdos (conceitos, procedimentos e atitudes) o que permite alcançar resultados significativos no que diz respeito a aprendizagem pelos estudantes.

Assim, o produto educacional, como atividade investigativa sobre a aprendizagem de conceitos da primeira Lei da Termodinâmica por meio do motor Stirling, atingiu seus objetivos de motivar, investigar e construir conceitos sobre a primeira lei da termodinâmica. E, para além dos resultados obtidos, tem como proposição de seu idealizador, auxiliar no processo de formação continuada de muitos professores de Física que aspirem uma alternativa para tornar o ensino-aprendizagem da disciplina uma atividade prazerosa e eficiente na formação de escolares do ensino médio.

Como adaptar as propostas aos programas das escolas? Quais dificuldades de implementação? Quais as possíveis soluções?

Uma forma de adaptar o projeto de construção do motor Stirling a realidade da escola pública é realizar sua construção no contra turno devido a pequena carga horário de apenas duas aulas semanais. A principal dificuldade encontrada na implementação do projeto de construção do motor foi com relação ao deslocamento dos alunos a escola no contra turno. Uma solução possível seria realizar a atividade no sexto horário durante dois ou três dias da semana.

REFERÊNCIAS

AMBROZIO, Rosa Maria. **Uma intervenção educacional com enfoque no ensino por investigação: abordando as temáticas termodinâmica e óptica**. 2014. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo.

ASSIS, A. et al. O uso do motor Stirling no ensino de termodinâmica: uma estratégia metodológica. **Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas**, n. Extra, p. 218-222, 2009.

AMARAL, L. O. F.; MORTIMER, E. F. **Calor e temperatura no ensino de termoquímica**. Disponível em: <<http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc07/aluno.pdf>> Acesso em: 16 de Set. 2018.

AZEVEDO, M. C. P. S. Ensino por investigação: problematizando as atividades em sala de aula. **Ensino de Ciências unindo a pesquisa e a prática**, p. 19, 2004.

AFONSO, C. Termodinâmica para Engenharia. FEUP, I ed. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2012.

BARROS, Robledo Wakin. **Avaliação Teórica e Experimental do Motor Stirling Modelo Solo 161 Operando com Diferentes Combustíveis**. 2005. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Itajubá.

BOLZAN et. al. (2017). Princípios de termodinâmica para o ensino de física: experimento de motor de stirling. Vol. 13, N. 25: p.210-218. Disponível em: <http://www.reitoria.uri.br/~vivencias/Numero_025/artigos/pdf/Artigo_21.pdf>. Acesso em: 03 de set. 2018.

BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio**. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica, Brasília. 1999.

BRASIL. **Orientações Curriculares para o Ensino Médio**. Ministério da educação. Secretaria de educação Básica, Brasília. 2008.

BRASIL. **Orientações Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio**. Ministério da educação. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>>. Acesso em: 10 de Jul. 2018.

CARVALHO, Ana Maria Pessoa. **Calor e temperatura: um ensino por investigação**, São Paulo: Editora Livraria da Física, 2014.

CARVALHO, Ana Maria Pessoa. Las practicas experimentales en el proceso de enculturación científica. **Ensenar ciencias en el Nuevo milenio: retos e propuestas**. Santiago: Universidade Católica de Chile, 2006.

CARVALHO, A. M. P et al. **Termodinâmica: um ensino por investigação**. São Paulo. FEUSP. 1999.

COBALCHINI, M.G. **Análise da aplicação de aulas práticas investigativas de citologia para o primeiro ano do ensino médio público**. Paraná, 2017.

GOMES, Ederson Carlos. A construção de máquinas térmicas como recurso para melhor entendimento dos conceitos de termodinâmica. 2014.

HERNANDES, L. C.; CLEMENT, Luiz; Terrazzan, E. Realização de Atividades Experimentais numa Perspectiva Investigativa: Um Exemplo no Ensino de Física. **Atas do IV ENPEC**, 2002.

HALLIDAY D.; RESNICK R. **Fundamentos de Física: Gravitação, Ondas e Termodinâmica**. Volume 2. 3ª edição. Editora LTC, 1994.

LIMA, Daniela Bonzanini de. O ensino investigativo e suas contribuições para a aprendizagem de Genética no ensino médio. 2012.

LAVILLE, Christian; DIONNE, Jean. **A construção do saber: manual de metodologia de pesquisa em ciências humanas**. Belo Horizonte (MG): Editora UFMG, 1999.

LABURÚ, C. E. BARROS, M. A. KANBACH, B. C. A Relação com o Saber Profissional do Professor de Física e o Fracasso da Implementação de Atividades Experimentais no Ensino Médio. In: **Investigações em Ensino de Ciências**. v. 12, n. 3, p.305-320, 2007.

MUNFORD, Danusa; LIMA, Maria Emília Caixeta de Castro. Ensinar ciências por investigação: em quê estamos de acordo?. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)**, v. 9, n. 1, p. 89-111, 2007.

MAUÉS E. R. C.; LIMA, M. E. C. C. Ciências: atividades investigativas nas séries iniciais. **Presença Pedagógica**, 2006. V. 72.

MOSTACCHIO, Wilson Rogério; PEREIRA, Ricardo Francisco. Uma sequência didática para o Ensino de Máquinas Térmicas, 2014. Disponível em: <http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/cadernospd/pdebusca/producoes_pde/2014/2014_uem_fis_artigo_wilson_rogerio_mostacchio.pdf>. Acesso em: 24 de Nov. 2018.

NETO, J.M.; AMBRÓSIO, M. **Ensino de Ciências com alunos do 6º ao 9º ano do ensino fundamental por meio de atividades experimentais investigativas e abertas**. São Paulo. IX ENPEC. 2013.

PEDROSO, M. A. et al. Uma atividade investigativa sobre a primeira lei da Termodinâmica: **considerações sobre o processo de problematização**. Santa Catarina. XI ENPEC. 2017.

SEREIA, D.A.O; PIRANHA, M.M. **Aulas práticas investigativas: uma experiência no ensino fundamental para a formação de alunos participativos**. Paraná, 2008.

SILVA, Stella Maris Campos; DE AGUIAR JÚNIOR, Orlando Gomes. O papel do professor em ambiente de aprendizagem colaborativo e investigativo mediado pelo computador: uma análise das interações discursivas e multimodais. **ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCACAO EM CIENCIAS**, v. 10, p. 1-8, 2015.

TIPLER, Paul A.; MOSCA, Gene, Física para Cientistas e Engenheiros - Vol. 1, 6a ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

WATSON, F. Road. Student's discutions in practical scientific inquiries. In: International Journal Science education. January, vol, 26. no 1, 25-45, 2004.

YOUTUBE. **Energia interna do gás ideal monoatômico**. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=ZF4ZC0Of6gc>>. Acesso em: 30 abr. 2018a.

YOUTUBE. **Termodinâmica: trabalho mecânico**. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=j0iT_Uo2k5I>. Acesso em: 30 abr. 2018b.

YOUTUBE. **1ª Lei da Termodinâmica: transformação isobárica**. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=gCHu8gGcW-0>>. Acesso em: 30 abr. 2018c.

ZOMPERO, Andreia Freitas; LABURÚ, Carlos Eduardo. Atividades investigativas no ensino de ciências: aspectos históricos e diferentes abordagens. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 13, n. 3, p. 67, 2011.

ZÔMPERO, Andreia Freitas; LABURÚ, Carlos Eduardo. Atividades investigativas para aulas de ciências: **Um diálogo com a teoria da Aprendizagem Significativa**. 1. Ed. Curitiba: Appris, 141p.;21cm. 2016.