

Universidade Federal de Juiz de Fora
Instituto de Ciências Exatas
Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais
Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

Izabela Talita de Sales

UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA DE TERMODINÂMICA PARA O
ENSINO MÉDIO

Juiz de Fora
2017

Izabela Talita de Sales

UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA DE TERMODINÂMICA PARA O
ENSINO MÉDIO

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Polo 24: Universidade Federal de Juiz de Fora e Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais – como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. José Luiz Matheus Valle

Juiz de Fora
Fevereiro 2017

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Sales, Izabela Talita de.

UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA DE TERMODINÂMICA PARA O ENSINO MÉDIO / Izabela Talita de Sales. -- 2017.

139 f.

Orientador: José Luiz Matheus Valle

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais, ICE/IFSEMG. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2017.

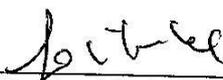
1. Ensino de física. 2. Taxinomia de Bloom. 3. Sequência didática. 4. Termodinâmica. I. Valle, José Luiz Matheus, orient. II. Título.

Izabela Talita de Sales

UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA DE TERMODINÂMICA PARA O ENSINO MÉDIO

Dissertação submetida ao Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Polo 24: Universidade Federal de Juiz de Fora e Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

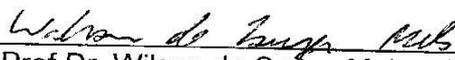
Aprovada em 21 de fevereiro de 2017 por:



Prof. Dr. José Luiz Matheus Valle – UFJF –
Orientador



Prof. Dr. José Abdalla Helayél Neto – CBPF



Prof. Dr. Wilson de Souza Melo – UFJF

Juiz de Fora
Fevereiro de 2017

Dedico esta dissertação à minha família e amigos, pela força, incentivo, companheirismo e amizade. Sem eles nada disso seria possível.

.

Agradecimentos

Aos meus filhos, Caio e Mateus, meus pais Auxiliadora e Caetano, meus irmãos Graziela e Eduardo, pelo carinho, paciência e incentivo ao longo de minha caminhada. Amo muito vocês!

A todos os professores do programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física, em especial, meu orientador, Prof. Dr José Luiz Matheus Valle pelo apoio e generosidade em partilhar seu conhecimento.

A coordenadora do Mestrado, Prof^a. Dr^a Giovana Trevisam, por acreditar e lutar sempre em prol do bom funcionamento do programa em nossa universidade.

À CAPES pelo apoio financeiro por meio da bolsa concedida.

RESUMO

UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA DE TERMODINÂMICA PARA O ENSINO MÉDIO

Izabela Talita de Sales

Orientador:
José Luiz Matheus Valle

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Juiz de Fora 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.

O presente trabalho apresenta a descrição do desenvolvimento e aplicação de uma Sequencia Didática abordando tópicos de Termodinâmica. O estudo foi realizado com duas turmas do 2ª ano do Ensino Médio de uma escola estadual localizada no município de Juiz de Fora, Minas Gerais. A Sequência Didática foi elaborada baseada nos aspectos teóricos da Aprendizagem Significativa de David Ausubel. Utilizamos a Taxonomia de Bloom como instrumento na identificação e declaração dos objetivos mobilizados no desenvolvimento cognitivo do aluno, servindo de norteador em nosso planejamento de todo o processo de ensino. A Sequência Didática incorpora atividades investigativas experimentais, textos relacionando Física com fatos cotidianos, análises e interpretação de diversas formas de linguagens visando alcançar dimensões cognitivas mais altas. A análise das atividades ao longo da aplicação da Sequencia Didática mostrou bons resultados: os alunos manifestaram maior interesse e motivação em aprender, tornando-se mais participativos e ativos em sua aprendizagem. Concluimos que a diversidade de atividades desenvolvidas durante o processo de ensino, especialmente as experimentais e em grupo, possibilita o alcance dos processos cognitivos mais altos.

Palavras-chave: Ensino de Física. Taxonomia de Bloom. Sequência Didática. Termodinâmica.

Juiz de Fora
Fevereiro 2017

ABSTRACT

A PROPOSED DIDACTIC SEQUENCE OF THERMODYNAMICS FOR MIDDLE SCHOOL

Izabela Talita de Sales

Supervisor:
José Luiz Matheus Valle

Abstract of master's thesis submitted to Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Juiz de Fora no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), in partial fulfillment of there requirements for the degree Mestre em Ensino de Física.

The present work is an account of the application of a Didactic Sequence addressing topics of Thermodynamics. The study was carried out with two High School classes of a public state school located in the city of Juiz de Fora, Minas Gerais. The Didactic Sequence was elaborated based on the theoretical framework of the Meaningful Learning of David Ausubel. We used Bloom's Taxonomy as an instrument in the identification and declaration of the objectives mobilized in the student's cognitive development, serving as a guide in our planning of the whole teaching process. The Didactic Sequence incorporates experimental investigative activities, texts relating physics with everyday phenomena, analysis and interpretation of various forms of languages in order to reach higher complex cognitive dimensions. The analysis of the activities along the application of the Didactic Sequence showed good results: the students expressed greater interest and motivation in learning, becoming more participative and active in their learning. We conclude that the diversity of activities developed during the teaching process, especially the experimental ones and group work, is more likely to enable higher cognitive processes to be achieved.

Keywords: Physics education. Bloom's Taxonomy. Didact Sequencie. Thermodynamics.

February 2017

Sumário

1 INTRODUÇÃO.....	10
1.1 CONTEXTO HISTÓRICO	10
1.2 PLANEJAMENTO UTILIZANDO A TAXONOMIA DE OBJETIVOS DE BLOOM	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
2.1 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA	14
2.2 TAXONOMIA DE BLOOM.....	16
3 TERMODINÂMICA.....	21
3.1 A PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA.....	21
3.1.1 Capacidade Térmica	22
3.1.2 O equivalente mecânico de calor.....	23
3.1.3 Considerações da Primeira Lei da Termodinâmica.....	24
3.1.4 Processos reversíveis	29
3.1.5 Exemplos de processos.....	33
3.2 PROPRIEDADES DOS GASES.....	35
3.2.1 Equação de estado do gás ideal	35
3.2.2 Energia interna de um gás ideal.....	39
3.3 A SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA.....	42
3.3.1 Introdução.....	42
3.3.2 Enunciados de Clausius e Kelvin da Segunda Lei da Termodinâmica.	44
4 METODOLOGIA.....	48
4.1 USO DA TABELA BIDIMENSIONAL DE BLOOM.....	48
4.2 SEQUÊNCIA DIDÁTICA	51
5 ANÁLISE DE DADOS	71
5.1 A SEQUÊNCIA DIDÁTICA	71
5.2 TAXONOMIA DE BLOOM.....	84
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	91
REFERÊNCIAS	92
Apêndice A - Proposta de Sequência Didática para o ensino de Termodinâmica	94
Apêndice B - Modelo de relatório	133
Apêndice C - Roteiro para construção do calorímetro	135
Apêndice D - Roteiro para construção da máquina de Heron.....	136

1 INTRODUÇÃO

Criar estratégias de ensino constitui numa prática complexa, principalmente quando estamos tratando de situações onde o professor não especifica de forma clara quais são seus objetivos ao ensinar determinado conteúdo.

Quando o professor declara quais objetivos pretende-se alcançar e organiza essa informação, ficam evidentes quais atividades devem ser planejadas para atingir tal finalidade. Ou ainda, se as atividades já em curso estão alinhadas com os objetivos e as avaliações projetadas.

Hoje, ainda vigora o ensino conteudista da Física. São tanto assuntos para serem desenvolvidos que muitas vezes professores e alunos se perdem no meio dos inúmeros conceitos vagos, repassados de professor para aluno, nesta ordem sempre. Ora, vivemos num mundo onde há democratização de informações. O professor não é mais o detentor da verdade absoluta. Precisamos trabalhar com planejamentos que incorporem atividades que busquem a troca de conhecimento, estimule a criatividade e a curiosidade, que tragam o conhecimento prévio do aluno para dentro da sala de aula.

A ciência é construída através da observação de fenômenos, levantamento de hipóteses, análise de acertos e de erros para posterior conclusão, que nem sempre é irrefutável. Uma forma de conhecimento mais ampla não é adquirida sem que ocorra uma relação entre o que se é observado com fatos que já se conhecia, ou seja, conseguimos internalizar o novo conhecimento se o relacionarmos a fatos já constatados anteriormente.

O mundo está em constante transformação e só teremos formado agentes ativos e participativos nesse processo de evolução se ensinar a eles como pensar e não como aceitar informações recebidas do professor para a realização de uma prova. Temos que nos preocupar não somente em ensinar Física, mas sim preparar nossos alunos para viverem numa sociedade de constantes mudanças.

1.1 CONTEXTO HISTÓRICO

Desde os tempos remotos, cientistas buscam entender o que é o calor. Até a metade do século XIX, acreditava-se que o calor era um fluido invisível que todos os

corpos possuíam. Quanto maior a temperatura de um corpo, mais fluido o corpo possuía. Esse fluido foi denominado por Antoine Laurent de calórico. A teoria do calórico foi contestada por Benjamin Thomson que após observar o aquecimento das brocas após perfurar peças na construção de material bélico constatou que poderia haver aquecimento sem o uso do fogo. Intrigado com a observação decidiu pesar o material aquecido resultante do atrito entre as brocas e as peças e concluiu que não havia alteração no peso devido ao aquecimento. Thompson concluiu que o calor era, portanto, um acréscimo de energia de vibração das moléculas que constituíam os corpos aquecidos.

James Prescott Joule comprovou experimentalmente que o calor é uma forma de energia e estabeleceu uma relação entre o trabalho e a quantidade de energia transferida na forma de calor.

Em 1712, Thomas Newcomem aperfeiçoou uma máquina usada na drenagem de minas de carvão, porém esse equipamento tinha duas desvantagens: funcionava a alta pressão e consumia grande quantidade de carvão, por isso, apesar de ser para a época um grande evento, não era muito utilizado. James Watt construiu uma máquina a vapor mais eficiente e com maior diversidade de uso.

Sadi Carnot estudou ciclos termodinâmicos com a intenção de melhorar o rendimento das máquinas térmicas utilizadas na época. Carnot imaginou um ciclo que aproveitaria ao máximo o calor recebido pela máquina: quatro processos reversíveis – entrada de calor de forma isotérmica, expansão adiabática, rejeição isotérmica de calor e compressão adiabática - quando escreveu suas reflexões ele se apoiou na teoria do calórico. De acordo com o modelo criado por Carnot, uma máquina teria rendimento máximo se operasse em um ciclo reversível, porém a transferência de calor isotérmica reversível é muito difícil alcançar, pois seriam necessárias muitas trocas de calor num período de tempo muito longo. Apesar desta imagem errônea sobre a natureza do calor, Carnot determinou corretamente a eficiência de sua máquina térmica, pois mostrou que o máximo de energia que pode ser utilizada como trabalho depende da diferença de temperatura entre dois tanques a temperaturas distintas.

Rudolf Julius Emanuel Clausius usando a teoria cinética dos gases reformulou então a Primeira e a Segunda Lei da Termodinâmica.

A Primeira Lei estabelece a Conservação de Energia em qualquer transformação, a Segunda Lei estabelece condições para que as transformações termodinâmicas possam ocorrer.

Em 1865, Clausius introduziu o conceito de entropia. A entropia fornece a medida da quantidade de energia útil que se transforma em energia não utilizável. É dada pela razão da quantidade de calor cedida ou recebida em função da temperatura do sistema.

Em termos de entropia, a Segunda Lei pode ser formulada:

Não ocorrem processos nos quais a entropia de um sistema isolado decresça: em qualquer processo que tenha lugar em um sistema isolado, a entropia do sistema aumenta ou permanece constante.

1.2 PLANEJAMENTO UTILIZANDO A TAXONOMIA DE OBJETIVOS DE BLOOM

Até ascendermos o tema Primeira Lei da Termodinâmica, muitos conteúdos são tratados pelo professor, desta forma, julgamos necessário que o professor tenha um eixo organizador que permita visualizar quais são comportamentos esperados dos alunos – objetivos educacionais - durante e após sua participação na apresentação do conteúdo.

A Tabela de Taxonomia de Bloom foi utilizada neste trabalho com a finalidade de planejar o que esperamos como resultado da aprendizagem; nela listamos os objetivos educacionais, as atividades instrucionais, as avaliações e verificamos o alinhamento entre esses itens.

É nesse sentido que buscaremos encaminhar este estudo, trazendo conosco uma proposta didática com o tema “Termodinâmica”, com duração de 16 aulas que poderá servir de subsídio para outros professores buscarem práticas que permitam o ensino da Física de forma mais dinâmica, propiciando uma construção investigativa de fenômenos, permitindo que o aluno possa hipotetizar e avaliar, comprovando as hipóteses levantadas ou refutando-as através de atividades experimentais simples que podem ser realizadas na própria sala de aula pelos alunos envolvendo os conceitos estudados.

O professor, como mediador do processo de ensino, conduzirá a discussão acerca das hipóteses levantadas e resultados obtidos, possibilitando a construção do conhecimento dos alunos.

O objetivo desse trabalho é elaborar e aplicar uma sequência didática para turmas de ensino médio tendo como finalidade provisionar conhecimentos de alto valor cognitivo. Pretende-se com esta sequência que os alunos tenham uma maior

possibilidade no desenvolvimento de sua capacidade de investigação científica, usando a observação e o levantamento de hipóteses na construção de seu saber. Aspiramos uma aquisição de conhecimento de forma significativa, concebida a partir do desejo do aluno em solucionar questões levantadas a partir de situações problemas e que essa resposta seja construída e explicada pelo aluno de forma consistente baseado em princípios científicos assimilado durante sua aprendizagem.

Incentivamos neste estudo o planejamento das instruções, projeção de avaliações e posterior verificação de alinhamento com os objetivos inerentes ao processo, buscando desta forma uma melhora na qualidade de ensino, sendo assim, apresento este trabalho que consta dos seguintes capítulos: *Referencial Teórico*, que apresenta um embasamento da literatura acerca do tema, *Metodologia* a qual explica os procedimentos utilizados na execução da pesquisa, no capítulo *Resultados* discutimos as conclusões retiradas e análise dos dados coletados ao aplicarmos o produto educacional e na *Conclusão* são apresentadas inferências sobre a nova postura e metodologia, bem como a influência no processo de aprendizado dos estudantes.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

David Ausubel apresentou, no início da década de 60, uma teoria de aprendizagem cognitivista contrária às ideias behavioristas de B. F. Skinner, que valorizavam o reforço e repetição.

Na teoria behaviorista o indivíduo deveria ser moldado de forma a contribuir com o crescimento econômico, tornando-o apto para atender o mercado de trabalho. A função do professor era transmitir seu conhecimento incontestável aos alunos; para tanto eram utilizados estímulos, reforços negativos e positivos com a finalidade de se obter a resposta do aluno desejada pelo professor.

Para Ausubel, o indivíduo aprende de forma significativa se seus conhecimentos prévios são considerados durante o processo de ensino aprendizagem do novo conteúdo, ou seja, a nova informação deve ser acrescentada à estrutura cognitiva do indivíduo formada por prévio armazenamento de conteúdo informal, resultando dessa forma um conceito mais rico do que o anteriormente armazenado e que posteriormente poderá ser reutilizado para introdução de novos conceitos. Essa teoria ficou conhecida como Aprendizagem Significativa.

Duas condições são necessárias para que ocorra a Aprendizagem Significativa, quais sejam: a disponibilidade do aluno em aprender o novo conteúdo e o material ter um potencial significado para o indivíduo. Para Marco Antônio Moreira (2000), o material simbólico é potencialmente significativo quando pode ser relacionado, de forma substantiva e não arbitrária, a uma estrutura cognitiva hipotética que possui antecedentes.

Quando o conteúdo ensinado pelo professor não consegue se ligar a algo que o aluno já sabe, os novos conceitos não passam de conhecimento mecânico, ou seja, o aluno decorou fórmulas, leis e conceitos, mas não reteve essas informações por muito tempo.

Mesmo o material sendo potencialmente significativo, caso o aluno não tenha vontade de aprender, o novo conhecimento será memorizado arbitrariamente, podendo ser descartado após determinado tempo ou posterior avaliação, pois o aluno não viu significado na armazenagem da informação recebida.

A Aprendizagem Significativa, para Ausubel, é um processo pelo qual uma nova

informação se relaciona com um aspecto relevante da estrutura de conhecimento do indivíduo. Ausubel em sua obra define subsunçores como o conhecimento pré existente na estrutura cognitiva do aluno que poderá ser usado para criar uma ponte para o novo conhecimento, gerando a reconciliação integrativa. A nova informação será agregada de forma hierarquizada, levando se em consideração o nível de abstração, generalidade de inclusividade de seus conteúdos; à medida que o aluno aprende os subsunçores se reorganizam e adquirem novos significados, tornando-se mais abrangentes e inclusivos.

Contrapondo a Aprendizagem Significativa, Ausubel definiu a Aprendizagem Mecânica como sendo o processo de conhecimento adquirido pelo indivíduo onde não ocorreu nenhum tipo de ancoragem da nova informação com os subsunçores, isto é, há armazenamento de novas informações, porém estas se dão de forma arbitrária. A Aprendizagem Mecânica é a forma clara de inserção de conhecimento quando não há conhecimentos prévios do aluno acerca de um determinado assunto. À medida que os conceitos arbitrários vão tomando forma na estrutura cognitiva do aluno, estes passam a ser subsunçores e ganharão cada vez mais significados, à medida que mais informações os utilizem. A Aprendizagem Mecânica, contrariando o pensamento de alguns, pode ser, portanto, adquirida por descoberta e não só por recepção.

Segundo Ausubel, a Aprendizagem Significativa está acima da Aprendizagem Mecânica, pois a primeira permite que o aluno retenha o conhecimento por mais tempo e aumenta a capacidade de aprender conteúdos mais complexos, porém a aprendizagem mecânica se faz necessária durante o processo de aprendizagem do indivíduo. A Aprendizagem Significativa e a Aprendizagem Mecânica são formas distintas de aprender e não são excludentes. Algumas informações serão guardadas pelos alunos por meio de memorização, pois não são relacionadas a nenhum conhecimento prévio do aluno.

Ao iniciar a aquisição de novos conceitos, Ausubel recomenda que sejam utilizados organizadores prévios a fim de facilitar a ancoragem dos novos conceitos na estrutura cognitiva do aluno. Os organizadores prévios podem ser textos que abordem de forma introdutória o tema a ser aprendido e servirão de ponte a ligar os conhecimentos prévios com o novo conteúdo. Apesar de ser um material introdutório, este tem que trazer conteúdo de nível mais alto que o já constante na estrutura cognitiva. Ausubel explica que inicialmente um assunto deve ser tratado de forma geral e mais inclusiva, detalhando e diferenciando o conteúdo a medida que o tema é desenvolvido, esse princípio foi denominado por ele de diferenciação progressiva. Em geral, há maior

dificuldade do aprendiz em quebrar seus próprios paradigmas, pré-conceitos existentes e consolidados acerca de dado tema que confrontam com as novas informações adquiridas. Neste caso, Ausubel propõe que o material exposto para o aluno abranja o princípio da reconciliação integrativa, isto é, esse material deve conter informações que permitam apresentar as similaridades e contradições, reconciliando os conceitos prévios aos novos.

2.2 TAXONOMIA DE BLOOM

Taxonomia é a ciência ou técnica utilizada para classificar. É um termo muito utilizado na Biologia. Categorizar objetivos auxilia quando se pensa em planejar situações de aprendizagem. Para obtermos sucesso no processo de ensino aprendizagem, devemos estabelecer com clareza e precisão os objetivos de ensino, seja de forma escrita, com o plano de aula, por exemplo, ou estruturado em seu pensamento. O planejamento do ensino com a definição dos objetivos serve para orientar o professor na escolha de estratégias e metodologias de ensino que tornem a aprendizagem mais fácil, agradável e significativa, e direcionar a avaliação tanto do seu desempenho quanto o do discente.

Em se tratando de instrumentos de planejamento, a Taxonomia dos Objetivos Educacionais, proposta inicialmente por um grupo liderado pelo psicólogo Benjamin Bloom em 1956 e posteriormente revisada em 2001 é um referencial para classificar afirmações do que esperamos que os estudantes aprendam como resultado da instrução e foi concebida como objetivo inicial facilitar a troca de itens em testes entre professores de várias universidades americanas.

A Taxonomia de Bloom pode ser organizada em uma tabela bidimensional, que servirá para classificar os objetivos educacionais. O enunciado do objetivo contém um verbo e um substantivo. O verbo descreve o processo cognitivo pretendido. O substantivo declara o conhecimento esperado que o aluno construa ou adquira. Em uma dimensão, temos as dimensões do conhecimento, que são estruturadas em quatro categorias. A segunda dimensão é a dimensão dos processos cognitivos, organizada em seis categorias gerais e dezenove subcategorias que descrevem processos cognitivos específicos, indo de processos cognitivos mais simples para os mais complexos. Esta tabela (ou matriz) está representada abaixo.

	Lembrar	Entender	Aplicar	Analisar	Avaliar	Criar
A. Conhecimento Factual						
B. Conhecimento Conceitual						
C. Conhecimento Procedimental						
D. Conhecimento Metacognitivo						

Cada célula em branco desta matriz representa um objetivo educacional, entendido a partir de suas células nominadas:

A – Conhecimento factual, que são os elementos básicos que um estudante deve saber para se familiarizar com uma disciplina ou resolver problemas com eles.

Este conhecimento é dividido em duas subcategorias:

Aa - Conhecimento da terminologia.

Ab -Conhecimento de detalhes e elementos específicos.

B – Conhecimento Conceitual, as inter-relações entre os elementos básicos dentro de uma estrutura maior que lhes permitam funcionar em conjunto. Suas subcategorias são conhecimento de clarificações e categorias, de princípios e generalizações e de teorias, modelos e estruturas.

Este conhecimento é dividido em três subcategorias:

Ba - Classificações e categorias

Bb - Princípios e Generalizações

Bc - Teorias, Modelos e Estruturas

C – Conhecimento de procedimentos, como fazer algo; métodos de investigação, e os critérios para o uso de habilidades, algoritmos, técnicas e métodos. Suas subcategorias são conhecimento de habilidades específicas e algoritmos, de técnicas e métodos e de critérios para determinar quando usar procedimentos apropriados.

Este conhecimento é dividido em três subcategorias:

Ca - Habilidades específicas da disciplina e Algoritmos

Cb - Terminologias Específicas da Disciplina e Métodos

Cc - Critérios para Determinar quando usar procedimentos apropriados

D – Conhecimento metacognitivo, o conhecimento de cognição em geral, bem como a consciência e o conhecimento da própria cognição. Suas subcategorias são o conhecimento estratégico, conhecimento sobre tarefas cognitivas, incluindo conhecimento contextual e condicional apropriado.

Este conhecimento é dividido em três subcategorias

Da - Conhecimento estratégico

Db - Conhecimento sobre tarefas cognitivas (contextual e condicional)

Dc - Autoconhecimento

A segunda dimensão é a dimensão dos processos cognitivos. Ela é organizada em seis categorias gerais e dezenove subcategorias que descrevem processos cognitivos específicos, indo de processos cognitivos mais simples para os mais complexos. Elas são as seguintes:

1 – Lembrar, que é promover retenção do material apresentado basicamente na mesma forma que foi apresentado. Lembrar é dividido em duas subcategorias:

11 – Reconhecer, que é localizar conhecimento em memória de longa duração que seja consistente com o material apresentado.

12 – Relembrar, que é buscar conhecimento em memória de longa duração que é consistente com o material apresentado.

2 – Entender, que é ser capaz de construir conhecimento a partir de mensagens instrucionais e material apresentado em várias formas. Os alunos compreendem quando eles constroem pontes entre o novo conhecimento a ser aprendido e o conhecimento já existente. Os processos cognitivos específicos desta categoria são:

21 – Interpretar: ocorre quando o aluno converte a informação recebida de uma forma em outra forma representacional.

22 – Exemplificar: ocorre quando o aluno dá um exemplo de um conceito ou princípio. Supõe identificar as características gerais do conceito ou princípio aprendido.

23 – Resumir: ocorre quando o aluno sugere uma única afirmação que representa a informação apresentada ou um tema geral abstrato.

24 – Concluir: envolve achar um padrão dentro de uma série de exemplos.

25 – Comparar que envolve detectar semelhanças e diferenças entre dois ou mais conceitos, ideias, situações.

26 – Explicar: ocorre quando o aluno está apto a construir e usar um modelo de causa e efeito de um sistema.

3 – Aplicar, que é a capacidade de usar o procedimento aprendido em uma situação

familiar ou nova, que é organizada em duas subcategorias:

31 – Executar: ocorre quando o aluno desempenha rotineiramente um procedimento, quando confrontado como uma tarefa.

32 – Implementar: ocorre quando o aluno seleciona e usa um procedimento para desempenhar uma tarefa não familiar a ele.

4 – Analisar, que envolve separar o material em suas partes constituintes determinar como estas partes são relacionadas entre si e com uma estrutura geral. Suas subcategorias são:

41 – Diferenciar: envolve distinguir as partes de uma estrutura total em termos de sua relevância ou importância. O diferenciar ocorre quando um aluno discrimina informação importante de não importante.

42 – Organizar: envolve identificar os elementos de uma situação e reconhecer como eles se encaixam juntos em uma estrutura coerente.

43 – Atribuir

5 – Avaliar que significa fazer julgamentos baseado em critérios ou padrões. Suas subcategorias são:

51 - Verificar envolve testar as inconsistências internas em uma operação ou em um produto.

52 – Julgar envolve criticar se um produto ou operação baseado em critérios e padrões impostos externamente.

6 – Criar, que consiste em reunir elementos para criar algo novo. Seus processos cognitivos específicos são:

61 – Hipotetizar supõe representar o problema e chegar a alternativas e hipóteses que atendem a certos critérios. No hipotetizar, o aluno recebe uma descrição do problema e precisa produzir soluções alternativas.

62 - Planejar supõe criar um método de solução que atenda aos critérios de um problema, ou seja, desenvolver um plano para resolver o problema.

63 – Produzir supõe desempenhar um plano para resolver um problema dado que atenda a certas especificações.

A tabela é usada para criar estratégias de ensino baseadas na seleção e especificação de objetivos a serem alcançados permitindo a partir dos processos cognitivos e metacognitivos – lembrar, entender, aplicar, analisar, avaliar e criar - escolher os instrumentos e o conteúdo desenvolvido, bem como gerenciar as atividades avaliativas, tornando a aprendizagem mais eficiente e dinâmica.

Planejar significa relacionar as alternativas disponíveis visando alcançar os objetivos propostos levando-se em consideração as consequências da escolha feita e as possibilidades de interferência na execução da ação.

No contexto escolar, planejar significa articular metas às estratégias possíveis. É um processo racional de reflexão a respeito de ações e caminhos a serem seguidos, tendo como foco o aprendizado do aluno.

A avaliação permite que o professor faça escolhas no decorrer do processo de ensino, pois fornece dados para que o docente decida se o resultado obtido pode ser considerado satisfatório ou se deve ser modificada a conduta em prol da obtenção de novos resultados. Tipos diferentes de objetivos exigem diferentes formas de avaliação.

O alinhamento (Krathwohl, 2001) refere-se ao grau de correspondência entre os objetivos, a instrução e a avaliação. O desalinhamento entre os objetivos, as atividades instrucionais e as avaliações, pode gerar resultados que não correspondem a situação real. O professor ao definir os objetivos, deve se preocupar em selecionar atividades que direcionem o aluno para alcançar tais objetivos.

Para Bloom, as avaliações devem ser pensadas de maneira a avaliar os conhecimentos adquiridos após as atividades instrucionais, ou seja, deve ser planejada de forma paralela às atividades instrucionais.

Os objetivos educacionais de Bloom auxiliam na definição dos resultados de aprendizagem, que por sua vez auxiliam na escolha das atividades instrucionais, originando um encadeamento entre as duas ações.

O pressuposto da Taxonomia de Bloom visa desenvolver no aluno a capacidade de aprender em níveis de dificuldades crescentes dispondo conteúdos em um processo organizado e sequenciado, observando o processo de diferenciação progressiva e integrativa, evitando a memorização de respostas na execução das atividades propostas pelo professor. A Taxonomia não exclui a aprendizagem mecanizada, mas a utiliza em momentos introdutórios conceituais evoluindo a conceitos relacionados a níveis mais elevados de conhecimento.

3 TERMODINÂMICA

3.1 A PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA

Para levar à fervura dois litros de leite, leva-se o dobro do tempo que é necessário para um litro, colocado na mesma panela e levado à mesma chama. A variação de temperatura é a mesma nos dois casos (da temperatura ambiente ao ponto de ebulição), mas a transferência de calor é dupla para dois litros. Costuma-se empregar o termo “quantidade de calor” em lugar de “transferência de calor”, mas é importante que, ao contrário do que pretendia o modelo do calórico, o calor é uma substância como um fluido, cujo valor total pode ser medido.

Como o calor é uma forma de energia, pode ser medido em unidades de energia, como o Joule. Entretanto, historicamente, foi adotada uma unidade independente de quantidade de energia térmica (calor), a caloria, cujo uso persiste até hoje.

A caloria é definida atualmente como a quantidade de calor necessária para elevar de $14,5^{\circ}\text{C}$ para $15,5^{\circ}\text{C}$, à pressão de 1atm, a temperatura de 1g de água. Para que 1kg de água sofra essa mesma elevação de temperatura, é necessário fornecer-lhe 10^3 cal (calorias) = 1kcal (quilocaloria), pois a quantidade de calor necessária, se os demais fatores permanecem os mesmos, é proporcional à massa da substância. A “caloria” empregada na nutrição corresponde na verdade a 1kcal.

A quantidade de calor necessária para elevar de 1°C a temperatura de 1g de uma dada substância recebe o nome de *calor específico* (c) dessa substância; c é medido em cal/g $^{\circ}\text{C}$. Pela definição de calor, o calor específico da água entre $14,5^{\circ}\text{C}$ e $15,5^{\circ}\text{C}$ é 1 cal/g $^{\circ}\text{C}$.

O calor específico varia geralmente com a temperatura; assim, no intervalo entre 0°C e 1°C , o calor específico da água é 1,008 cal/g $^{\circ}\text{C}$; na prática, neste caso, podemos desprezar tal variação.

Para que o calor específico esteja bem definido, é preciso especificar ainda em que condições ocorre a variação de temperatura: se a pressão é mantida constante, obtém-se um valor diferente daquele que se obtém quando é mantido constante o volume da substância. O *calor específico à pressão constante*, c_p e o *calor específico à volume constante*, c_v são chamados de “calores específicos principais”.

Para líquidos e sólidos, a diferença entre c_p e c_v é pequena; geralmente o calor específico é medido à pressão atmosférica, ou seja, trata-se de c_p . Para gás, c_p e c_v são bastante diferentes. Discutiremos, mais adiante, a razão dessa diferença.

3.1.1 Capacidade Térmica

Se tivermos m gramas de uma substância pura de calor específico c , a quantidade de calor ΔQ necessária para elevar sua temperatura de ΔT é:

$$\Delta Q = mc\Delta T = C\Delta T \quad (3.1.1.1)$$

onde $C = mc$ é denominado de *capacidade térmica* da amostra considera (mede-se em cal/°C)

A capacidade térmica de um sistema formado de m_1 gramas de uma substância de calor específico c_1 , m_2 de calor específico c_2 etc. é

$$C = m_1c_1 + m_2c_2 + \dots \quad (3.1.1.2)$$

Se o intervalo de temperatura entre a temperatura inicial T_i e a temperatura final T_f é suficientemente grande para que seja preciso levar em conta a variação do calor específico com a temperatura, $c = c(T)$, a (3.1.1.1) é substituída por

$$\Delta Q = m \int_{T_i}^{T_f} c(T) dT \equiv m\bar{c} (T_f - T_i) \quad (3.1.1.3)$$

Suponhamos que uma amostra A de massa m_A de uma substância de calor específico c_A , aquecida a uma temperatura T , é mergulhada dentro de uma massa m de água, de calor específico c , contida num recipiente de paredes adiabáticas e de capacidade térmica C . A água e o recipiente estão inicialmente à temperatura $T_i < T_f$. Após estabelecer-se o equilíbrio térmico, o sistema atinge a temperatura T_f , medida pelo termômetro T (Figura 3.1.1)

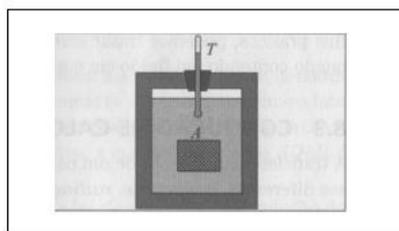


Figura 3.1.1 – Calorímetro de mistura

Como as paredes adiabáticas não permitem trocas de calor com o exterior, a quantidade de calor $\Delta Q = m_Ac_A(T_A - T_f)$ perdida pela amostra é inteiramente cedida à água $[mc(T_f - T_i)]$ e ao recipiente $[C(T_f - T_i)]$, ou seja,

$$m_Ac_A(T_A - T_f) = [mc(T_f - T_i)] + [C(T_f - T_i)] \quad (3.1.1.4)$$

Conhecendo-se todos os demais termos que nela aparecem, a (3.1.1.4) permite determinar o calor específico c_A da amostra (mais precisamente, o calor

específico médio no intervalo entre T_f e T_A). Este é o *princípio do calorímetro de misturas*.

3.1.2 O equivalente mecânico de calor

Definimos anteriormente a unidade de calor (caloria) em termos da variação de temperatura que produz, numa dada massa de água. A identificação do calor com uma forma de energia levou ao problema da determinação da “taxa de câmbio” entre caloria e a unidade mecânica de energia, joule (J).

Joule determinou essa equivalência entre as unidades através de um experimento. O tipo de aparelho que empregou em seus experimentos está representado na figura 3.1.2

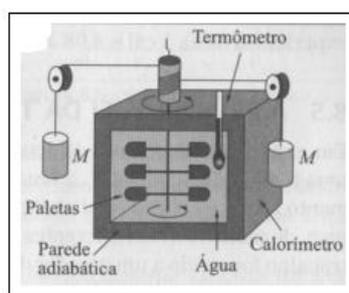


Figura 3.1.2 – Experimento de Joule

Num calorímetro (recipiente de paredes adiabáticas, ou seja, termicamente isolado) cheio de água, é inserido um conjunto de paletas presas a um eixo. Este é colocado em rotação pela queda de um par de pesos (massas M , por meio de um sistema de polias). O atrito das paletas aquece a água, cuja variação de temperatura determinada por um termômetro, corresponde a certo número de calorias. O trabalho mecânico equivalente é medido pela altura da queda dos corpos.

Joule repetiu a experiência inúmeras vezes introduzindo variantes no método: mudou a natureza do fluido aquecido e do material das paletas, bem como do processo de aquecimento. Assim, em lugar das paletas, empregou o efeito joule, o aquecimento de um fio (resistência) provocado pela passagem de corrente elétrica. A energia medida equivalente, neste caso, corresponde ao trabalho realizado para alimentar o gerador de corrente. Os valores que obteve concordavam entre si dentro de $\sim 5\%$, e seu melhor valor difere do que é atualmente aceito por menos de 1% , o que representa um resultado notável para sua época.

Em 1879, Rowland fez uma determinação experimental cuidadosa, e estimou o erro de seu resultado em menos de duas partes por 1000. De fato, concordava com o valor atual dentro de uma parte em 2000. O valor atualmente aceito é

$$1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J}$$

3.1.3 Considerações da Primeira Lei da Termodinâmica

Em experimentos como o de Joule, a água contida no calorímetro pode ser levada de uma temperatura inicial T_i , a uma temperatura final T_f , sempre em condições de isolamento térmico (paredes adiabáticas: Figura 3.1.3.1) pela realização de trabalho mecânico de muitas formas diferentes, como vimos (paletas acionadas pela queda de pesos, trabalho fornecido a um gerador de corrente elétrica etc.) trabalho realizado sobre um sistema termicamente isolado recebe o nome de *trabalho adiabático*.

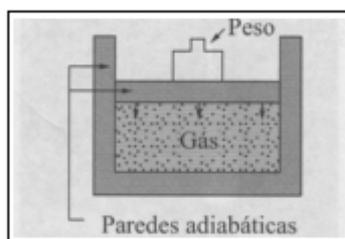


Figura 3.1.3.1 – Trabalho adiabático

Suponhamos que o fluido contido no calorímetro é um gás, em lugar de água. A Figura 3.1.3.1 ilustra outro método de realizar trabalho adiabático sobre o sistema, neste caso, variando o seu volume por meio de uma *compressão adiabática*. Sabemos que isto também aquece o gás (quando bombeamos ar rapidamente para encher um pneu de bicicleta, o que constitui um processo aproximadamente adiabático, ele se aquece)

O estado de um fluido homogêneo em equilíbrio térmico fica inteiramente determinado por um par de variáveis, que podem ser a pressão P e o volume V (neste caso, a temperatura T fica determinada), mas também podem ser (P, T) ou (V, T)

Nas experiências de Joule, o volume V de fluido era mantido constante, de modo que o estado do fluido ficava determinado pela sua temperatura T . passar de T_f a T_i , equivale, nessas condições, a passar de um estado inicial i a um estado final f por meio da realização de trabalho adiabático Joule mostrou que, fazendo isso de varias formas diferentes, o trabalho adiabático necessário pra passar de um estado inicial i para um estado final f era sempre o mesmo, o que lhe permitiu determinar o equivalente

mecânico do número de calorías associado à passagem $T_i \rightarrow T_f$.

No exemplo da Figura 3.1.3.1, de um gás contido num recipiente termicamente isolado com uma parede móvel (pistão), podemos representar graficamente num diagrama ($P < V$) a passagem de um estado inicial (P_i, V_i) a um estado final (P_f, V_f) , através de processos diferentes.

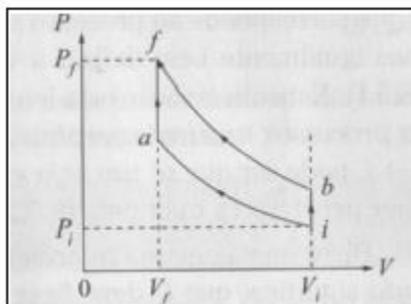


Figura 3.1.3.2 – Caminhos diferentes

Partindo do ponto inicial i de coordenadas (P_i, V_i) , podemos, por exemplo, comprimir adiabaticamente o gás até o volume V_f (ponto a do gráfico) e depois levá-lo até o ponto final f de coordenadas (P_f, V_f) fornecendo trabalho adiabático a volume V_f constante, por meio, por exemplo, de uma resistência e um gerador de corrente elétrica, como nas experiências de Joule.

Alternativamente podemos começar a volume constante V_i , usando esse processo para levar o sistema ao ponto b do gráfico da Figura 3.1.3.2, e depois, por compressão adiabática, leva-lo de b até f . Ilustramos assim dois caminhos alternativos, (iaf) e (ibf) , para levar o sistema, mantendo-o sempre termicamente isolado de i até f .

Generalizando as experiências de Joule, podemos dizer que o trabalho adiabático total para passar de i até f seria o mesmo por meio de qualquer desses dois caminhos.

Essa é uma forma de enunciar a Primeira Lei da Termodinâmica.

O trabalho realizado para levar um sistema termicamente isolado de um dado estado inicial a um dado estado final é independente do caminho.

Isto significa que o trabalho adiabático para passar de i até f é o mesmo, quaisquer que sejam os estados intermediários pelos quais o sistema passa, e qualquer que seja a forma de realizar esse trabalho. Logo, esse trabalho só pode depender dos estados inicial e final.

Temos que quando o trabalho independe do caminho, como por exemplo, num campo gravitacional, podemos concluir a existência de uma *função energia potencial* do sistema mecânico dependente apenas da configuração desse sistema, cuja variação entre

as configurações inicial e final corresponde ao trabalho realizado.

Analogamente, decorre do enunciado acima da Primeira Lei da Termodinâmica que existe uma função do estado de um sistema termodinâmico, que chamaremos de sua *energia interna* U , cuja variação $U_f - U_i$, entre o estado final e estado inicial *é igual ao trabalho adiabático necessário para levar o sistema de i até f .*

$$\Delta U = U_f - U_i = - W_{i \rightarrow f} \quad (\text{adiabático}) \quad (3.1.3.1)$$

O sinal (-) resulta da seguinte convenção: W representa sempre o trabalho realizado por um sistema.

Assim a energia interna de um sistema aumenta, ($\Delta U > 0$) quando se realiza trabalho sobre esse sistema ($W_{i \rightarrow f} < 0$).

Nota-se que, como no caso da mecânica, somente são definidas pela (3.1.3.1) as *variáveis de energia interna*, ficando indefinida a escolha do nível zero.

A (3.1.3.1) também é equivalente a

$$\Delta U = U_f - U_i = + W_{f \rightarrow i} \quad (\text{adiabático}) \quad (3.1.3.2)$$

o que corresponde ao processo adiabático inverso, em que se passa de f para i e podemos igualmente bem definir a variação de energia pela (3.1.3.2), em lugar da (3.1.3.1). Esta observação está longe de ser trivial, porque *os processos naturais geralmente não são reversíveis*. Dos dois processos: $i \rightarrow f$ ou $f \rightarrow i$, pode ser que *só um seja exequível* e por isto é importante que ΔU seja definido quer pela (3.1.3.1) quer pela (3.1.3.2).

Dizer que a energia interna U de um sistema termodinâmico é uma *função de estado* significa, que U deve ficar completamente definida (a menos de uma constante aditiva arbitrária U_0 , ligada à escolha do nível zero) quando especificamos o estado do sistema. Para um fluido homogêneo, por exemplo, um estado de equilíbrio é especificado por qualquer par de variáveis (P, V, T). Logo, neste caso, podemos considerar U como função de qualquer desses pares.

$$U = U(P, V); \quad U = U(P, T); \quad U = U(V, T) \quad (3.1.3.3)$$

Em lugar de levar um sistema de um estado i a um estado f por um processo adiabático, associado à realização de trabalho, podemos levá-lo do mesmo modo estado inicial ao mesmo estado final por processos não adiabáticos, ou seja, sem mantê-lo em isolamento térmico. Neste caso, o recipiente que encerra o sistema deverá ter, pelo menos, uma *parede diatérmica*, permitindo a passagem de calor. Assim, por exemplo, no experimento de Joule, em lugar de aquecer a água de T_i para T_f , fornecendo trabalho mecânico, podemos fazê-lo sem que qualquer trabalho mecânico,

podemos fazê-lo sem que qualquer trabalho mecânico esteja envolvido ($W_{i \rightarrow f} = 0$): basta que o sistema tenha uma parede diatérmica, *colocada sobre a chama de um bico de Bunsen, por exemplo* (Figura 3.1.3.3)

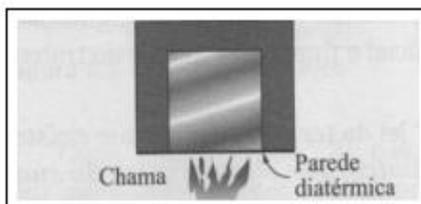


Figura 3.1.3.3 – Fornecimento de calor

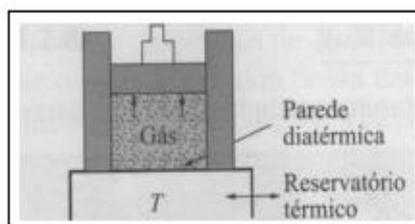


Figura 3.1.3.4 – Expansão isotérmica

Analogamente, em lugar de expandir ou comprimir um gás *adiabaticamente* (Figura 3.1.3.3), podemos fazê-lo *isotermicamente*, ou seja, mantendo-o a temperatura constante, colocando-o em contato, através de uma parede diatérmica, com um reservatório térmico à temperatura T (Figura 3.1.3.4). Neste caso, o movimento do pistão na expansão ou compressão estará associado a um trabalho $W_{i \rightarrow f}$, mas ele não será mais igual ao que se teria no caso adiabático.

Como a energia interna do sistema é uma função de estado, e os estados i (inicial) e f (final) são sempre os mesmos, a variação de energia interna correspondente, $\Delta U = U_f - U_i$, é sempre a mesma, mas a (3.1.3.1) deixa de valer quando o trabalho $W_{i \rightarrow f}$ não é adiabático. A 1ª lei da termodinâmica, que equivale ao princípio de conservação da energia, identifica a contribuição a ΔU que não é devida a trabalho fornecido ao sistema com uma nova forma de energia, o calor Q transferido ao sistema.

$$\Delta U = U_f - U_i = Q - W_{i \rightarrow f} \quad (3.1.3.4)$$

Na (3.1.3.4), que é definição termodinâmica de Q , o calor já é medido em unidades de energia. O sinal de Q resulta da convenção que será sempre adotada:

Usaremos a convenção sobre Q :

Q representa sempre o calor fornecido a um sistema.

Assim, a energia interna de um sistema aumenta ($\Delta U > 0$) quando lhe fornecemos calor ($Q > 0$) ou realizamos trabalho sobre ele ($W_{i \rightarrow f} < 0$). As convenções de

sinal sobre Q e W se originam historicamente da aplicação da termodinâmica às máquinas térmicas, para as quais é conveniente contar positivamente o calor fornecido à máquina e o trabalho realizado por ela.

A (3.1.3.1) é um caso particular da (3.1.3.4): vemos que *um processo é adiabático se $Q = 0$* . Isto ocorre quando o sistema é isolado termicamente, mas também pode ocorrer se o processo é realizado tão rapidamente que não há tempo para uma transferência de calor apreciável para dentro ou para fora do sistema.

A figura 8.7 ilustra um exemplo onde $W_{i \rightarrow f} = 0$, e a variação de energia interna se deve somente à transferência de calor. A compressão ou expansão isotérmica de um gás (figura 34) fornece um exemplo onde $Q \neq 0$ e $W_{i \rightarrow f} \neq 0$ ao mesmo tempo.

A (3.1.3.4) é a formulação geral da 1ª lei da termodinâmica. Podemos enunciá-la sucintamente dizendo: *a energia se conserva quando levamos em conta o calor*. Neste sentido, as forças “*não conservativas*” ou “*dissipativas*” encontradas na mecânica, como a força de atrito, também *conservam a energia total*, nela incluindo o calor vemos que o calor representa a energia transferida entre o sistema e sua vizinhança através de uma parede diatérmica, em virtude de diferenças de temperatura, descontando-se a eventual transferência de trabalho.

Não é óbvio, a priori, que esta definição termodinâmica de Q coincida com a definição calorimétrica de Q , na qual Q é medido, tipicamente: um corpo A é colocado em contato térmico com um corpo B (massa de água) dentro de um recipiente isolado adiabaticamente (calorímetro). Nestas condições, nenhum trabalho é realizado, de modo que a (3.1.3.4) resulta em

$$\Delta U_A = Q_A, \Delta U_B = Q_B \quad (3.1.3.5)$$

Para o sistema total, como o calorímetro tem paredes adiabáticas ($Q = 0$) e $W_{i \rightarrow f} = 0$, vem

$$\Delta U = \Delta U_A + \Delta U_B = 0 \quad \{ \quad Q_B = -Q_A \quad (3.1.3.6)$$

Logo, o calor cedido por A é transferido para B (água), ocasionando uma variação de temperatura, que é a base da definição calorimétrica. Vemos assim que as duas definições coincidem.

A subdivisão entre calor e trabalho depende do que decidimos incluir como fazendo parte do sistema ou de sua vizinhança. Assim, se aquecemos água por meio de uma resistência elétrica, fornecemos trabalho para alimentar o gerador de corrente, há transferência de trabalho quando o gerador é incluído no sistema, mas, se considerarmos apenas a água como o sistema, só há transferência de calor (devida à diferença de

temperatura entre a resistência e a água)

3.1.4 Processos reversíveis

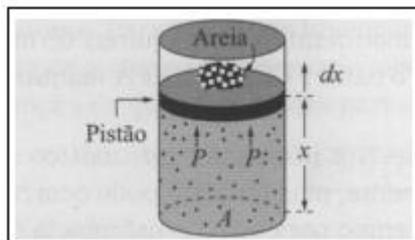


Figura 3.1.4.1 – Expansão reversível

Consideremos um fluido (por exemplo, um gás) em equilíbrio térmico, ocupando um recipiente cilíndrico de área A e altura x (Figura 3.1.4.1), sobre o qual exerce uma pressão P ; o volume do recipiente é $V = Ax$. A base superior é móvel (pistão), e o gás exerce sobre ela uma força $F = PA$, equilibrada por um peso equivalente, representado na figura 4.6 por um monte de areia colocado sobre o pistão. Supomos que o atrito entre o pistão e as paredes é desprezível.

Vamos imaginar que o gás sofre uma expansão infinitésima, correspondente a um deslocamento infinitésimo dx do pistão: podemos concebê-lo como resultante da remoção de um só grão de areia do monte. O trabalho realizado pelo fluido nessa expansão é

$$d'W = Fdx = PAdx = PdV \quad (3.1.4.1)$$

onde $dV = Adx$ é a variação de volume do fluido. A razão pela qual usamos a notação $d'W$ em lugar de dW é que, embora se trate de um trabalho infinitésimo, não representa a diferencial exata de uma função W , conforme será explicado mais adiante.

Se repetirmos este procedimento, levando gradativamente a uma expansão finita, o processo se diz *reversível*, desde que as seguintes condições estejam satisfeitas:

(i) o processo se realiza muito lentamente

(ii) o atrito é desprezível

(i) esta condição é indispensável para que o fluido passe por uma sucessão de estados de equilíbrio térmico, em cada um dos quais P e V são bem definidos. Para ver por que isto é necessário, é interessante considerar um contraexemplo: a expansão livre de um gás.

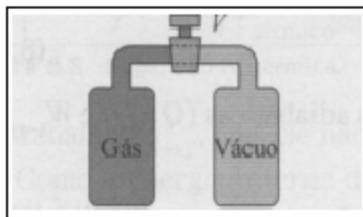


Figura 3.1.4.2 – Expansão livre

Dois recipientes, um contendo gás e outro em que se fez vácuo, estão ligados por uma tubulação em que há uma válvula V , inicialmente fechada. Num dado instante, abre-se a válvula. O gás se expande rapidamente até preencher os dois recipientes. Depois que voltou a atingir o equilíbrio térmico, terá havido uma variação de volume e uma variação de pressão, mas o trabalho externo realizado pelo gás na expansão livre é nulo.

O que acontece nesse exemplo, logo após a abertura da válvula, é que se produz um escoamento turbulento do gás através da tubulação. Para descrever o processo de expansão, seria preciso empregar variáveis hidrodinâmicas (pressão, velocidade, densidade) que variariam rapidamente de ponto a ponto do gás, ou seja, os estados intermediários atravessados pelo sistema estão muito longe do equilíbrio termodinâmico, sendo impossível descrevê-los em termos das variáveis termodinâmicas P e V .

Idealmente, o processo de expansão reversível deve ser “infinitamente lento”: a cada instante, a diferença entre o estado do sistema e um estado de equilíbrio termodinâmico deve ser infinitésima. Tal processo recebe o nome de *quase estático*: podemos imaginar que se retira areia grão a grão, aguardando cada vez um tempo suficiente (tempo de relaxação) para que se restabeleça o equilíbrio após a expansão infinitésima. Na prática, o tempo de relaxação é bastante curto, e basta que a velocidade de expansão seja pequena, em confronto com a velocidade de restabelecimento do equilíbrio.

(ii) se existe atrito entre o pistão e as paredes, a pressão externa P' durante a expansão tem de ser $< P$, a diferença representando a força necessária para vencer o atrito. Logo, o trabalho externo realizado será $P'dV < PdV$, a diferença representando o calor gerado pelo atrito.

Um processo de expansão quase estático e sem atrito é *reversível*, ou seja, pode ser invertido. Isto se faz passando pela sucessão de estados de equilíbrio em sentido inverso: recolocamos a areia grão a grão. Como $dV < 0$, o trabalho realizado “pelo” gás

$PdV < 0$ representa na realidade o trabalho que realizamos *sobre* ele ($-PdV > 0$) para comprimí-lo

O trabalho realizado por um fluido num processo reversível em que o volume passa de V_i e V_f é

$$W_{i \rightarrow f} = \int_{V_i}^{V_f} d'W = \int_{V_i}^{V_f} PdV \quad (3.1.4.2)$$

Embora tenhamos considerado aqui um recipiente cilíndrico, a (3.1.4.1) vale para um recipiente de forma qualquer. Com efeito, se um elemento de área dA da superfície do recipiente sofre um deslocamento para fora dn (na direção da normal) no processo de expansão (Figura 3.1.4.3), o trabalho realizado é $PdAdn$, e o trabalho total, obtido integrando sobre toda a superfície do recipiente (P é constante) é igual a PdV , onde dV é a variação de volume do recipiente. Logo, a (3.1.4.1) permanece válida.

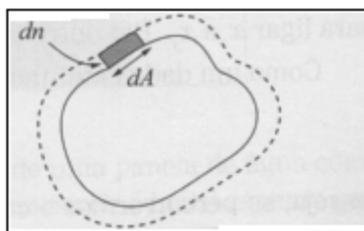


Figura 3.1.4.3 – Recipiente qualquer

Como transferir calor a um sistema de forma reversível?

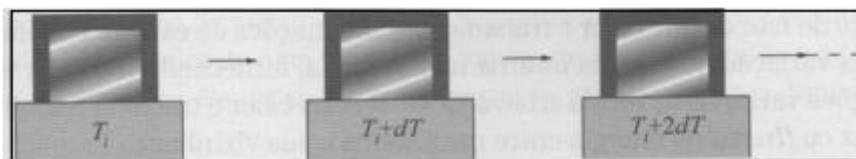


Figura 3.1.4.4 – Transferência reversível de calor

A Figura 3.1.4.4 ilustra de que forma isto é possível. Partindo de uma temperatura inicial T_i do sistema (representado na figura em contato térmico com um reservatório térmico de temperatura T_i), transferimos o sistema para contato térmico com outro reservatório térmico à temperatura $T_i + dT$, onde dT é infinitésimo, e aguardamos até que se restabeleça o equilíbrio térmico. Daí o transferimos para novo reservatório térmico a temperatura $T_i + 2dT$, e assim sucessivamente, elevando de dT a temperatura em cada estágio, até que seja atingida a temperatura final T_f , correspondente à transferência de calor desejada. Como a temperatura de cada reservatório térmico não é afetada pela troca de calor infinitesimal, o processo todo é reversível, bastando para isso inverter a ordem das operações.

Em contraste com este procedimento, o aquecimento de uma panela de água colocada sobre uma chama não é, obviamente, um processo reversível: é inútil esperar que a água quente devolva o calor à chama e se resfrie.

Consideremos agora a (3.1.3.4). Como $W_{i \rightarrow f}$, num processo reversível, depende do caminho, e $\Delta U = U_f - U_i$ não depende, concluímos que Q também depende do caminho, ou seja, não existe uma função de estado Q , que representaria o “calor contido num sistema”: o calor não é uma substância, ao contrário do que pretendia a teoria do calórico.

Devemos, portanto, representar por $d'Q$ (diferencial inexata) uma transferência de calor infinitesimal. Se esta transferência se dá por um processo reversível, produzindo uma variação dT de temperatura num sistema de capacidade térmica C , temos (3.1.1.1)

$$d'Q = CdT \quad (3.1.4.3)$$

que podemos considerar como análogo da (3.1.4.1)

A formulação infinitesimal da 1ª lei da termodinâmica é, portanto,

$$dU = d'Q - d'W \quad (3.1.4.4)$$

onde a diferencial exata dU é a diferença das duas diferenciais inexatas $d'Q$ e $d'W$, da mesma forma que, somando as diferenciais inexatas ydx e xdx , obtemos a diferencial exata

$$ydx + xdy = d(xy + constante)$$

Para uma transformação reversível aplicada a um fluido homogêneo, obtemos, substituindo as (3.1.4.1) e (3.1.4.3) na (3.1.4.4)

$$dU = Cdt - PdV \quad (3.1.4.5)$$

Da mesma forma que, na (3.1.4.2), P depende do caminho, podemos também escrever, para um processo reversível onde a temperatura passa de T_i a T_f ,

$$Q = \int_{T_i}^{T_f} C dT \quad (3.1.4.5)$$

Notemos, em conclusão, que a energia interna de um sistema num dado estado não pode ser identificada nem como calor nem como trabalho: é impossível dizer que proporção dela representa “calor” e que proporção representa “trabalho”. Isto decorre diretamente do fato de que calor e trabalho não são funções de estado. Podemos produzir a mesma variação de energia interna num sistema, fornecendo-lhes calor e trabalho em proporções variáveis de forma arbitrária. Os termos calor e trabalho referem-se sempre a trocas ou fluxos de energia entre um sistema e sua vizinhança.

3.1.5 Exemplos de processos

a) Ciclo

Para um processo cíclico, o sistema volta sempre exatamente ao seu estado inicial. Logo, $\Delta U = 0$ e a 1ª lei resulta em:

$$W = Q \quad (3.1.5.1)$$

ou seja, o *trabalho produzido pelo sistema num ciclo reversível é igual ao calor que lhe é fornecido*. Este resultado se aplica, em particular, às máquinas térmicas, que operam em ciclos repetitivos.

b) Processo isobárico

É, por definição, um processo em que *a pressão P permanece constante*: por exemplo, processos que ocorrem à pressão atmosférica.

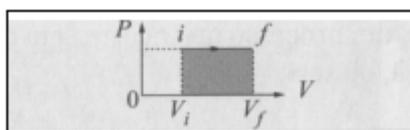


Figura 3.1.5.1 – Processo isobárico

Pela (3.1.4.2), o trabalho realizado num processo isobárico reversível é (Figura 3.1.5.1)

$$W_{i \rightarrow f} = P \int_{V_i}^{V_f} dV = P (V_f - V_i) \quad (3.1.5.2)$$

e a 1ª lei fica

$$\Delta U = U_f - U_i = Q - P (V_f - V_i) \quad (\text{isobárico}) \quad (3.1.5.3)$$

Podemos citar um exemplo: na caldeira de uma máquina a vapor, a água é, primeiro, aquecida até a temperatura de ebulição, e depois vai sendo vaporizada a pressão constante.

Podemos esquematizar o processo, para cada porção de água convertida em vapor, da mesma forma indicada na Figura 3.1.5.2. No estado inicial i , temos certa massa de água em forma líquida, ocupando um volume V_i . A caldeira fornece um calor Q para vaporizar a água à pressão constante P ; idealizamos a caldeira como um reservatório térmico. O volume de vapor de água produzido é V_f . Geralmente, $V_i \gg V_l$ de modo que houve uma *expansão isobárica* do fluido

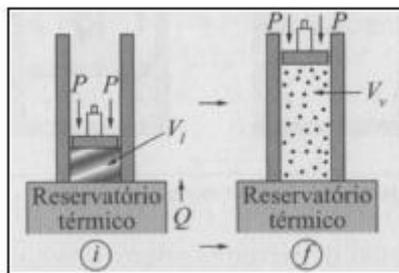


Figura 3.1.5.2 – Expansão isobárica

Para vaporizar 1g de água, é preciso fornecer-lhe uma quantidade de calor L chamada de *calor latente de vaporização*. Para a água a $P = 1 \text{ atm}$ e $T = 100^\circ\text{C}$, tem-se $L = 539 \text{ cal/g}$; na caldeira de uma máquina a vapor, em geral, a pressão e a temperatura são bem mais elevadas. Se o sistema consiste em m gramas de água, temos, portanto, por definição

$$Q = mL \quad (3.1.5.4)$$

e o trabalho realizado na expansão isobárica resulta em:

$$\Delta U = mL - P(V_f - V_i) \quad (3.1.5.5)$$

Esta variação de energia interna necessária para levar o sistema do estado líquido ao de vapor pode ser interpretada, do ponto de vista microscópico, como a energia necessária para romper as forças de atração entre as moléculas de água no líquido.

c) processo adiabático

É um processo que ocorre sem que haja trocas de calor entre o sistema e sua vizinhança, ou seja,

$$Q = 0 \quad (3.1.5.6)$$

Logo, a 1ª lei volta a assumir a forma (3.1.3.1)

$$\Delta U = U_f - U_i = -W_{i \rightarrow f} \quad (\text{adiabático}) \quad (3.1.5.7)$$

É importante notar que a (3.1.5.7) é aplicável quer o processo seja reversível ou não seja: essa forma da 1ª lei representa simplesmente a lei de conservação de energia. Para um processo reversível num fluido, a diferença é que a (3.1.4.2) também pode ser aplicada; se o processo não é reversível, $W_{i \rightarrow f}$ deixa de ser dado pela (3.1.4.2), mas a (3.1.5.7) permanece válida

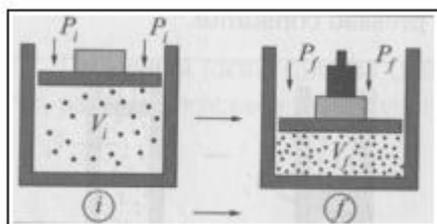


Figura 3.1.5.3 – Compressão adiabática

3.2 PROPRIEDADES DOS GASES

3.2.1 Equação de estado do gás ideal

As substâncias que tem o comportamento termodinâmico mais simples são os gases. Já vimos, que não só para um gás, mas para qualquer fluido homogêneo, um estado de equilíbrio termodinâmico fica inteiramente caracterizado por qualquer par das três variáveis (P, V, T) . Isto significa que a terceira é uma função das outras duas, ou seja, que existe uma relação funcional do tipo:

$$f(P, V, T) = 0 \quad (3.2.1.1)$$

que se chama *equação de estado do fluido*.

A equação de estado assume uma forma especialmente simples para um *gás ideal* também chamado de *gás perfeito*.

a) A lei de Boyle

Em 1662, o físico inglês Robert Boyle publicou um livro intitulado “A mola do ar”, contendo uma nova lei relativa à elasticidade do ar, ou seja, relacionando sua pressão com seu volume.

A experiência realizada por Boyle para obter a nova lei está ilustrada na Figura 3.1.5.4 foi usado um tubo manométrico em U, aberto numa extremidade à pressão atmosférica P_0 e fechado na outra, onde a coluna de mercúrio aprisiona um volume V de ar (lido diretamente na escala graduada do tubo). A pressão P exercida sobre o volume V é

$$P = P_0 + \rho gh \quad (3.2.1.2)$$

Onde h é o desnível entre dois ramos do tubo (figura) e ρ é a densidade do mercúrio

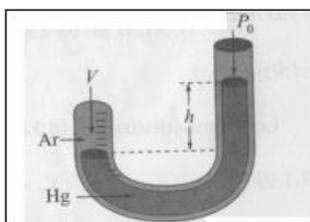


Figura 3.1.5.4 – Experimento de Boyle

A experiência era realizada a uma temperatura T constante (temperatura ambiente), com uma quantidade fixa de gás (ar) aprisionado. A pressão P podia ser

variada despejando-se mais mercúrio no ramo aberto. O resultado foi que, nessas condições, o volume V era inversamente proporcional a P :

$$V = k / P \quad \{ \quad PV = k = \text{constante} \quad (3.2.1.3)$$

Esta é a *lei de Boyle*

A temperatura constante, o volume de uma dada quantidade de gás varia inversamente com a pressão.

A constante k , na (3.2.1.3), depende da temperatura e da quantidade de gás. No plano (P, V) a (3.2.1.3), que representa uma *isoterma*, é a equação de uma *hipérbole*.

A lei de Boyle foi redescoberta independentemente por Mariotte em 1676.

b) A lei de Charles

O passo seguinte é investigar como V ou P variam com T , quando a outra variável é mantida constante. Estudar a dependência de V com a temperatura, a pressão constante, equivale a estudar o *coeficiente de dilatação volumétrica* β do gás.

Seja V_θ o volume do gás a temperatura θ na escala Celsius e V_0 o volume correspondente a 0°C , ambos à pressão de 1 atm. Temos então, pela definição de β ,

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{V_\theta - V_0}{V_0} = \beta\theta \quad (P = 1 \text{ atm}) \quad (3.2.1.4)$$

Em 1787, o físico francês Jacques Charles observou que *todos os gases têm aproximadamente o mesmo coeficiente de dilatação volumétrica*, $\beta \approx 1/273$. Isto foi verificado experimentalmente com maior precisão em 1802, por Joseph Louis Gay-Lussac. O valor atualmente aceito é:

$$\beta = \frac{1}{273,15} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \quad (3.2.1.5)$$

Logo, substituindo na (3.2.1.4),

$$V_\theta = V_0(1 + \beta\theta) = \frac{V_0}{273,15}(\theta + 273,15)$$

ou seja, com $T_0 = 273,15\text{K}$ ($\approx 0^\circ\text{C}$),

$$\frac{V(T)}{V(T_0)} = \frac{V}{V_0} = \frac{T}{T_0} \quad (P = P_0 = \text{constante}) \quad (3.2.1.6)$$

que é a lei de Charles

A pressão constante, o volume de um gás é diretamente proporcional à temperatura absoluta.

Esta lei é tanto melhor verificada quanto mais baixa a pressão P_0 .

No limite $P_0 \rightarrow 0$, pode ser usada para definir a escala termométrica de gás ideal, usando um termômetro de gás a pressão constante.

Analogamente,

$$\frac{P(T)}{P(T_0)} = \frac{P}{P_0} = \frac{T}{T_0} \quad (V = V_0 = \text{constante}) \quad (3.2.1.7)$$

c) A lei dos gases perfeitos

Podemos obter a equação de estado de um gás ideal combinando a lei de Boyle com a lei de Charles. Para isto vejamos como se pode passar de um estado (P_0, V_0, T_0) a (P, V, T) .

A figura 23 mostra as isotermas (hipérboles) associadas à lei de Boyle (3.2.1.3) no plano (P, V) , para uma dada massa de gás. Queremos passar do ponto 0 ao ponto a do plano.

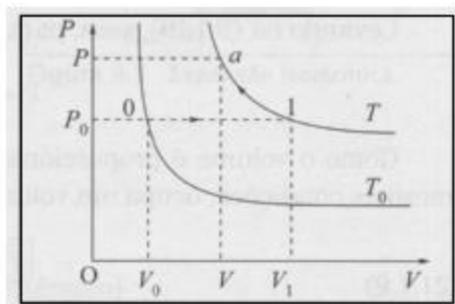


Figura 3.1.5.5 – Experimento de Boyle

Para isso, podemos passar primeiro do ponto 0 ao ponto 1 (Figura 3.1.5.5), a pressão P_0 constante, e depois de 1 até a , a temperatura T constante.

A passagem de 0 (P_0, V_0, T_0) a 1 (P_0, V_1, T) se obtém pela lei de Charles (3.2.1.6)

$$\frac{V_1}{V_0} = \frac{T}{T_0} \quad (\text{com } P = P_0) \quad (3.2.1.8)$$

A passagem de 1 (P_0, V_1, T) até $a (P, V, T)$ se obtém pela lei de Boyle (45)

$$P_0 V_1 = P V \quad (T = \text{constante}) \quad (3.2.1.9)$$

Substituindo V_1 na (3.2.1.9) pelo seu valor tirado da (3.2.1.8), obtemos

$$\frac{P V}{T} = \frac{P_0 V_0}{T_0} = \text{constante} \quad (3.2.1.10)$$

que é o resultado desejado

A constante na (3.2.1.10) depende apenas da natureza do gás e de sua quantidade. Para obter a forma dessa dependência, vamos antecipar um resultado que decorre da *lei de Avogadro* (1811).

Chama-se *1 mol* de uma substância pura uma massa desta substância, em

gramas, igual à sua massa molecular.

A partir da lei de Avogadro temos os seguintes resultado:

Um mol de qualquer gás, nas condições NTP, ocupa sempre o mesmo volume, a saber, $V_0 = 22,415l$

Segue-se que para aplicarmos a (3.2.1.10) a 1 mol de gás, o resultado será sempre o mesmo para qualquer gás, ou seja, será uma *constante universal R*, que se chama *constante universal dos gases*

$$R \approx \frac{1 \text{ atm} \times 22,4l}{273K} \approx \frac{1,013 \times 10^5 \frac{N}{m^2}}{2,73 \times 10^2 K} \times 0,0224 \text{ m}^3$$

o que resulta em

$$R = 8,314 \frac{J}{\text{mol K}} = 1,986 \frac{\text{cal}}{\text{mol K}} \quad (3.2.1.11)$$

Levando na (3.2.1.10), vem, para 1 mol de gás

$$V = RT/P \quad (1\text{mol}) \quad (3.2.1.12)$$

Como o volume é proporcional à quantidade de gás, uma massa de n moles, nas mesmas condições, ocupa um volume n vezes maior, o que, finalmente, leva a

$$PV = nRT(n \text{ moles}) \quad (3.2.1.13)$$

Esta é a *equação de estado dos gases ideais*, também conhecida como *lei geral dos gases perfeitos*

Embora nenhum gás real obedeça exatamente a esta equação de estado ela é uma boa aproximação para a maioria dos gases, tanto melhor quanto mais rarefeito o gás e mais longe estiver seu ponto de liquefação.

d) Trabalho na expansão isotérmica de um gás ideal

Como aplicação da equação de estado de um gás ideal, vamos calcular o trabalho $W_{i \rightarrow f}$ realizado na *expansão isotérmica reversível* de um gás ideal, de um volume V_i até V_f .

Pela (3.1.4.2), temos

$$W_{i \rightarrow f} = \int_{V_i}^{V_f} P dV \quad (3.2.1.14)$$

onde o caminho de integração é ao longo de uma isoterma (Figura 3.1.5..6). Pela equação de estado (3.2.1.13)

$$P = \frac{nRT}{V} \quad (T = \text{constante}) \quad (3.2.1.15)$$

de modo que a (3.2.1.14) fica

onde \ln é o logaritmo neperiano. Finalmente

$$W_{i \rightarrow f} = nRT \int_{V_i}^{V_f} \frac{dV}{V} = nRT \ln V \Big|_{V_i}^{V_f} \quad (3.2.1.16)$$

Para $V_f > V_i$ (expansão), é $W_{i \rightarrow f} > 0$; para $V_f < V_i$ (compressão), temos $W_{i \rightarrow f} < 0$, como dever ser.

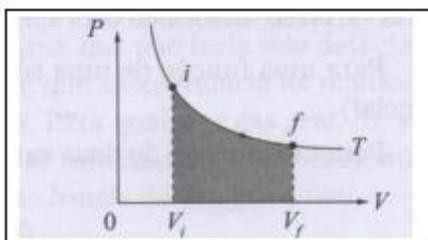


Figura 3.1.5.6 – Expansão isotérmica

3.2.2 Energia interna de um gás ideal

a) A experiência de Joule

Um dos métodos empregados por Joule, para medir o equivalente mecânico da caloria, consistia em aquecer o calorímetro pela compressão de um gás, contido num recipiente imerso na água do calorímetro. O trabalho realizado sobre o gás podia ser facilmente determinado, e resultaria no calor fornecido ao calorímetro, desde que se convertesse inteiramente em calor, sem alterar a energia interna do gás. A fim de verificar essa hipótese, Joule procurou investigar se a energia interna de um gás varia com seu volume.

Para esse fim, Joule realizou a experiência de *expansão livre* mergulhando os dois recipientes, um evacuado e outro contendo ar a ~ 20 atm, num calorímetro *pequeno*, contendo o mínimo possível de água e termicamente isolado. Após medir a temperatura inicial T_i da água Joule abriu a válvula, produzindo a expansão livre, e tornou a medir a temperatura final T_f da água após esse processo. Nenhuma variação de temperatura foi detectada, ou seja,

$$\Delta T = T_f - T_i = 0 \quad (\text{Joule}) \quad (3.2.2.1)$$

A razão para ter tomado um calorímetro pequeno foi a intenção de reduzir sua capacidade térmica, tornando-o mais sensível a pequenas variações de temperatura.

Vejamos que conclusão o resultado de joule (3.2.2.1) permite tirar sobre a variação da energia interna de um gás com seu volume. Como vimos, a energia interna

U pode ser considerada como função de qualquer par de variáveis independentes, em particular V e T: $U = U(V, T)$. Como se calcula uma pequena variação ΔU de uma tal função de duas variáveis, associada com variações ΔV e ΔT das variáveis independentes?

Para uma função de uma só variável, $Z = f(x)$, sabemos que $\Delta Z = \left(\frac{df}{dx}\right)\Delta x$, (diferencial).

Para uma função de duas variáveis independentes, $Z = f(x, y)$, temos:

$$\Delta Z = \left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)_y \Delta x + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)_x \Delta y \quad (3.2.2.2)$$

Para a experiência de Joule de expansão livre, já vimos na que $\Delta U = 0$. Admitindo o resultado experimental (945), vem então

$$0 = \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T \Delta V + \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V \Delta T = \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T \Delta V \quad (3.2.2.3)$$

Como $\Delta V = V_f - V_i \neq 0$ na expansão livre, concluímos que:

$$\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T = 0 \quad (3.2.2.4)$$

ou seja, *a energia interna de um gás ideal não depende do volume*

Como consideramos U como função de V e T, resulta ser independente de V, a conclusão final é que

$$U = U(T) \quad (3.2.2.5)$$

ou seja, *a energia interna de um gás ideal só depende de sua temperatura.*

Na realidade, apesar das precauções tomadas por Joule, a capacidade térmica da água e do calorímetro ainda eram $\sim 10^3$ vezes maiores que a do ar contido nos recipientes, de modo que uma variação de 1°C da temperatura do ar só teria produzido uma variação de $\sim 10^3^\circ\text{C}$ na temperatura da água do calorímetro, que não teria sido detectada pelo termômetro. Sabemos hoje que, nas condições em que a experiência foi realizada, o ar deve ter sofrido uma variação ΔT de vários graus. Para qualquer gás real, $\Delta T \neq 0$, mas se torna cada vez menor, à medida que o gás vai se rarefazendo. Por conseguinte, podemos considerar válidas as (3.2.2.1) e (3.2.2.5) *no caso limite de um gás ideal.*

b) a experiência de Joule – Thomson

Para eliminar a dificuldade de detectar uma variação de temperatura pequena na

experiência de Joule, ele e William Thompson (Lord Kelvin) realizaram a *experiência do tampão poroso*, em que a expansão livre é substituída por uma expansão *estacionária* através de uma parede porosa (tampão), que reduz a pressão do gás. O gás se expande num recipiente de paredes adiabáticas, através de um tampão que pode ser constituído, por exemplo, de lã de vidro, ou de uma válvula com pequenos orifícios, para retardar a velocidade do escoamento, impedindo o aparecimento de turbulência.

Na prática, é mantido um *escoamento estacionário* de gás através do tampão (Figura 3.1.5.7), por bombeamento, empregando um compressor para transferir o gás. A pressão cai de P_i para P_f ao atravessar o tampão. Nesse regime estacionário, não há trocas de calor entre o gás e as paredes ou os pistões (ambos adiabáticos), cuja distribuição de temperatura permanece constante, de modo que mesmo uma pequena variação de temperatura do gás, devida à expansão, pode ser detectada.

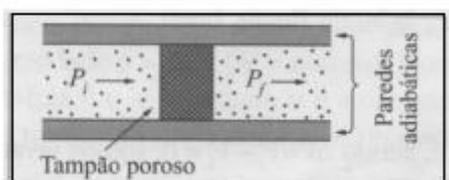


Figura 3.1.5.7 – Tampão poroso

Para aplicar a Primeira Lei da Termodinâmica a uma dada massa de gás que atravessa o tampão, podemos imaginar que essa massa está contida inicialmente entre o tampão e o pistão adiabático A sobre o qual se exerce uma pressão P , constante, ocupando um volume inicial V_i (Figura 3.1.5.8). À direita do tampão, existe outro pistão adiabático B , sobre o qual é exercida uma pressão P_f , também mantida constante pelo bombeamento. Deslocando para a direita o pistão A , o gás passa através do tampão e vai deslocando para a direita o tampão B , até que, no estado final f , toda a massa atravessou o tampão, ocupando um volume final V_f (Figura 3.1.5.8)

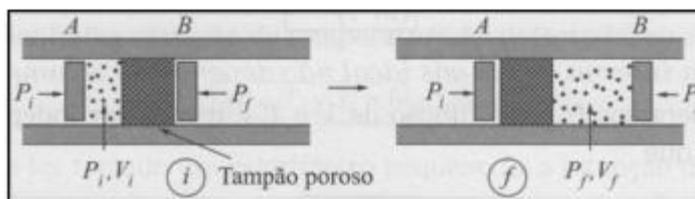


Figura 3.1.5.8 – Experiência de Joule-Thomson

Como o gás à esquerda passa *isobaricamente*, à pressão P_i , do volume V_i ao volume θ , o trabalho realizado pelo compressor sobre o gás nessa compressão isobárica

é, pela (34), $P_i (0 - V_i) = - P_i V_i$. Analogamente, o gás à direita sofre uma expansão isobárica à pressão P_f , do volume 0 ao volume V_f , representando um trabalho realizado $P_f(V_f - 0) = P_f V_f$. O trabalho total realizado sobre o gás é, portanto,

$$W_{i \rightarrow f} = P_f V_f - P_i V_i \quad (3.2.2.6)$$

Como as paredes e os pistões são todos adiabáticos, temos

$$Q = 0 \quad (3.2.2.7)$$

Substituindo as (3.2.2.6) e (3.2.2.7) na 1ª lei da termodinâmica (34), obtemos

$$\Delta U = U_f - U_i = -W_{i \rightarrow f} = P_i V_i - P_f V_f \quad (3.2.2.8)$$

Joule e Kelvin mediram as temperaturas T_i (à esquerda do tampão) e T_f (à direita). Para um gás ideal,

$$\Delta T = T_f - T_i = 0 \text{ (Joule - Thomson)} \quad (3.2.2.9)$$

Com precisão experimental muito superior à da (3.2.2.1)

Como $T_i = T_f$ para um gás ideal, o último membro da (3.2.2.8) se anula neste caso, pela lei de Boyle. Logo

$$\Delta U = 0 \text{ (gás ideal)} \quad (3.2.2.10)$$

E, sendo, como levados novamente à (67, da qual decorre a (56)

$$U = U(T) \text{ (gás ideal)} \quad (3.2.2.10)$$

Logo, a *energia interna de um gás ideal depende somente da sua temperatura*. O processo de Joule - Thomson tem grande importância prática; é empregado para a liquefação de gases em criogenia e na indústria petroquímica.

3.3 A SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA

3.3.1 Introdução

A Primeira Lei da Termodinâmica, como vimos, incorpora ao princípio geral de conservação da energia o reconhecimento de que o calor é uma forma de energia.

Qualquer processo em que a energia total seja conservada é compatível com a Primeira Lei da Termodinâmica. Se dado processo ocorre num certo sentido ou sequência temporal, conservando a energia em cada instante, nada impediria, de acordo com a Primeira Lei da Termodinâmica, que ele ocorresse em sentido inverso (invertendo a sequência temporal), ou seja, o processo seria reversível.

No entanto, a experiência mostra que os processos observados na escala macroscópica tendem a ocorrer num só sentido, ou seja, são irreversíveis. Vejamos alguns exemplos:

(i) Para elevar de 1°C a temperatura de 1 litro de água, gastamos 1 Kcal. Resfriando de 1°C 1 litro de água, deveria então ser possível extrair 1 Kcal de energia. Um navio poderia ser propulso por essa energia e ao mesmo tempo resfriar sua carga: o oceano constituiria um reservatório praticamente inesgotável de energia. Por que isso não acontece?

(ii) Na experiência de Joule, quando os pesos são soltos, eles caem e a água se aquece pelo atrito com as pás, convertendo energia mecânica em energia térmica. Seria igualmente compatível com a 1ª lei que a água se resfriasse espontaneamente, fazendo subir os pesos. Por que isso não ocorre?

(iii) Analogamente, o atrito sempre tende a frear corpos em movimento, convertendo sua energia cinética em calor. Por que não ocorrer o processo inverso, acelerando corpos com resfriamento do meio ambiente?

(iv) Uma pessoa que mergulha numa piscina converte energia mecânica em energia térmica da água. Num filme que registre o mergulho, exibido de trás para frente, o processo é invertido e o mergulhador impulsionado de volta para o trampolim – o que não contradiz em nada a conservação de energia. Entretanto, o absurdo da cena é evidente e provoca risos na plateia, por quê?

(v) Fala-se muito, em nossos dias, da crise de energia, e são feitas campanhas no sentido de “conservar” (economizar, não desperdiçar) a energia. Se a energia sempre se conserva, que sentido tem isso?

(vi) Quando um corpo quente (temperatura elevada) é colocado em contato térmico com um corpo frio (temperatura mais baixa), a Primeira Lei da Termodinâmica só permite concluir que o calor perdido por um dos corpos é ganho pelo outro. No entanto, a experiência mostra que é o mais quente que se esfria e o mais frio que se aquece. Quando colocamos sobre uma chama uma panela com água, nunca ocorre que a água se congele e a temperatura da chama aumente. Por quê?

(vii) Na experiência de expansão livre, quando abrimos a válvula, o gás se expande até preencher o recipiente onde havia vácuo. O processo inverso, em que ele voltaria espontaneamente a passar para outro recipiente, reestabelecendo o vácuo naquele para onde passou, não viola a Primeira Lei da Termodinâmica. O que impede sua ocorrência?

Podemos dizer, de forma mais geral, que todas as leis físicas fundamentais que discutimos até agora, em particular as leis de movimento, são reversíveis: nada nelas permite distinguir um sentido de sucessão de eventos (*sentido do tempo*) do sentido inverso. O que determina, então, o sentido do tempo? Qual a origem, física da distinção entre passado e futuro?

A resposta às questões apresentadas aqui está relacionada com a Segunda Lei da Termodinâmica. Ela contribuiu para esclarecer a origem da “seta do tempo”; voltaremos, mais tarde, à discussão desse problema, que é um dos mais profundos da física.

Historicamente, a formulação da Segunda Lei da Termodinâmica esteve ligada a um problema de engenharia, surgido pouco após a invenção da máquina a vapor: como se poderia aumentar o rendimento de uma máquina térmica, tornando-a mais eficiente possível?

Esta questão foi abordada em 1824 por um jovem e genial engenheiro francês, Nicolas Sadi Carnot, em seu opúsculo “Reflexões sobre a potência motriz do fogo”. Ele escreveu:

A máquina a vapor escava nossas minas, propõe nossos navios, escava nossos portos e rios, forja o ferro (...). Retirar hoje da Inglaterra suas máquinas a vapor seria retirar-lhe ao mesmo tempo o carvão e o ferro. Secariam todas as suas fontes de riqueza... Apesar do trabalho de toda sorte realizado pelas máquinas a vapor, não obstante o estágio satisfatório de seu desenvolvimento atual, a sua teoria é muito pouco compreendida.

É notável que o trabalho de Carnot foi muito anterior à formulação precisa da Primeira Lei da Termodinâmica. Embora Carnot empregasse a expressão “calórica”, há indícios de que ele próprio já teria formulado a Primeira Lei da Termodinâmica, embora de forma um tanto obscura.

Após o trabalho de Carnot, que conduziu à Primeira Lei da Termodinâmica, ela foi formulada de maneira mais precisa por Clausius em 1850 e por Thomson (Lord Kelvin) em 1851. Embora essas formulações sejam diferentes, veremos que são equivalentes.

3.3.2 Enunciados de Clausius e Kelvin da Segunda Lei da Termodinâmica.

Frequentemente se procura traduzir o conteúdo da Segunda Lei da Termodinâmica na afirmação de que, embora seja fácil converter energia mecânica

completamente em calor (por exemplo, na experiência de Joule), é impossível converter calor inteiramente em energia mecânica. Isto não é verdade!

Com efeito, consideremos um recipiente de paredes diatérmicas, à temperatura ambiente T , contendo um gás comprimido a uma pressão inicial P_i maior que a pressão atmosférica P_o , e munido de um pistão. Podemos deixar o gás expandir-se isotermicamente, absorvendo uma quantidade de calor ΔQ da atmosfera (reservatório térmico à temperatura T). Nesse processo, o gás realizará um trabalho ΔW . Podemos geralmente, com muito boa aproximação, trata-lo como um gás ideal. Como $\Delta T = 0$ (processo isotérmico), $\Delta U = 0$, ou seja, a energia interna do gás não muda.

Logo, pela Primeira Lei da Termodinâmica, temos:

$$\Delta Q = \Delta W \quad (3.2.2.11)$$

Ou seja, o calor absorvido da atmosfera se transforma completamente em trabalho. Entretanto, a pressão final P_f do gás é menor que a inicial ($P_f / P_i = V_i / V_f$) e só há expansão enquanto $P_f > P_o$: o processo termina quando a pressão atinge a pressão atmosférica, e só pode ser executado uma única vez. Para obter uma *máquina térmica*, precisamos de um processo que possa ser *repetido indefinidamente*, enquanto se mantenha o fornecimento de calor, ou seja, o sistema precisa volta ao estado inicial, descrevendo um *ciclo*.

É muito fácil ter um ciclo em que trabalho é completamente convertido em calor. Basta na experiência de joule, suspender novamente os pesos cada vez que caem, colocando-os na posição inicial.

Entretanto, se pudéssemos ter um ciclo em que calor se transformasse completamente em trabalho, teríamos realizado um “moto perpétuo de 2ª espécie”, a energia térmica dos oceanos ou da atmosfera constituiria um reservatório praticamente inesgotável de energia (diferentemente de um “moto perpétuo de 1ª espécie”, que criaria energia, violando a Primeira Lei da Termodinâmica). Nenhum processo físico conhecido permite construir um tal “motor miraculoso”, o que leva ao enunciado de *Kelvin (K)* da Segunda Lei da Termodinâmica.

É impossível realizar um processo cujo único efeito seja remover calor de um reservatório térmico e produzir uma quantidade equivalente de trabalho.

Note-se que *único* efeito significa que o sistema tem de voltar ao estado inicial, ou seja, que o *processo é cíclico*. O exemplo dado acima (expansão isotérmica de um

gás inicialmente comprimido) não contradiz Kelvin, porque o estado final do gás difere o inicial ($V_f > V_i$): não se trata, portanto, de um ciclo.

Consequências imediatas do enunciado de Kelvin:

a) geração de calor por atrito a partir de trabalho mecânico é irreversível

Com efeito, se conseguíssemos inverter completamente tal processo, por exemplo, tornando a suspender os pesos na experiência de Joule após sua queda, por “antiatrito”, resfriando a água do calorímetro, poderíamos utilizar a energia potencial armazenada nos pesos para realizar trabalho, fazendo-os descer até a posição inicial. Com isso fecharíamos um ciclo, tendo como único efeito a produção de trabalho a partir do calor da água, o que violaria Kelvin.

b) A expansão livre de um gás é um processo irreversível

Com efeito, na expansão livre de um gás ideal dentro de um recipiente de paredes adiabáticas.

Logo, se pudéssemos inverter esse processo, passando de um volume v_f para $v_i < v_f$ (compressão do gás) com $\Delta Q = \Delta W = 0$, poderíamos depois voltar de v_i para v_f fechando um ciclo, por uma expansão isotérmica, com $\Delta Q = \Delta W > 0$ (processo que levou a 3.2.2.11)

Outro processo irreversível é a *condução de calor*, que se dá sempre no sentido de um corpo mais quente para um corpo mais frio. O *enunciado de Clausius* da Segunda Lei da Termodinâmica se baseia neste fato experimental:

É impossível realizar um processo cujo único efeito seja transferir calor de um corpo mais frio para um corpo mais quente.

Novamente, a qualificação *único* implica que o processo é cíclico, e ela é essencial. Se não exigirmos que o sistema volte ao estado inicial, a transferência é perfeitamente possível.

Para efetuar-la, poderíamos, por exemplo, colocar um recipiente contendo um gás em contato térmico com o corpo mais frio e absorver calor ΔQ dele por *expansão isotérmica* à temperatura T_i desse corpo (realizando trabalho na expansão). Em seguida, o gás pode ser aquecido por *compressão adiabática* (absorvendo trabalho), até atingir a temperatura $T_2 > T_1$ do corpo mais quente. Colocando-o em contato térmico com esse corpo, pode-se transferir o calor ΔQ para ele por *compressão isotérmica* do gás à temperatura T_2 . Nada impede que o trabalho total realizado nesse processo seja igual a zero, mas o estado final do gás é diferente do estado inicial: sua temperatura aumentou

de T_1 para T_2 . Logo, o processo não é um ciclo e não há violação do enunciado de Clausius.

Um aparelho que violasse o enunciado de Kelvin seria, como vimos, um *motor miraculoso* (motor contínuo de 2ª espécie). Analogamente, um aparelho que violasse Clausius seria um *refrigerador miraculoso*, pois permitiria um resfriamento contínuo (remoção de calor de um corpo mais frio para um mais quente) sem que fosse necessário fornecer trabalho para esse fim.

4 METODOLOGIA

4.1 USO DA TABELA BIDIMENSIONAL DE BLOOM

A taxonomia é instrumento propício para classificar os comportamentos resultantes do processo de ensino aprendizagem pretendidos pelo professor. Assinala Bloom (1973, p.11)

Não estamos buscando classificar uma matéria específica de ensino ou conteúdos. Estamos classificando o comportamento esperado – modos em que os alunos devem agir, pensar ou sentir como resultado de sua participação em alguma unidade de ensino.

Os objetivos educacionais são definições explícitas das mudanças que se espera no comportamento do aluno mediante o processo de ensino. Sabemos que existem muitas possibilidades, já que estamos tratando de alterações relacionadas a pensamento, sentimentos e ações, porém, efetivamente, poucas mudanças são concretizadas, desta forma, devemos priorizar quais as ações permitem explorar as questões de maior relevância no processo. Para suprir tal finalidade, elaboramos um planejamento que ficou consolidado na Tabela.

Temos como marco, para início de nosso trabalho, a eleição dos objetivos globais, educacionais e específicos pretendidos no decorrer do ensino de Termodinâmica.

O objetivo global tem como função enunciar de forma ampla os resultados pretendidos pelo professor e que demandam tempo para serem atingidos. Os objetivos educacionais se apresentam de forma mais focada, são mais específicos que os objetivos globais, porém mais gerais que os objetivos instrucionais.

A tabela preenchida serve para avaliar se não estamos incluindo os mesmos objetivos de forma exaustiva, permite a percepção da variedade a se explorar acerca do tema e ainda conferir se esta amplitude esta sendo bem aproveitada.

Diferentes objetivos exigem atividades instrucionais diferentes, ou seja, classificar um objetivo na tabela ajudará o professor a pensar em quais atividades instrucionais ele deve planejar para programar o que foi proposto no objetivo.

Para facilitar a escolha dos objetivos, das atividades instrucionais e dos métodos avaliativos, utilizamos algumas perguntas propostas na obra traduzida “Uma

categorização para a aprendizagem, o ensino e a avaliação. Uma revisão da categorização dos objetivos educacionais de Bloom.”

- *Quais são os objetivos a serem alcançados com o estudo da Termodinâmica e como eles foram determinados?*

- *Que materiais (ex., textos, software, mapas vídeos) e equipamento (ex., computadores, televisão, equipamento de laboratório) estão disponíveis para o professor para os alunos?*

- *Quanto tempo foi reservado para o ensino de Termodinâmica? Em que bases o professor decidiu sobre a duração temporal da unidade?*

- *Como a Termodinâmica foi introduzida para os alunos? (exemplo, foi dada uma visão geral da unidade inteira? Foi discutido com o alunos a necessidade ou a finalidade da unidade?)*

- *Em quais atividades os alunos foram engajados durante a unidade? Por que estas atividades foram escolhidas?*

- *Que trabalhos foram dados aos alunos? Por que foram escolhidos os trabalhos específicos?*

- *Como o professor monitorou o sucesso dos alunos nas atividades e nos trabalhos?*

- *Como foi informado aos alunos sobre o quão bem eles estavam desempenhando, ou desempenharam na unidade?*

Abaixo, segue a tabela bidimensional (Tabela 4.1) preenchida com um conjunto de objetivos instrucionais típicos quando seguimos um livro texto padrão e trabalhamos com aula expositiva.

Conhecimento	Processo Cognitivo					
	Lembrar	Entender	Aplicar	Analisar	Avaliar	Criar
Factual	Objetivo IV	Objetivo I				
Conceitual	Objetivo V	Objetivo VII	Objetivo VI			
	Objetivo IX					
Procedimental			Objetivo II Objetivo III Objetivo VI Objetivo VIII			
Metacognitivo						

Tabela 4.1– Tabela bidimensional de Bloom

Objetivo I: Comparar os conceitos de calor e temperatura.

Objetivo II: Aplicar as equações da termometria para fazer as conversões de escala de temperatura

Objetivo III: Resolver problemas utilizando a equação fundamental da Calorimetria

Objetivo IV: Reconhecer as variáveis de estado de um gás

Objetivo V: Reconhecer o conceito de trabalho nas transformações gasosas.

Objetivo VI: Aplicar o conceito de trabalho nos sistemas que contenham gás

Objetivo VII: Compreender a relação entre as grandezas calor, trabalho e variação de energia interna como um Princípio de Conservação de Energia

Objetivo VIII: Aplicar a primeira lei da termodinâmica as diferentes transformações gasosas

Objetivo IX: Compreender a Primeira Lei da Termodinâmica como uma expressão do Princípio da Conservação de Energia.

Nota-se que após completarmos a Tabela, a maior parte dos itens envolveu os processos cognitivos Lembrar – Reconhecer e Relembrar, Compreender e Aplicar - Executar, descrevendo desta forma, um cenário que busca do aluno somente que ele reconheça, relembre e reproduza conceitos, teorias e procedimentos ensinados pelo professor durante a aula, contrariando o princípio do ensino baseado na Aprendizagem Significativa, na qual há o pensamento de que a aquisição de conhecimento deve ocorrer baseada na reflexão e preparo do aluno para responder e enfrentar questões novas, propondo soluções a problemas inéditos, trabalhando, sempre que possível, com os conhecimentos prévios dos alunos acerca do conteúdo a ser ensinado.

Aplicar entende usar métodos para desenvolver exercícios ou resolver problemas. “Um exercício é uma tarefa para qual o aluno já sabe o procedimento próprio a usar, portanto, o aluno já desenvolveu uma abordagem bastante rotineira para ele. Um problema é uma tarefa para qual o aluno inicialmente não sabe qual procedimento usar, então o aluno precisa localizar um procedimento para resolver o problema” (Bloom, 1973). Em nossa tabela, classificamos o objetivo pretendido como executar, ou seja, priorizamos a resolução de exercícios repetitivos de forma exaustiva.

A construção do conhecimento não deve ser baseada puramente mecânica. Talvez uma explicação para o fato de as atividades instrucionais estarem alocadas nas colunas de menor valor cognitivo é que a maioria dos exercícios explorados nos livros didáticos envolvem métodos de resolução que podem facilmente ser memorizados, como por exemplo, o uso de fórmulas para o cálculo do trabalho em uma transformação

gasosa, rendimento de máquinas térmicas, quantidade de calor, etc, valorizando o Conhecimento Procedimental.

Os processos cognitivos *Criar* e *Avaliar* não foram contemplados no planejamento. *Avaliar* se relaciona com o ato de realizar julgamentos baseados em seu conhecimento prévio e desenvolva soluções para a resolução de situações problemas. *Criar* tem como significado a ação de posicionar princípios e métodos junto com o objetivo e uma nova solução ou modelo utilizando conhecimentos e habilidades previamente adquiridos.

As atividades instrucionais se restringiram apenas duas: aula expositiva, utilizando o quadro como único instrumento de ensino e resolução de exercícios.

De posse dessas informações e após análise do planejamento de ensino do conteúdo Termodinâmica, elaboramos uma sequência de ensino com a pretensão de avançar as lacunas em branco explorando os conhecimentos cognitivos de mais alto valor. Após a concepção da Sequência Instrucional, preenchemos novamente a Tabela Bidimensional. Uma análise dos resultados encontra-se no capítulo 5 deste trabalho.

4.2 SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A Sequência Didática foi aplicada em duas turmas de ensino regular de segundo ano do Ensino Médio de escola pública no ano de 2016 onde leciono como professora efetiva em uma das escolas de aplicação.

O trabalho foi planejado para ter duração de 16 aulas, tempo previsto como duração de um bimestre – um quarto do período escolar e permite aliar atividades experimentais, coleta e análise de dados e desenvolvimento das teorias envolvidas em cada assunto. A Sequência prioriza atividades experimentais por acreditarmos que o experimento aumenta o interesse dos alunos, aguça a curiosidade e mostra a importância do “pensar cientificamente”, além de permitir a participação do aluno, tornando-o atuante na construção de seu conhecimento.

Os experimentos utilizados são de simples execução e não demandam laboratório. Algumas das atividades escolhidas foram elaboradas a partir de artigos, *sites* e uso de livro didático voltado para o ensino médio. Nas escolas de aplicação do trabalho, não havia laboratório de ciências e nem laboratório de informática; todas as atividades experimentais foram executadas em sala de aula com muita tranquilidade. As salas foram divididas em grupos de até 5 alunos.

Nas atividades práticas usamos um roteiro contendo os procedimentos a serem executados e um questionário a ser respondido pelo aluno após o desenvolvimento e análise do experimento.

No Apêndice B, encontram-se os modelos de roteiros utilizados durante a aplicação da Sequência Didática.

A Física é uma ciência experimental e não se deve montar um planejamento de aulas sem considerar esse fator. Através dos experimentos, os alunos vivenciam os caminhos percorridos no método científico levantam hipóteses, questionam, testam, confrontam valores teóricos com os experimentais obtidos, explicam erros obtidos.

Afirmam os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) que se espera que o ensino de Física, na escola média, contribua para a formação de uma cultura científica efetiva, que permita ao indivíduo a interpretação dos fatos, fenômenos e processos naturais, situando e dimensionando a interação do ser humano com a natureza como parte da própria natureza em transformação. Para tanto, é essencial que o conhecimento físico seja explicitado como um processo histórico, objeto de contínua transformação e associado às outras formas de expressão e produção humanas. É necessário também que essa cultura em Física inclua a compreensão do conjunto de equipamentos e procedimentos, técnicos ou tecnológicos, do cotidiano doméstico, social e profissional.

Aulas	Conteúdo	Atividades Instrucionais	Objetivos a serem alcançados
1	- Apresentação do trabalho e definição dos organizadores prévios	- Questionário 1, dividido em dois momentos com discussão das respostas dadas pelos alunos	-
2	- conceitos de calor e temperatura	- Atividade experimental nº 1	- comparar o conceito de calor e temperatura.
3 e 4	Termometria	- Atividade experimental nº 2	- Conhecer o termômetro de álcool comum e aprender a utilizá-lo corretamente - Elaborar uma escala termométrica apropriada para um termômetro em que a escala esteja apagada
5	Calorimetria	Atividade experimental nº 3	- reconhecer capacidade térmica, calor específico.

			<ul style="list-style-type: none"> - identificar situações cotidianas e fenômenos naturais explicados pelos conceitos de calor específico e capacidade térmica. - aplicar a equação fundamental da calorimetria
6 e 7	Calorimetria	- Atividade experimental nº 3	- Análise de dados
8	Lei Zero da Termodinâmica	- aula teórica	- verificar situações cotidianas em que se estabelece o equilíbrio térmico
9 e 10	Mudança de estado físico	- Uso do simulador	<ul style="list-style-type: none"> - diferenciar calor sensível de calor latente - identificar situações nas quais aquecimento/resfriamentos provocam mudanças no estado físico de um corpo
11 e 12	O calorímetro	Atividade experimental nº 4	- analisar situações em que ocorrem trocas de calor em sistemas termicamente isolados
13	Estudo dos gases	Atividade experimental nº 5	<ul style="list-style-type: none"> - reconhecer as grandezas físicas: pressão, volume e temperatura como variáveis que representam o estado de um gás em determinado instante. - diferenciar as transformações gasosas e reconhecer as variáveis de estado de um gás que se alteram em cada uma dessas transformações. - compreender o estabelecimento da equação de um gás ideal como generalização de leis de transformações gasosas, obtidas a partir de dados experimentais.
14	Máquina de Heron	- observação / construção de uma máquina de Heron	
15	Aula de exercícios	Aula de exercícios	
16	Máquinas Térmicas	Atividade	- reconhecer a aplicação

		experimental nº 6	<p>do conceito de trabalho nos sistemas que contenham gás.</p> <p>- compreender a relação entre as grandezas calor, trabalho e variação de energia interna como princípio de conservação de energia.</p> <p>- compreender a Primeira Lei da Termodinâmica como uma expressão do princípio da Conservação de Energia.</p>
--	--	-------------------	--

Aula 1: Apresentação do trabalho e definição dos organizadores prévios

No primeiro encontro, utilizando o Questionário 1. A aula foi dividida em dois momentos:

1º Momento:

1) “A termodinâmica tomou forma basicamente no século 19, tanto como interesse científico quanto como necessidade tecnológica. Foi a base da Revolução Industrial, sob a forma de máquinas a vapor, alimentadas pelo carvão, na determinação de substituir músculos humanos e de animais pelo poder mecânico das máquinas. a termodinâmica, ao permitir a transformação da energia e produzir trabalho, foi fundamental para libertar a humanidade do horror da escravidão, que, por séculos, fez de milhões de seres humanos criaturas degradadas aos olhos de um senhor. A primeira revolução industrial que começou na Inglaterra em meados do século XVIII, foi marcada pela invenção da máquina a vapor, que substituiu grande parte das máquinas manuais ou movidas a tração animal. A segunda revolução industrial, no fim do século XIX e início do século XX, foi marcada pela substituição das máquinas a vapor por máquinas elétricas ou movidas a petróleo.”

1) Qual é o papel de uma máquina? Ela pode gerar energia?

2) Indique o tipo de energia que é transformada em trabalho na máquina a vapor.

Qual é a fonte de energia utilizada?

Ainda em grupos, os alunos leram para os colegas da sala as respostas dadas às duas primeiras perguntas. Anotamos no quadro algumas das respostas como levantamento prévio do tema.

No 2º momento, os alunos responderam mais duas perguntas:

2º Momento:

3) Iremos estudar Termodinâmica, parte da Física que trata dos processos de transferência de calor e de trabalho entre um sistema e o ambiente. O estudo das máquinas térmicas faz parte da Termodinâmica. O que você entende por “máquina térmica”?

4) Cite alguns exemplos de máquinas térmicas que você conhece.

Aula 2: Calor x Temperatura

Iniciamos uma discussão com a seguinte pergunta: “Usamos nosso corpo como um termômetro em várias situações. O tato é um bom método de se medir a temperatura de alguém?”

Realizamos a Atividade Experimental 1. A proposta consiste em verificar se o tato é um bom medidor de temperatura. Utilizamos duas bacias contendo água: uma bacia tinha água quente e a outra água com algum gelo. Os alunos mergulharam uma mão em cada bacia e após um tempo, mergulharam a mão em uma terceira bacia contendo água à temperatura ambiente. Após, descreveram o ocorrido para a sala e responderam algumas perguntas no roteiro.

Aulas 3 e 4: Termometria – Explorando termômetros e as escalas termométricas

Partindo de uma situação recorrente no dia a dia da maioria das pessoas - usar o tato como um meio de avaliar a temperatura de um corpo – verificamos quais os conhecimentos prévios os alunos possuíam acerca desse tema e quanto foi adquirido de conhecimento científico da aula anterior, já que após discussão e comprovação empírica, verificamos que o tato é um bom medidor de temperatura. Para medirmos com precisão a temperatura de um corpo utilizamos os termômetros.

As seguintes questões foram colocadas no quadro:

- 1) *O que estamos avaliando de fato quando medimos a temperatura de um corpo?*
- 2) *Como os termômetros medem a temperatura?*

A sala foi dividida em grupo e os alunos puderam discutir entre eles as hipóteses que surgiam para responder as questões propostas.

Os alunos anotaram suas conclusões e ainda em grupo, receberam os materiais para executarem a atividade experimental “Termometria”. A proposta era a elaboração de uma escala termométrica apropriada para um termômetro. A sala foi dividida em seis grupos, cada grupo recebeu um termômetro sem graduação, um termômetro graduado na escala Celsius, uma canetinha, um copo de vidro, gelo e um recipiente contendo água de torneira e um roteiro descrevendo os passos a serem executados.

Os alunos colocaram o bulbo do termômetro no copo com gelo. Aguardaram alguns segundos para que ocorresse o equilíbrio térmico. Nesse momento, o professor deve chamar a atenção para o conceito de equilíbrio térmico, pois uma das perguntas listadas no roteiro dos alunos envolve este conceito.

Com um traço de canetinha, os alunos marcaram o vidro do termômetro, indicando a altura atingida pelo álcool dentro da haste capilar (primeiro ponto fixo). Escolheram um dos componentes de cada grupo e colocaram o bulbo do termômetro debaixo do braço. Após o equilíbrio térmico, uma segunda marca foi feita com a canetinha indicando a altura atingida pelo álcool (segundo ponto fixo).

A distância entre as duas marcações foi medida e cada grupo ficou encarregado de dividir em intervalos menores essa distancia. Cada grupo utilizou o critério que julgou ser conveniente no momento. Um dos grupos optou por subdividir o intervalo em apenas duas partes, já outros grupos, dividiram em 10 partes. Nesse momento não interferimos na escolha dos grupos.

Após a escolha das escalas, marcaram no termômetro as subdivisões idealizadas. Pedimos que inserissem o termômetro graduado por eles em um copo com água. Após o equilíbrio térmico, eles fizeram a leitura e anotaram o resultado na tabela contida no roteiro. Os roteiros foram montados com tabelas para facilitar a inserção e organização de dados, visto que muitos alunos no ensino médio ainda não tem habilidade de registrar dados experimentais para posterior análise.

Usando um termômetro graduado na escala Celsius, mediram a temperatura do copo com água. O resultado foi anotado na tabela abaixo (Tabela 4.2)

Segue a tabela fornecida no roteiro para uso durante o experimento:

	Temperatura (medida)		Temperatura (calculada)		
	Termômetro desconhecido (°X)	Termômetro graduado (°C)	(°C)	(°F)	(K)
Ponto fixo 1					
Ponto fixo 2					
Água da torneira					
Ambiente					

Tabela 4.2– Experimento 2

Após as coletas de dados, os alunos estabeleceram uma fórmula de conversão entre as duas escalas baseada nas alturas de coluna de álcool para as temperaturas dos pontos fixos utilizados. Alguns alunos encontraram dificuldade em buscar a relação matemática pedida. No quadro, relembramos a construção da escala de conversão entre as escalas Celsius e Fahrenheit aprendidas na aula anterior. Finalizamos as atividades do dia, completando a tabela com os dados que faltavam, observando que as três últimas colunas da tabela, os alunos calcularam os valores utilizando as equações apresentadas na aula anterior.

Aula 5: Calorimetria

Os alunos receberam o roteiro da terceira atividade experimental e responderam as seguintes perguntas:

1) Será que quando aquecemos diferentes massas de uma mesma substância, água, por exemplo, fornecendo a mesma quantidade de calor, em um mesmo intervalo de tempo, a variação de temperatura é a mesma para as duas quantidades dessa substância?

2) Quando aquecemos substâncias diferentes, água e óleo, por exemplo, com a mesma massa e fornecendo a mesma quantidade de calor, a variação de temperatura é a mesma para as duas substâncias?

O objetivo principal dessa aula foi estabelecer a equação fundamental da calorimetria. Para tanto, foi proposto que os alunos participassem de uma atividade experimental. Utilizamos um béquer graduado de 150 mL, uma lamparina com suporte e tela de amianto, álcool, água, óleo de soja, um termômetro e papel milimetrado e um dosador.

A montagem do experimento pode ser observada na figura abaixo:

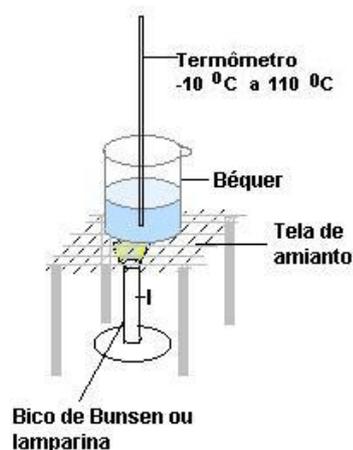


Figura 4.2– Experimento 3

A sala foi dividida em grupos de 5 alunos, sendo fornecido o material para cada grupo junto com o roteiro que descreve o experimento.

Utilizando o dosador, os alunos abasteceram a lamparina. 100 mL de água que corresponde a 100g de água ($d_{\text{água}} = 1,0 \text{ g/cm}^3$) e foi colocada no béquer. Antes de iniciar o aquecimento, a temperatura da água foi medida usando-se o termômetro. Iniciamos o aquecimento da água e aguardamos aproximadamente um minuto, antes de iniciar as medidas, após esse intervalo de tempo, os alunos passaram a observar a variação da temperatura da água no decorrer do tempo e registraram esses dados na tabela. Após três minutos, encerramos a primeira etapa do experimento.

Tempo (min)	Temperatura (°C)
0,0	
1,0	
2,0	
3,0	

Tabela 4.3– Experimento 3

Na segunda etapa, a água do béquer foi retirada, o béquer e o termômetro foram resfriados em água corrente. Nas duas escolas que trabalhamos a Sequência, tivemos fácil acesso a torneiras. Antes de iniciar as atividades, deve-se verificar a viabilidade de usar água corrente, caso não seja possível, o professor pode aguardar o resfriamento dos equipamentos por alguns minutos. Sugiro que o tempo seja utilizado para traçar o primeiro gráfico utilizando a Tabela 4.3

Após o resfriamento do béquer e do termômetro, a lamparina foi reabastecida com álcool. É importante este reabastecimento porque é necessário estar fornecendo a mesma quantidade de calor e também não diminuir a possibilidade da chama apagar. O

procedimento anterior foi repetido, agora utilizando-se 50 g de água. Peça aos alunos que preencham a tabela 4.4 do roteiro.

Tempo (min)	Temperatura (°)
0,0	
1,0	
2,0	
3,0	

Tabela 4.4– Experimento 3

Reabastecemos a lamparina com álcool. Repetimos o procedimento acima, colocando 100 g de óleo de soja no béquer. Como não tínhamos balança, o valor da densidade do óleo de soja foi fornecido ($0,9 \text{ g/cm}^3$), de posse do volume de óleo e da densidade, calculamos a massa. Abaixo, temos a tabela 3, usada na terceira etapa do experimento.

Tempo (min)	Temperatura (°)
0,0	
1,0	
2,0	
3,0	

Tabela 4.5– Experimento 3

Após as medições, os alunos determinaram qual a variação de temperatura para cada minuto de aquecimento da água₁ (massa 100 g), da água₂ (massa 50 g) e do óleo de soja (massa 100 g), traçaram gráficos de temperatura versus tempo, considerando os valores encontrados para as diferentes quantidades de água, e para o óleo, utilizando o mesmo papel milimetrado e calcularam a taxa de aquecimento ($\Delta T/\Delta t$), de cada substância, determinando a inclinação de cada reta obtida.

Aulas 6 e 7: Análise de dados

Aula destinada a trabalhar com os dados e gráficos obtidos com o experimento.

Os alunos também responderam a quatro perguntas:

1) A variação de temperatura, para cada minuto de aquecimento, foi a mesma para cada uma das três situações (água₁, água₂, e óleo), dentro da precisão experimental?

2) As taxas de aquecimento obtidas a partir dos gráficos, foram as mesmas para:

a) Diferentes quantidades de água? Justificar a resposta.

b) Quantidades iguais de óleo e de água? Justificar a resposta.

3) Qual a relação entre as quantidades de calor fornecidas para que 200 g de água atinjam a mesma temperatura que 100 g de água, em um mesmo intervalo de tempo?

4) Para que quantidades diferentes de água tenham a mesma variação de temperatura em um mesmo intervalo de tempo, qual a relação entre as quantidades de calor fornecidas?

Aula 8: A lei zero da Termodinâmica

Na aula 8, formalizamos os conceitos de calor específico, capacidade térmica e enunciamos formalmente a lei zero da termodinâmica. No final da aula, pedimos aos alunos que aproveitassem os resultados obtidos e os dados coletados e as equações aprendidas na aula 5 para calcularem a quantidade de calor fornecida durante a atividade para a massa de água 1, a massa de água 2 e o óleo.

Os resultados obtidos foram discutidos e apresentados em um relatório avaliativo. A aula permitiu a constatação dos resultados obtidos através da experimentação e investigação previa ocorrida na aula 6.

Aulas 9 e 10: Mudança de fase

Pedimos para os alunos exemplos de situações cotidianas em que os fenômenos que apresentam mudança de estado da matéria eram apresentados.

Os alunos assistiram uma animação elaborada pelo Laboratório de Pesquisa em Ensino de Química e Tecnologias Educativas, disponível em: http://www.lapeq.fe.usp.br/labdig/simulacoes/construtor_fase.php, acesso em 20/04/2016. Como nossa escola não tem laboratório de informática e por se tratar de uma apresentação de curta duração, optamos por apresentar essa aula em sala de aula, utilizando o Data Show. Abaixo segue a imagem da página da animação:

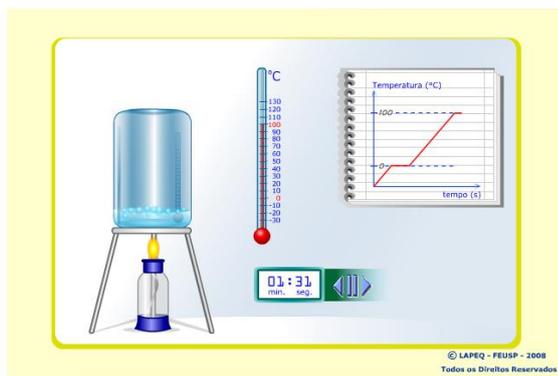


Figura 4.3– Animação “Mudança de fase”

Apresentamos a teoria relacionada à mudança de fase. Destaca-se importante nesse momento a discussão sobre a permanência da mesma temperatura da substância durante a mudança de fase, evidenciado nos platôs da curva de aquecimento. Nesta mesma aula, após a apresentação da relação $Q = m L$, os alunos fizeram os exercícios propostos no livro didático que abordavam o conteúdo apresentado na aula.

Aulas 11 e 12: O calorímetro

Convidamos os alunos a analisar o funcionamento de um calorímetro e as trocas de calor entre corpos em seu interior.

O calorímetro é um instrumento utilizado para medir a quantidade de calor, fazer análises das trocas de calor que acontecem entre dois corpos localizados em seu interior, e ainda determinar o calor específico de um determinado elemento, que pode ser, por exemplo, o cobre.

O professor pode optar por construir o calorímetro junto com os alunos, utilizando para essa atividade uma aula. A seguir, temos a sugestão de um calorímetro construído com materiais de baixo custo.

Materiais utilizados: recipiente de isopor com tampa, recipiente de metal (tem que se ajustar dentro do isopor), algodão, termômetro e uma haste metálica.

Coloque o recipiente de metal dentro do recipiente de isopor e preencha a folga existente entre os recipientes com algodão. Na tampa da embalagem de isopor, faça dois furos, um para o termômetro e outro para o agitador.

Observe a Figura 4.4:

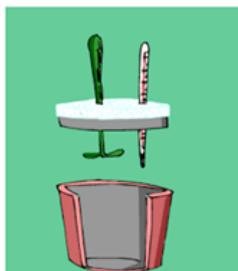


Figura 4.4– Experimento 4

Na aplicação do trabalho descrito nesta dissertação, o calorímetro foi levado pronto, pois avaliamos previamente que seria necessária uma aula para a confecção do aparato. Neste caso, por não termos construído o calorímetro com os alunos em sala, há necessidade de uma explicação bem detalhada do dispositivo, explorando o motivo para escolhermos o isopor como material isolante térmico e o uso do algodão no preenchimento das laterais do calorímetro. A discussão pode incluir também o uso da garrafa térmica, que por apresentar finalidade de manter a temperatura dos corpos colocados em seu interior, pode ser citada como exemplo de calorímetro.

Usamos o calorímetro para calcular o calor específico do álcool e do material que compõe um prego, para tanto utilizamos de 150 mL de água, 10 pregos de massa conhecida, 100 mL de álcool, 1 termômetro, 1 béquer e 1 calorímetro. Essa quantidade de material é suficiente para a montagem de 1 experimento.

Como nas escolas não tínhamos balança de precisão, pesamos os pregos no dia da compra dos pregos em um estabelecimento comercial.

A sala foi dividida em grupos de 5 alunos e os materiais distribuídos junto com o roteiro experimental.

Ao seguirem o roteiro experimental, os alunos colocaram no béquer 100 ml de álcool e mediram a temperatura utilizando o termômetro.

No experimento há necessidade de utilizar água aquecida, levamos para dentro da sala uma vasilha metálica e um aquecedor de água portátil. Iniciamos o aquecimento da água tão logo entregamos os roteiros para os alunos. Foram aquecidos aproximadamente 2L de água em aproximadamente 10min. Após alguns testes feitos previamente, percebeu-se que para a quantidade de água utilizada no experimento (150 mL), aquecer a água até aproximadamente 60° resulta em valores próximos do esperado teoricamente.

Colocamos 150 mL de água quente no Becker e pedimos para que fosse medida a temperatura e posteriormente anotado esse valor na tabela.

No calorímetro, foi misturada a água aquecida com o álcool. O agitador serve como facilitador na mistura das duas massas de líquido. Os alunos foram instruídos para aguardar o equilíbrio térmico e mediram posteriormente a temperatura do sistema (água + álcool).

Abaixo, seguem as tabelas contidas no roteiro.

	Massa (g)	Temperatura inicial (°C)	Temperatura final (°C)	ΔT (°C)
Água				
Álcool				

Tabela 4.6– Experimento 4

Após o preenchimento da primeira tabela, os alunos iniciaram uma nova etapa na atividade experimental: mediram a temperatura ambiente e anotaram os dados na tabela 2. Após, colocaram 10 pregos dentro do calorímetro.

Retiramos mais 100 mL da água mantida aquecida com o uso do aquecedor portátil. Após ser colocada no béquer, a temperatura foi registrada e anotada na tabela 2.

Na oportunidade, explique aos alunos que a água deve ser colocada bem rápido no calorímetro, logo após a medição de sua temperatura. Quanto mais rápido o processo, menores os erros grosseiros no experimento.

Novamente, usamos o agitador, para movimentar o sistema e facilitar a troca de calor entre a água e os pregos. Ao entrar em equilíbrio térmico, a temperatura do sistema foi medida e anotada na tabela.

Segue a tabela 2, preenchida posteriormente pelos alunos durante a atividade experimental.

	Massa (g)	Temperatura inicial (°C)	Temperatura final (°C)	ΔT (°C)
Água				
Pregos				

Tabela 4.7– Experimento 4

Como a massa dos pregos já era conhecida e de posse das duas tabelas, os alunos calcularam o calor específico do material que compõe os pregos e responderam as duas perguntas presentes no roteiro.

A primeira pergunta está abaixo:

- 1) O calor específico do álcool obtido experimentalmente é igual ao valor

teórico listado na tabela 1?

Tomando-se os devidos cuidados durante as medições e procedimentos experimentais, deve-se encontrar um valor bem próximo ao apresentado na tabela apresentada para os alunos no roteiro (0,58 cal/g°C).

A segunda pergunta explora um mito. Algumas pessoas cozinham feijão com alguns pregos com a intenção de combater a anemia. Abaixo, segue um texto que pode ser útil para o professor.

A anemia é um nome genérico, isso significa que ela pode ser causada por vários problemas. Ela é caracterizada pela falta de hemoglobina ou hemácias no sangue. Isso provoca queda na pressão, fraqueza, palidez, falta de ar...

O tipo mais comum é a anemia ferropriva, causada pela falta de ferro no organismo. O ferro é um nutriente essencial para nós e é associado à produção de glóbulos vermelhos e ao transporte de oxigênio para as células do nosso corpo.

Para tratar a anemia, deve-se procurar um médico, pois será ele quem irá diagnosticar as causas desse problema e poderá prescrever o tratamento mais adequado. Vale a pena, também, buscar a orientação de um nutricionista: um cardápio balanceado irá ajudar a manutenção de um corpo saudável.

Optar por alimentos que contenham ferro é uma boa estratégia, mas existem ressalvas. Há duas formas em que o ferro aparece nos alimentos: a forma heme, que é derivada da hemoglobina e é encontrada em alimentos de origem animal (carnes) e a forma não-heme, encontrada em maior quantidade em alimentos de origem vegetal (feijão, agrião, rúcula...). Na forma heme o ferro é mais facilmente absorvido pelo organismo, ao contrário da forma não-heme. Esta última precisa de uma pequena modificação química para que o corpo possa usá-la mais eficientemente. Essa transformação pode ser feita com as vitaminas A e C (laranja, espinafre e tomate podem ajudar por possuírem bastante vitamina C). Viu só a importância de se comer corretamente? Por isso, para prevenir a anemia, busque uma dieta balanceada. Consuma carnes, verduras, legumes e frutas. E, caso você tenha anemia, procure um médico.

Adaptado de <http://diariodebiologia.com/2015/02/e-verdade-que-se-cozinhar-o-feijao-com-um-prego-dentro-da-panela-ajuda-a-curar-anemia/>. Acesso em 15/05/2016

O ferro presente no prego é não-heme, cuja absorção pelo nosso organismo não é tão eficiente. Outro ponto importante é que após os cálculos, os alunos irão obter um

valor para o calor específico do material que compõe o prego diferente do valor do calor específico do ferro, evidenciando que o material que compõe o prego na verdade não é ferro, pode ser uma liga metálica, que inclusive, pode fazer muito mal a saúde. Segue a pergunta colocada no roteiro:

2) Algumas pessoas cozinham feijão com alguns pregos para evitar a anemia. Comparando o calor específico do prego, calculado no experimento com o calor específico constante na tabela, explique porque essa atitude não é válida.

Aula 13: Estudo dos gases

A aula consta de três atividades experimentais: “Fervendo água na seringa”, “Aquecendo garrafa com um balão” e “Enchendo um frasco de cabeça para baixo”.

Dividimos a sala em 6 grupos e distribuimos os materiais do experimento Fervendo água na seringa. Para a execução do trabalho, utilizamos 1 seringa descartável, 1 béquer e uma lamparina.

Colocamos um pouco de água no béquer e aquecemos até observar o aparecimento das primeiras bolhas de ar (40°C a 50°C).

Cada grupo puxou 3 mL de água para dentro da seringa, tomando o cuidado de não deixar entrar bolha de ar. Caso entrem bolhas de ar dentro da seringa, coloque a seringa na posição vertical com o bico para cima, bata levemente nas paredes e aperte o êmbolo até que elas saiam completamente.

Os alunos tamparam a ponta da seringa com um dedo e puxaram o êmbolo para trás, mas sem retirá-lo completamente da seringa.

Pedimos para soltar o êmbolo e observar o que acontecia.

As seguintes perguntas foram colocadas no quadro e respondidas no caderno:

- 1) O que você observou?
- 2) Como vocês explicam o fenômeno observado?

Diga aos alunos que esta transformação é isobárica e é o que acontece, aproximadamente, no pistão de um automóvel, quando ele realiza a admissão da mistura de ar e combustível, à baixa pressão, para depois detoná-la com a centelha da vela. A pressão é praticamente constante devido à velocidade do movimento do pistão, por isso, o processo pode ser considerado isobárico.

Semelhante é o que acontece na expulsão dos gases resultantes após a queima do combustível. O movimento do pistão empurra os gases remanescentes, provocando diminuição do volume. Devido à velocidade com que ocorre a diminuição do volume

esse processo é também considerado isobárico.

Distribuímos o material da segunda atividade experimental desta aula – Aquecendo a garrafa com um balão. Utilizamos uma garrafa PET média (600 mL), um balão e duas bacias de 1L. Pedimos aos alunos que colocassem o balão na boca da garrafa e que enchessem uma das bacias com água quente e a outra com água fria. A garrafa foi mergulhada na água contida nas duas bacias.

Após o experimento, duas novas perguntas foram colocadas no quadro:

Explique o que aconteceu com o balão da garrafa mergulhada na água quente e com o balão da garrafa mergulhada na água fria.

Para a terceira atividade experimental – Enchendo um frasco de cabeça para baixo, entregamos aos alunos os seguintes materiais: uma vela pequena, uma bacia de aproximadamente 1L, um frasco de vidro maior que a vela e fósforo. Os alunos seguiram os seguintes passos descritos no roteiro: grude a vela no fundo da bacia usando a própria parafina derretida. Encha a bacia com água de modo que a vela fique dois dedos de sua altura mergulhada. Acenda a vela e tampe com o frasco de vidro de modo a tampar toda a vela. Após a observação, responderam o questionário.

O estado de uma dada massa de um gás ideal é caracterizado por três grandezas: volume, pressão e temperatura. Essas grandezas são as chamadas variáveis de estado. Quando ao menos duas das três variáveis de estado são modificadas ocorre a transformação do gás, que passa de um determinado estado 1 para outro estado 2.

Por meio de experimentos, foram obtidas as leis que descrevem essas transformações.

- Transformação isocórica: mantendo-se o volume constante, a pressão e a temperatura absoluta de um gás ideal são diretamente proporcionais. Essa relação foi descoberta por dois físicos franceses, Charles e Gay-Lussac.

- Transformação isobárica: sob pressão constante, o volume e a temperatura absoluta de um gás ideal são diretamente proporcionais. Essa relação é conhecida como lei de Charles.

- Transformação isotérmica: a pressão e o volume de um gás ideal, mantido em temperatura constante, são inversamente proporcionais. Essa relação é chamada de lei de Boyle em homenagem ao físico irlandês Robert Boyle.

Após as explicações dadas, pedimos aos alunos que retornassem as repostas dadas anteriormente e explicassem quais leis estão envolvidas em cada atividade experimental.

Aula 14: Máquina de Heron

Montamos um dispositivo, cujo mecanismo é o mesmo da máquina de Heron, e no início da aula, expusemos para a turma seu funcionamento. A montagem é bastante simples e o material bem acessível. Utilizamos uma latinha de refrigerante de 250 ml, um prego fino, dois canudinhos de plástico encurvados, um metro de barbante ou linha forte, durepoxi, uma vela e uma seringa (opcional)

Abaixo, segue a execução do projeto:

- Com um prego fino faça um furo do diâmetro dos canudinhos em um ponto médio na lateral da latinha.
- Faça um segundo furo idêntico e diametralmente oposto ao primeiro, veja a Figura 4.4



Figura 4.5 – latinha com os dois furos laterais

- Deixe escoar todo o refrigerante de dentro da latinha.
- Coloque cerca de 50 a 100ml de água na latinha pelos furos. Para facilitar, usamos uma seringa.
- Cole os canudinhos nos furos tendo o cuidado de vedar bem o espaço entre o furo e o canudinho. Utilizamos durepoxi em nossa montagem.
- Amarre o barbante ou fio de nylon de forma que a latinha fique na vertical quando suspensa.
- Pendure a latinha num suporte de modo a manter um comprimento de no mínimo 30 cm, entre a latinha e o ponto de fixação no suporte. Acenda a vela.

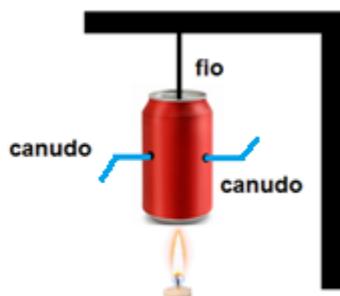


Figura 4.6 – Montagem final

Assim que iniciar o movimento da latinha, peça que após observarem, respondam o questionário:

1) Que transformação de energia está ocorrendo no funcionamento desse dispositivo?

2) O que aconteceu com o gás contido no embolo quando ele recebeu calor e se expande mas, sem que haja variação na sua pressão?

Após aguardarmos os alunos anotarem suas respostas, iniciamos a parte teórica da aula.

A energia total de um sistema é composta de duas parcelas: a energia externa e a energia interna.

A energia externa do sistema, composta pela energia cinética e pela energia potencial, resulta das relações que o gás mantém com o meio exterior, já a energia interna do sistema corresponde a energia térmica, energia potencial associada as forças internas e a energia cinética molecular. Nas transformações gasosas, a variação de energia interna (ΔU) é sempre acompanhada de variação de temperatura (ΔT).

Para um gás monoatômico e ideal:

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

Podemos concluir então que a variação da energia interna de uma determinada quantidade de gás ideal depende somente da variação de temperatura sofrida pelo gás durante a transformação.

Voltando ao nosso experimento, podemos explicar que a água contida na lata ao receber calor da chama da vela, aumentou sua temperatura e conseqüentemente, aumentou a energia interna do sistema.

A água no estado de vapor fez a pressão interna da lata aumentar, ocasionando a emissão do vapor pelos furos laterais. Quando o vapor sai, este realiza trabalho. O trabalho foi realizado pela força que as moléculas de vapor fizeram na parede da lata, provocando o giro.

Usando a conservação de energia, podemos enunciar a primeira lei da termodinâmica:

A variação da energia interna de um sistema é dada pela diferença entre o calor trocado com o meio exterior e o trabalho realizado no processo termodinâmico.

$$\Delta U = Q - W$$

Aula 15: Resolução de exercícios

Aula de resolução de exercícios envolvendo a Primeira Lei da Termodinâmica.

Aula 16: Máquinas Térmicas

Propomos a sexta e ultima atividade experimental. Está atividade consta de um roteiro experimental proposto pelo grupo Ciência na Mão da USP. Disponível em:

http://www.cienciamao.usp.br/tudo/exibir.php?midia=pmd&cod=_pmd2005_i4301.

Acesso em 15/05/2016

Dividimos a sala em seis grupos e distribuimos para cada grupo um tubo de vidro conta gotas, uma seringa, um tubo flexível “tripa de mico”, cola, fita adesiva, álcool gel, uma placa de madeira de aproximadamente 15cm x 20cm, uma tampinha de garrafa, uma placa de alumínio ou lata – pode ser cortada da latinha de refrigerante, fósforo, alguns bloquinhos de madeira, duas tachinhas e arame.

Cortamos a parte de cima da tampinha do vidro conta gotas e passamos o tubo flexível por dentro da tampinha cortada.



Figura 4.7 – Experimento 6

Com o uso dos dois bloquinhos de madeira e uma chapa metálica de aproximadamente 3cm x 4cm, os alunos montaram o suporte esquematizado abaixo. Utilizamos as duas tachinhas para fixar mais firmemente a chapa nos bloquinhos.



Figura 4.8 – Experimento 6

O tubo de vidro foi fixado no suporte com um pedaço de arame. Pedimos que prendessem uma das extremidades do tubo de borracha no bico da seringa e a outra na boca do vidro. A seringa foi fixada na placa de madeira com uso da fita adesiva, que ficou com o embolo voltado para o suporte do vidro.

Pedimos que colocassem a tampinha de garrafa com um pouco de álcool sob o suporte. Entre a seringa e a tampinha de garrafa deve haver um isolante térmico, use um pedaço de madeira. Colocamos fogo no álcool que está na tampinha e observe:



Figura 4.9 – Experimento 6

A seguir, os alunos responderam as seguintes perguntas:

- 1) Descreva o que foi observado com relação ao movimento do “embolo”. O que proporcionou tal movimento?
- 2) Discuta o que aconteceu com a pressão do gás enquanto a temperatura aumentava.
- 3) Houve realização de trabalho? Comente.
- 4) No resfriamento, o que acontece com o pistão? Explique fisicamente porque isso aconteceu.
- 5) Comente o que você pensa ter sido o comportamento das moléculas deste gás durante o processo de aquecimento e de resfriamento
- 6) Esse experimento pode ser considerado um processo reversível? Justifique.
- 7) Esta máquina térmica não está completa; sabemos que uma máquina térmica opera em ciclos. Tente adaptar o projeto de maneira que isso possa ocorrer.

5 ANÁLISE DE DADOS

5.1 A SEQUÊNCIA DIDÁTICA

O objetivo principal dessa pesquisa foi gerar instrumentos para criarmos uma Sequência Didática que abordasse de forma contextualizada e experimental conceitos tratados na Termodinâmica e que permitisse tratar de ações que promovessem trabalhar os processos de alto valor cognitivo. Portanto, nosso trabalho consta de dois momentos, quais sejam, elaboração de uma Sequência Didática e análise da Tabela Bidimensional preenchida.

Aula 1: Iniciamos nosso trabalho perguntando aos alunos se era possível a construção de um motor perpétuo.

1) A Termodinâmica tomou forma basicamente no século XIX, tanto como interesse científico quanto como necessidade tecnológica. Foi a base da Revolução Industrial, sob a forma de máquinas a vapor, alimentadas pelo carvão, na determinação de substituir músculos humanos e de animais pelo poder mecânico das máquinas. A termodinâmica, ao permitir a transformação da energia e produzir trabalho, foi fundamental para libertar a humanidade do horror da escravidão, que, por séculos, fez de milhões de seres humanos criaturas degradadas aos olhos de um senhor. A Primeira Revolução Industrial que começou na Inglaterra em meados do século XVIII foi marcada pela invenção da máquina a vapor, que substituiu grande parte das máquinas manuais ou movidas a tração animal. A Segunda Revolução Industrial, no fim do século XIX e início do século XX, foi marcada pela substituição das máquinas a vapor por máquinas elétricas ou movidas a petróleo.

Grupo	Qual é o papel de uma máquina? Ela pode gerar energia?
G1	<i>Substituir a força animal e humana. Sim, ela pode gerar e transformar energia</i>
G2	<i>A máquina tem o poder de substituir os seres humanos e ela não gera energia</i>
G3	<i>Produzir o trabalho humano, ou seja, substituir músculos humanos e animais. Não, apenas trocar temperatura</i>
G4	<i>O papel de uma máquina está relacionado em produzir algo, substituindo a</i>

	<i>manufatura pela maquinafatura. Sim, ela pode gerar energia.</i>
--	--

Quadro 5.1– Respostas prévias dos alunos no 1º Momento

Para os grupos que responderam que uma máquina gera energia, aproveitei e perguntei se uma máquina que gera sua própria energia poderia funcionar perpetuamente e se eles conseguiam pensar em alguma máquina que funcionava dessa forma. Nenhum dos grupos conseguiu citar uma máquina que funcionava dessa forma e alguns alunos, intrigados, resolveram repensar as respostas dadas no questionário.

Grupo	Indique o tipo de energia que é transformada em trabalho na máquina a vapor. Qual é a fonte de energia utilizada?
G1	<i>A termodinâmica, alimentada por carvão</i>
G2	<i>A máquina é gerada por carvão que gera energia cinética</i>
G3	<i>Termodinâmica</i>
G4	<i>Na máquina a vapor a matéria prima é o carvão este é queimado e o vapor é a energia que dá movimento à máquina</i>

Quadro 5.2– Respostas prévias dos alunos no 1º Momento

2º Momento: considere as respostas obtidas no debate e responda:

Grupo	Iremos estudar Termodinâmica, parte da Física que trata dos processos de transferência de calor e de trabalho entre um sistema e o ambiente. O estudo das máquinas térmicas faz parte da Termodinâmica. O que você entende por “máquina térmica”?
G1	<i>Uma máquina capaz de manter uma determinada temperatura</i>
G2	<i>Uma máquina térmica é quando ela mantém a temperatura específica do objeto</i>
G3	<i>Elas apenas fazem conversão de calor ou energia térmica em trabalho mecânico</i>
G4	<i>É aquela que mantém a temperatura desejada.</i>

Grupo	Cite alguns exemplos de máquinas térmicas que você conhece.
G1	<i>Garrafa de café, aquecedor, refrigerador.</i>
G2	<i>Freezer, geladeira, micro-ondas e etc.</i>
G3	<i>Motor, luz solar, geladeira, barcos a vapor.</i>
G4	<i>Freezer, geladeira, micro-ondas, forno</i>

Quadro 5.3– Respostas prévias dos alunos no 2º Momento

Após o debate, conseguimos notar que os alunos relacionam de forma primitiva o conceito de energia e trabalho, além de não entenderem o calor como forma de energia. Muitos relacionaram o papel de uma máquina térmica como sendo algo que gerasse calor ou conservasse o calor.

De posse dos dados necessários, montamos uma sequência de atividades que explorassem os comportamentos educacionais pretendidos após o estudo da unidade Termodinâmica.

Aula 2: Nesta aula, nosso objetivo foi diferenciar o conceito de calor e temperatura e analisar as situações cotidianas em que se estabelece o equilíbrio térmico.

Abaixo seguem os resultados obtidos após a primeira atividade experimental constante da Sequência Didática.

A pergunta foi feita antes da entrega do material do experimento; algumas das respostas dadas pelos alunos estão no quadro abaixo:

Aluno	Usamos o nosso corpo como termômetro em várias situações. O tato é um bom método para se medir a temperatura de alguém?
A1	<i>Com certeza. Se encostar a mão na testa de uma pessoa, dá para saber se ela está com febre.</i>
A2	<i>Não, porque cada pessoa sente o calor de uma forma diferente.</i>
A3	<i>Depende. Se “a coisa” não tiver quente demais dá para usar a mão para medir a temperatura.</i>
A4	<i>Sim, quando saio de casa, dá para saber se está frio sem usar termômetro.</i>

Quadro 5.4– Respostas prévias dos alunos antes da Atividade Experimental 1

A pergunta iniciou um debate sobre a diferença entre temperatura e sensação térmica. Para estimular a construção de uma resposta consensual da turma disponibilizamos para os alunos o material experimental que constava de três bacias com porções de água a temperaturas diferentes. A sala foi dividida em seis grupos. Essa atividade apesar de muito simples causou grande surpresa nos alunos. Após a atividade experimental, os alunos responderam ao questionário. Ainda em grupos pedimos que cada representante do grupo lesse as respostas.

Grupo	O que aconteceu quando foram colocadas as duas mãos na água morna? O que foi sentido em cada mão?
G1	<i>A mão que estava no gelo ficou quente e a mão que estava na água quente ficou fria</i>
G2	<i>A que estava gelada ficou quente e a que estava quente ficou gelada. Houve uma inversão</i>
G3	<i>A mão direita recebeu calor e a mão esquerda perdeu calor</i>
G4	<i>A mão que estava no gelo quando colocada na água morna ficou quente e a Mao que estava na água quente ficou gelada. Foi “sentido” uma diferença de temperatura: uma mão ficou fria e a outra ficou quente</i>

Quadro 5.5 – Respostas transcritas da Atividade Experimental 1

Grupo	A mão direita recebeu ou perdeu calor? E a esquerda?
G1	<i>A mão direita perdeu calor e a mão esquerda recebeu</i>
G2	<i>A mão que estava na bacia de gelo ganhou calor. A mão que estava na bacia quente perdeu calor</i>
G3	<i>Aconteceu que a temperatura que estava baixa, aumentou e a temperatura que estava alta, ficou baixa. A mão que estava com gelo ficou quente e a mão que estava na água morna ficou gelada</i>
G4	<i>A mão que estava no gelo recebeu calor e a Mao que estava na água quente perdeu calor</i>

Quadro 5.6– Respostas transcritas da Atividade Experimental 1

Grupo	Afinal, o tato é um bom método para se medir a temperatura de alguém? Explique.
G1	<i>Eu acho que não, pois o tato não é um método confiável porque se sua mão tiver quente e a pessoa “tiver” com febre quando colocar a mão na pessoa não vamos saber se ela ta com febre ou não</i>
G2	<i>Mais ou menos, pois o tato nos dá uma noção, mas não uma exatidão da temperatura</i>
G3	<i>Sim, pois se a mão for colocada em uma panela quente vamos sentir a temperatura quente. E se a mão for colocada em um congelador, a temperatura vai ser fria. É possível sim medir a temperatura de alguém através do tato.</i>
G4	<i>Depende do momento. Um exemplo prático é quando vamos medir a temperatura de alguém para saber se ela está com febre. Se estivermos com a mão quente a pessoa ficará fria e vice e versa</i>

Quadro 5.7– Respostas transcritas da Atividade Experimental 1

Um fato relevante foi observado: mesmo após a experimentação, alguns alunos ainda acreditavam que o tato seria um bom medidor de temperatura, somente após a discussão conjunta conseguimos formular uma resposta para a questão inicial.

A questão foi colocada em uma avaliação bimestral e apenas dois alunos responderam que o tato é um bom termômetro.

Aula 3 e Aula 4: A proposta da segunda atividade experimental era a elaboração de uma escala termométrica apropriada para um termômetro. Após as coletas de dados, os alunos estabeleceram uma fórmula de conversão entre as duas escalas baseada nas alturas de coluna de álcool para as temperaturas dos pontos fixos utilizados. Alguns alunos encontraram dificuldade em buscar a relação matemática pedida. No quadro, relembramos a construção da escala de conversão entre as escalas Celsius e Fahrenheit aprendidas na aula anterior.

Apesar de ser a segunda experiência que utilizamos tabelas, alguns alunos ainda encontraram certa dificuldade no manuseio desse tipo de ferramenta e por ser necessário a intermediação durante a atividade, não recomendamos que a sala seja dividida em muitos grupos.

Aula 5: Esta aula tem como tema o estudo da calorimetria. Os alunos realizaram a Atividade Experimental 3. Após as medições, eles determinaram qual a variação de temperatura para cada minuto de aquecimento da água₁ (massa 100 g), da água₂ (massa 50 g) e do óleo de soja (massa 100 g), traçaram gráficos de temperatura versus tempo, considerando os valores encontrados para as diferentes quantidades de água, e para o óleo, utilizando o mesmo papel milimetrado e calcularam a taxa de aquecimento ($\Delta T/\Delta t$), de cada substância, determinando a inclinação de cada reta obtida.

Aproveitamos a aula para ensinar como utilizamos o papel milimetrado e da importância da análise de gráficos.

A Física expressa relações entre grandezas através de fórmulas, cujo significado pode também ser apresentado em gráficos. Utiliza medidas e dados, desenvolvendo uma maneira própria de lidar com os mesmos, através de tabelas, gráficos ou relações matemáticas. Mas todas essas formas são apenas a expressão de um saber conceitual, cujo significado é mais abrangente. Assim, para dominar a linguagem da Física é necessário ser capaz de ler e traduzir uma forma de expressão em outra, discursiva, através de um gráfico ou de uma expressão matemática, aprendendo a escolher a linguagem mais adequada a cada caso. (BRASIL, 2000, p. 27)

Aula 6 e Aula 7: fizemos as análises dos dados obtidos com o experimento e dos gráficos traçados. Os alunos responderam quatro perguntas:

- 1) A variação de temperatura, para cada minuto de aquecimento, foi a mesma para cada uma das três situações (água₁, água₂, e óleo), dentro da precisão experimental?

100% dos alunos responderam que a variação foi diferente.

Grupo	2) As taxas de aquecimento obtidas a partir dos gráficos, foram as mesmas para: a) Diferentes quantidades de água? Justificar a resposta. b) Quantidades iguais de óleo e de água? Justificar a resposta.
G1	<i>a) Não, pois quanto maior a quantidade de água menor é o aquecimento no minuto.</i> <i>b) Não</i>
G2	<i>Não, porque a água 1 demorou mais a esquentar e a água 2 como tinha menos água esquentou muito mais rápido</i> <i>b) sim</i>

G3	<i>Não, pois para cada experimento usamos uma quantidade de água e a que possui menos água esquenta mais rápido. b) não, pois o óleo tem a consistência e é uma substância diferente da água e também aquece mais rápido.</i>
G4	<i>No 2º procedimento as taxas de aquecimento da água foram maiores que as taxas do 1º procedimento. b) não, as taxas de aquecimento do óleo foram maiores que as taxas de aquecimento da água</i>
G5	<i>Pois na 1ª tinha 50mL de água a mais do segundo, ou seja, a menor quantidade de água esquentará mais rápido e foi o que ocorreu com a experiência feita. b) de acordo com que foi feito o aquecimento não foi o mesmo pois o óleo esquentou mais rápido que a água</i>

Quadro 5.8– Respostas transcritas da Atividade Experimental 3

Grupo	3) Qual a relação entre as quantidades de calor fornecidas para que 200 g de água atinjam a mesma temperatura que 100 g de água, em um mesmo intervalo de tempo?
G1	<i>Aumentando a quantidade de fogo, a água esquentara mais rápido e no mesmo tempo</i>
G2	<i>A temperatura do fogo tem que ser igual</i>
G3	<i>A de 200g terá que ser usada mais calor para atingir a mesma temperatura de 100g de água no mesmo intervalo</i>
G4	<i>A quantidade de calor da água tem que ser a mesma</i>
G5	<i>É necessário que o fogo (calor) aqueça mais rápido</i>

Quadro 5.9– Respostas transcritas da Atividade Experimental 3

Grupo	4) Para que quantidades diferentes de água tenham a mesma variação de temperatura em um mesmo intervalo de tempo, qual a relação entre as quantidades de calor fornecidas?
-------	---

G1	<i>As variações de temperatura são iguais, bem como o calor específico pois trata-se da mesma substância. Varia apenas as massas</i>
G2	<i>A maior quantidade terá que receber mais calor do que a menor quantidade de água</i>
G3	A temperatura tem que ser a mesma
G4	Necessita que a temperatura seja igual
G5	Igual, porque é igual quantidade de água

Quadro 5.10– Respostas transcritas da Atividade Experimental 3

De maneira geral, obtivemos respostas muito coerentes com o esperado e consideramos o momento mais difícil da aula quando os alunos tiveram que traçar os gráficos, já que a maioria nunca tinha utilizado o papel milimetrado. Foi necessária uma explicação do procedimento. Recomendo, caso haja aula disponível, que o papel milimetrado seja apresentado de maneira mais formal uma aula antes do experimento.

$$Pot = \frac{Q}{\Delta t}$$

$$Pot = \frac{mc\Delta\theta}{\Delta t}$$

$$\frac{Pot}{c} = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \text{tg}\alpha$$

A potência é constante, pois utilizamos o mesmo queimador (considerando que o mesmo atingiu o regime estacionário), temos portanto que a quanto maior inclinação da reta, menor a capacidade térmica.

Aula 9 e Aula 10: Exibimos uma animação que mostra o aquecimento de uma massa de água inicialmente no estado sólido até se transformar em água no estado gasoso. Após a apresentação, os alunos fizeram um esquema gráfico (desenhos) para representar o experimento, redigiram um texto sintetizando o experimento do vídeo, desde o gelo até o vapor e esboçaram a curva de aquecimento da água do estado sólido ao gasoso.

Aula 11 e Aula 12: Nesta aula, os alunos estudaram trocas de calor, utilizando um calorímetro construído por eles mesmos.

Abaixo, segue algumas respostas apresentadas no roteiro da 4ª Atividade

Experimental - Calorímetro.

Grupo	O calor específico do álcool obtido experimentalmente é igual ao valor teórico listado na tabela 1?
G1	<i>Sim, encontramos um valor muito parecido. Valor encontrado: 0,63 cal/g°C. Valor da tabela: 0,59 cal/g°C.</i>
G2	<i>Não, encontramos um valor diferente: 0,65 cal/g°C.</i>
G3	<i>Nosso valor: 1,58 cal/g°C. Valor da experiência: 0,59 cal/g°C.</i>
G4	<i>Não. Achamos $c = 0,65$ cal/g°C.</i>
G5	<i>Acho que está parecido, porque encontramos 0,64 cal/g°C.</i>

Quadro 5.11– Respostas transcritas da Atividade Experimental 4

Tomando-se os devidos cuidados durante as medições e procedimentos experimentais, os grupos encontraram um valor bem próximo ao apresentado na tabela apresentada no roteiro (0,58 cal/g°C). Interessante a discussão quando perceberam que mesmo próximo, o calor específico obtido experimentalmente não foi exatamente o mesmo valor teórico. Aproveitamos e discutimos com os alunos que o valor tabelado é o calor específico médio do álcool. Escutamos algumas sugestões vindas de grupos que conseguiram obter valores próximos ao teórico. Apenas um dos grupos encontrou um valor muito discrepante e após verificarmos, concluímos que o erro ocorreu durante os cálculos. Refizemos os cálculos e obtivemos um valor mais adequado.

Ainda neste roteiro, havia uma questão muito interessante, onde apresentávamos uma aplicação prática para o cálculo do calor específico de um material. Muitas vezes, nós professores, apresentamos cálculos para os alunos porém não nos preocupamos em citar uma utilidade para o feito. A questão maior para se determinar o calor específico de um material é ter o controle da quantidade de calor trocada entre os diferentes corpos quando se realiza experimentos, mas podemos também identificar uma substância analisando-se suas trocas de calor com outro material conhecido, assim como fizemos nesta atividade experimental.

Aula 13: Fizemos três experimentos para relacionar os conceitos pressão, volume e temperatura. Apesar de se tratarem de atividades simples, renderam boas

discussões. O conceito *pressão* se confundiu muitas vezes com o conceito de *força*, tivemos a oportunidade de formalizar o conceito de pressão e tratar as unidades de medida, e sem planejarmos, discutimos um pouco de hidrostática. Considero que antes dessa prática, o conceito de pressão seja estabelecido formalmente. Esta foi uma atividade de observação, os alunos não coletaram dados.

Aula 14: Os alunos após observarem um artefato similar à Máquina de Heron, responderam o questionário. Todos os alunos responderam a pergunta “Que transformação de energia está ocorrendo no funcionamento desse dispositivo?” usando o Princípio de Conservação de Energia.

Aula 15: Resolução de exercícios propostos no livro didático.

Aula 16: Construção de uma Máquina Térmica e resolução de um questionário que foi entregue como avaliação.

Durante a montagem do experimento, enfrentamos um problema: o “êmbolo” da seringa que havíamos escolhido para o experimento não se movimentava, como descrito no roteiro. Tivemos que testar com outras seringas, e na terceira tentativa, conseguimos comprar uma seringa que funcionou perfeitamente para essa demonstração. No roteiro, há um alerta para esse fato e há um remédio sugerido: lubrificar o êmbolo com óleo. Recomendamos que esse experimento, assim como os demais, sejam testados anteriormente pelo professor.

Seguem abaixo, as perguntas mais relevantes para análise da atividade.

Grupo	Durante o experimento, houve algum tipo de perda de energia para o meio?
G1	<i>Não, o calor se transformou em movimento do êmbolo</i>
G2	<i>Sim, porque sempre perde um pouco de energia por atrito</i>
G3	<i>Sim, por causa do atrito e também porque uma parte do calor se perdeu para a sala de aula</i>
G4	<i>Sim, o calor não virou só trabalho</i>

G5	<i>Sim, pode ter perdido calor para o meio</i>
----	--

Quadro 5.11– Respostas transcritas da Atividade Experimental 4

Podemos observar que após discussões na aula de máquinas térmicas (aula 14), a maior parte das respostas obtidas no questionário, aponta a possível perda de energia. Um dos alunos, no momento de discussão enunciou a Segunda Lei da seguinte forma:

Grupo	Discuta o que aconteceu com a pressão do gás enquanto a temperatura aumentava.
G1	<i>A pressão aumentou, pois a temperatura aumentou.</i>
G2	<i>Aumentou por causa da temperatura. Já estudamos que quando aumenta a temperatura, a pressão aumenta</i>
G3	<i>Não dá para medir</i>
G4	<i>Ficou igual (constante)</i>
G5	<i>Diminui, porque o volume aumentou</i>

Quadro 5.11– Respostas transcritas da Atividade Experimental 4

Pergunta não trivial e que resultou em muitas discussões. A pressão do gás vai aumentar, empurrando o êmbolo. O êmbolo se movimenta por ter uma força resultante diferente de zero. Essa força resultante é devida à diferença de pressão entre o gás e a pressão atmosférica.

Na pergunta seguinte, verificamos que todos os alunos apontaram que *houve realização de trabalho* e justificaram por ter notado a variação de volume ocupado pelo gás dentro da seringa.

Quando questionamos como poderíamos adaptar o projeto original, tornando o funcionamento da máquina como uma operação cíclica, a maior parte dos alunos, apontou como solução, trazer um agente externo para retirar a fonte quente (tampinha com álcool) após o trabalho ser realizado pelo gás. Expliquei que a ideia não era válida, pedi que pensassem um pouco mais. Um aluno deu uma ideia: colar a tampinha com álcool no êmbolo, dessa forma quando o êmbolo sofresse a expansão, a chama sairia debaixo do vidro, não fornecendo mais calor, resfriando o sistema. Durante o resfriamento, o gás diminuiria de volume, movimentando o embolo no sentido

contrário, trazendo de volta a fonte de calor. E assim, seguiria o funcionamento.

Perguntei se dessa forma o sistema funcionaria de forma perpétua. Outros grupos se manifestaram e apontaram o possível atrito entre a seringa e a superfície como um possível fator de dissipação de energia, não sendo possível, portanto o funcionamento eterno da máquina adaptada.

Outro grupo apontou ainda o fato de o álcool acabar, ocasionando dessa forma o fim de nosso combustível para a fonte quente.

Como já mencionamos, essa sequência foi aplicada em duas turmas e somente em uma tivemos uma sugestão plausível. É importante fomentar a discussão sem induzir respostas.

Na turma que não conseguimos uma adaptação do projeto, abrimos nossa discussão de outra forma: perguntei a eles como poderíamos tornar aquele processo cíclico. Os alunos concordaram que era necessário retirar a fonte de calor, porém não conseguiram buscar uma forma de realizar tal evento. Aproveitamos o experimento para discutir as transformações de energia ocorridas e novamente concluíram que a máquina não poderia ser vista como um moto perpétuo. No final da aula, pedi para pensarem em casa a forma de adaptação do projeto. No dia seguinte, trouxeram a resposta. Talvez tenham trocado ideias com a outra turma, de qualquer forma, considereei válida a experiência. Trouxemos as respostas para a sala e debatemos novamente o assunto.

Como avaliação final, os alunos responderam as perguntas:

7) Você acredita na possibilidade de, algum dia, ser inventada uma máquina que gere a própria energia?

8) No futuro, será possível a existência de uma máquina 100% eficiente, ou seja, que transforme toda sua energia recebida em trabalho útil? Use a Segunda Lei da Termodinâmica para explicar sua resposta.

Abaixo, seguem algumas das respostas:

7) Você acredita na possibilidade de, algum dia, ser inventada uma máquina que gere a própria energia? Explique.

Eu acredito que isso não seria possível, porque já foi considerado que diante das leis da termodinâmica seria impossível uma máquina gerar sua própria energia.

8) No futuro, será possível a existência de uma máquina 100% eficiente, ou seja, que transforme toda sua energia recebida em trabalho útil? Use a segunda lei da termodinâmica para explicar sua resposta.

No futuro não existiria a possibilidade de existir uma máquina 100% eficiente porque seria violada a segunda lei da termodinâmica.

7) Você acredita na possibilidade de, algum dia, ser inventada uma máquina que gere a própria energia? Explique.

Não, como sempre ocorre a perda de calor em processos termodinâmicos, a máquina não se sustentaria a ponto de produzir sua própria energia.

8) No futuro, será possível a existência de uma máquina 100% eficiente, ou seja, que transforme toda sua energia recebida em trabalho útil? Use a segunda lei da termodinâmica para explicar sua resposta.

Não, por maior que seja a eficiência da máquina, jamais alcançará os 100%, já que sempre haverá a perda de uma quantidade de energia (calor).

7) Você acredita na possibilidade de, algum dia, ser inventada uma máquina que gere a própria energia? Explique.

Não, pois energia não pode ser criada nem destruída, logo para uma máquina gerar sua própria energia, ela deve estar "consumindo alguma coisa", que mais cedo ou mais tarde iria acabar

8) No futuro, será possível a existência de uma máquina 100% eficiente, ou seja, que transforme toda sua energia recebida em trabalho útil? Use a segunda lei da termodinâmica para explicar sua resposta.

Acredito que um rendimento de 100% seja impossível, pois nessa situação toda energia deve ser transformada em trabalho, ou seja, esta máquina não poderia fazer barulho e nem aquecer que é uma forma de perder energia. Aprendemos que o aquecimento dá origem ao trabalho em uma máquina térmica.

5.2 TAXONOMIA DE BLOOM

A Tabela 5.1 explicita os objetivos, atividades instrucionais e as avaliações contempladas após o planejamento da Sequência Didática.

Objetivo I - Comparar o conceito de calor e temperatura.

Objetivo II - Conhecer o termômetro de álcool comum e aprender a utilizá-lo corretamente

Objetivo III - Elaborar uma escala termométrica apropriada para um termômetro em que a escala esteja apagada

Objetivo IV- Estabelecer uma escala de conversão de temperatura utilizando um termômetro graduado na escala Celsius e um termômetro de escala desconhecida

Objetivo V - Identificar situações cotidianas e fenômenos naturais explicados pelos conceitos de calor específico e capacidade térmica.

Objetivo VI- Aplicar a equação fundamental da calorimetria

Objetivo VII- Análise de dados

Objetivo VIII - Identificar situações nas quais aquecimentos/resfriamentos provocam mudanças no estado físico de um corpo

Objetivo IX - Analisar as trocas de calor num sistema termicamente isolado

Objetivo X - Reconhecer as grandezas físicas: pressão, volume e temperatura como variáveis que representam o estado de um gás em determinado instante.

Objetivo XI - Diferenciar as transformações gasosas e reconhecer as variáveis de estado de um gás que se alteram em cada uma dessas transformações.

Objetivo XII - Compreender o estabelecimento da equação de um gás ideal como generalização de leis de transformações gasosas, obtidas a partir de dados experimentais.

Objetivo XIII - Reconhecer a aplicação do conceito de trabalho nos sistemas que contenham gás.

Objetivo XIV - Compreender a relação entre as grandezas calor, trabalho e variação de energia interna como Princípio de Conservação de Energia.

Objetivo XV - Compreender a Primeira Lei da Termodinâmica como uma expressão do princípio da conservação de energia.

Conhecimento	Processo Cognitivo					
	Lembrar	Entender	Aplicar	Analisar	Avaliar	Criar
Factual	Objetivo X	Objetivo I Objetivo V Aula 5		Objetivo XI Aulas 5 Aula 11 Aula 12		
Conceitual	Objetivo XII Objetivo XIII Objetivo XV Aulas 3 Aula 4 Aula 8 Aula 14	Objetivo XIV Aulas 6 Aula 7 Aula 9 Aula 10 Aula 11 Aula 12 Aula 13 Aula 14		Objetivo IX	Aula 2	Aula 5 Aula 17
Procedimental	Objetivo XI	Objetivo II Objetivo VII Objetivo VIII Aula 3 Aula 4 Aula 16	Objetivo VI Aula 2 Aula 9 Aula 10 Aula 11 Aula 12 Aula 15	Objetivo VI	Objetivo VIII	

Metacognitivo		Objetivo VII Aula 11 Aula 12		Objetivo VII	Aula 16	
---------------	--	---	--	---------------------	----------------	--

Tabela 5.1– Objetivos, atividades instrucionais e avaliações contemplados após o planejamento da Sequência Didática.

Aula 1: Aplicação do Questionário 1, dividido em dois momentos com discussão das respostas dadas pelos alunos. Este acontecimento, por se tratar de uma introdução geral para o ensino da unidade, não classificamos no Quadro de Categorização.

Aula 2: Pedimos para os alunos responderem a seguinte pergunta: “Usamos nosso corpo como um termômetro em várias situações. O tato é um bom método para se medir a temperatura de alguém?”

A pergunta exige que os alunos avaliem uma situação proposta. Dentro da categoria de *avaliar conhecimento conceitual*, nosso interesse está no *julgar* que envolve criticar uma operação ou produto baseado em critérios e padrões impostos externamente.

Após os levantamentos preliminares, partimos para a execução da Atividade Experimental 1. Podemos classificar esta prática como *aplicar conhecimento procedimental*. Aplicar é a capacidade de usar um procedimento aprendido em uma situação familiar ou nova.

Aula 3 e Aula 4: Em grupo, os alunos responderam duas perguntas:

- 1) O que estamos avaliando de fato quando medimos a temperatura de um corpo?
- 2) Como os termômetros medem a temperatura?

Após anotarem suas respostas no caderno, receberam o roteiro da Atividade Experimental 2 que tinha como proposta a construção de uma escala termométrica utilizando um termômetro de escala desconhecida.

As perguntas acima exigem dois tipos de conhecimentos e processos cognitivos. A primeira pergunta demanda o *lembrar conhecimento factual*, pois remete ao conceito de temperatura, explorado na aula anterior; a segunda o *entender (explicar) conhecimento procedimental*.

Aula 5: No roteiro da Atividade Experimental 3, os alunos encontraram duas perguntas:

1) Será que quando aquecemos diferentes massas de uma mesma substância, água, por exemplo, fornecendo a mesma quantidade de calor, em um mesmo intervalo de tempo, a variação de temperatura é a mesma para as duas quantidades dessa substância?

2) Quando aquecemos substâncias diferentes, água e óleo, por exemplo, com a mesma massa e fornecendo a mesma quantidade de calor, a variação de temperatura é a mesma para as duas substâncias?

As duas perguntas reivindicam o mesmo processo cognitivo, o *criar conhecimento conceitual*, mais especificamente, *hipotetizar*, que supõe refletir sobre o problema e chegar às alternativas de resolução.

Após responderem as perguntas, os alunos desenvolveram a atividade experimental utilizando o roteiro. Nesta atividade prática, houve coleta de dados que foram registrados em tabelas. Os dados foram usados para construir um gráfico em papel milimetrado.

Registrar os dados e construir o gráfico, remetem aos processos cognitivos *analisar (organizar)* e *entender (interpretar)*, respectivamente, pois estão representando informação recebida de uma forma em outra. Como estão trabalhando com informações que são elementos básicos para resolver ou tratar o problema, o conhecimento envolvido na atividade é o *conhecimento factual*.

Aula 6 e Aula 7: Os alunos fizeram as análises de dados coletados na aula anterior. Listamos essa atividade como *entender (interpretar) conhecimento conceitual* – a partir das informações registradas no gráfico, os alunos inferiram a relação entre a massa da amostra, o tipo de substância utilizada, a variação de temperatura e a quantidade de energia fornecida no processo.

Aula 8: Aula expositiva. Foram formalizados os conceitos de calor específico e capacidade térmica. Por se tratar de *relembrar* informação que relaciona elementos básicos (variação de temperatura, calor e massa), estamos lidando com o *lembrar conhecimento conceitual*.

Aula 9 e Aula 10: Os alunos apresentaram exemplos de situações cotidianas de fenômenos envolvendo mudança de fase. Após, assistiram uma animação trazendo um experimento em que observamos um recipiente contendo gelo recebendo calor. Simultaneamente, um gráfico *temperatura x tempo* é traçado.

Ao apresentarem as situações cotidianas, os alunos estão participando de uma atividade envolvendo o processo cognitivo *entender (exemplificar) conhecimento conceitual*.

Ainda nesta aula, os alunos fizeram exercícios do livro didático, aqui citamos o *aplicar conhecimento procedimental*.

Aula 11 e Aula 12: Realizamos a Atividade Experimental 4 utilizando a mesma metodologia já apresentada anteriormente: experimento, coleta de dados e análise de dados. Portanto, tratamos dos processos *aplicar conhecimento procedimental, analisar (organizar) conhecimento factual e entender (interpretar) conhecimento conceitual* respectivamente.

Ainda foram propostas as seguintes perguntas:

1) O calor específico do álcool obtido experimentalmente é igual ao valor teórico listado na tabela?

2) Algumas pessoas cozinham feijão com alguns pregos para evitar a anemia. Comparando o calor específico do prego com a tabela, explique porque essa atitude não é válida.

As duas perguntas alcançam o *entender (interpretar) conhecimento metacognitivo*, pois para o aluno respondê-las, foram necessários uso de conhecimentos previamente assimilados de forma interdisciplinar.

Aula 13: Foram realizadas três atividades experimentais, sem coleta de dados. A intenção é a observação pura e simples de fenômenos. Após as observações, os alunos responderam no caderno as perguntas listadas abaixo:

1) O que você observou?

2) Como você explica o fenômeno observado?

Como são perguntas feitas após a observação do fenômeno, não podemos tratar as respostas dadas como hipóteses levantadas pelos alunos, temos então alinhado o *entender conhecimento conceitual*.

Em seguida, o conteúdo Transformações Gasosas foi formalizado através de

uma aula expositiva - *entender conhecimento conceitual*. Classificamos como *entender*, pois o aluno interpretou a informação transmitida a partir das demonstrações experimentais.

Aula 14: Observação de um dispositivo análogo a Máquina de Heron. Os alunos responderam as perguntas abaixo, após observarem o aparato funcionar:

1) Que transformação de energia está ocorrendo no funcionamento desse dispositivo?

2) O que aconteceu com o gás contido no êmbolo quando ele recebeu calor e se expande, mas sem que haja variação na sua pressão?

A primeira pergunta remete a *lembrar (relembrar) conhecimento conceitual* e a segunda (*entender*) *explicar conhecimento conceitual*

Formalizamos em uma aula expositiva a Primeira e a Segunda Lei da Termodinâmica - *entender conhecimento conceitual*.

Aula 15: Resolução de exercícios, portanto temos *aplicar conhecimento procedimental*.

Aula 16: Na ultima aula, fizemos a Experiência 6, a seguir os alunos responderam o questionário:

1) Descreva o que foi observado com relação ao movimento do “embolo”. O que proporcionou tal movimento?

2) Houve algum tipo de perda de energia para o meio?

3) Discuta o que aconteceu com a pressão do gás enquanto a temperatura aumentava.

4) Houve realização de trabalho?

5) No resfriamento, o que acontece com o pistão?

6) Comente o que você pensa ter sido o comportamento das moléculas deste gás durante todo o processo.

7) Esta máquina térmica não está completa; sabemos que uma máquina térmica opera em ciclos. Tente adaptar o projeto de maneira que isso possa ocorrer.

A primeira pergunta do questionário trata de *entender (explicar) conhecimento procedimental* e as demais indagações *avaliar (julgar) conhecimento metacognitivo*.

Na questão 7 demos como sugestão a adaptação de um projeto já pronto, dessa

forma, estamos cobrando o *criar conhecimento metacognitivo*.

As tarefas da aula 8 e da aula 16 foram entregues ao professor, todas as demais visam ajudar o professor avaliar o aprendizado do aluno no decorrer da aplicação da Sequência Didática.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Sequência foi planejada após uma análise de minha própria prática que vinha sendo desenvolvida ao longo de vários anos. Com a intenção de apresentar o conteúdo para que o aluno se preparasse para o vestibular, o planejamento das aulas eram focados na resolução de muitos exercícios após apresentação das equações contidas no conteúdo estudado pelo aluno.

Após alguns anos de experiência utilizando esse método de ensino, consegui observar que poucos alunos adquiriam conhecimento suficiente para desenvolver questões que fugiam dos padrões apresentados na maioria das provas de concursos vestibulares. Além, é claro, de um desânimo geral por parte dos alunos em aprender, já que muitos não viam sentido algum a ponto de perguntarem com frequência o motivo do ensino da Física.

Para que uma aprendizagem significativa possa acontecer, é necessário investir em ações que potencializem a disponibilidade do aluno para a aprendizagem, o professor pode, por exemplo, estabelecer relações entre os conhecimentos prévios dos alunos sobre um assunto e o que está aprendendo sobre ele.

Uma das principais dificuldades na escolha de atividades instrucionais é não conhecermos de imediato as experiências educacionais anteriores dos alunos. Até então, pouquíssimas vezes me atentei a este fato que hoje me parece tão obvio.

É preciso despertar no aluno a sua vontade de aprender dado conteúdo e criando-se um vínculo entre o conhecimento prévio e o novo saber. A nova informação se incorpora a sua estrutura cognitiva que se reorganiza e se prepara como base para aquisição de mais saberes. A construção do conhecimento é constante.

Neste trabalho há um permanente incentivo para que o aluno organize seus esquemas cognitivos; tentamos elaborar atividades que explorem o uso das mais variadas habilidades processuais, permitindo que o aluno construa conceitos, tome decisões acerca da relevância de fatos, observações.

É com muita satisfação que manifestamos bons resultados após a aplicação deste trabalho. Repensar nossa prática em sala de aula e constatar como é gratificante planejar com cuidado as atividades apresentadas em sala, refletindo sobre quais as habilidades são pretendidas ao término de cada aula.

REFERÊNCIAS

A.P.C.M e BELHOR, R.V. **Taxonomia de Bloom: revisão teórica e apresentação das adequações do instrumento para definição de objetivos instrucionais, Gestão e Produção.** São Carlos, 2010.

AUSUBEL, D. P., NOVAK, J. D. e HANESIAN, H. **Psicologia educacional.** Tradução de Eva Nick. Rio de Janeiro: Editora Interamericana Ltda,1980

BLOOM, B.S., Engelhart, M.D., Furst, E.J., Hill, W.H., & Krathwohl, D.R., **Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals. Handbook1: Cognitivedomain,** David McKay, 1956.

_____. **Taxionomia de objetivos educacionais.** Porto Alegre: Globo, 1973. p.11

BÔAS, N.V; DOCA, R, H; GUALTER, J,B. **Física 2. Termologia, ondulatória e óptica.** São Paulo: Saraiva. 2013

BRASL, Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio.** Brasília: MEC, 2000.

CIÊNCIA NA MÃO. **Produção de material didático, máquina térmica.** Disponível em http://www.cienciahao.usp.br/tudo/exibir.php?midia=pmd&cod=pmd2005_i4301 Acesso em maio de 2016

DOCA, R.J. e BISCUOLA, G.J. VILLAS BOAS, N; **Física I: Conecte,** 2. Ed. São Paulo: Saraiva, 2013

DINIZ, B.M. **Estudando o comportamento dos gases usando experimentos simples.** Disponível em <<http://www.pibid.ufsj.edu.br/quimica/enviados/estudandogases.pdf>> Acesso em outubro de 2016

FERRARO, N.G., RAMALHO, F., SOARES, P.T. **Os fundamentos da Física,** 11.ed. São Paulo: Moderna, 2015.

KRATHWOHL A.; David R. **A revision of Bloom's taxonomy: an overview, em Theory into Practice,** 2001.

MOREIRA, M. A, MASINI, E. F. S. **Aprendizagem Significativa: A teoria de David Ausubel.** São Paulo: Moraes, 1982.

_____. **A teoria da Aprendizagem Significativa e sua implementação em sala de aula.** Brasília: UnB, 2006.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica 2–Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor.** São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 5.ed, 2015.

RAMALHO JUNIOR, F.; FERRARO, N. G.;TOLEDO, P. A. **Os Fundamentos da Física.** São Paulo: Moderna, 10.ed, v.2, 2010.

SANT'ANNA, B. **Conexões com a Física** 2.ed – São Paulo: Moderna, 2013

SANTOS, J. N. **Uso de ferramentas cognitivas para a aprendizagem de física.** Dissertação (Mestrado em Física) –Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2005.

TAVARES, R. **Aprendizagem significativa e o ensino de ciências: um curso de Física.** In: I Conferência dos Executivos de Tecnologia da Informação em Universidade Latino-Americanas CEUTI/ABED, 2006, Brasília - DF. Anais do I CEUTI/ABED, 2006.

TAVARES, R.; SANTOS, J. N. D. **Organizador prévio e animação interativa.** IV International meeting on meaningful learning. Maragogi: 2003. Disponível em <<http://www.fisica.ufpb.br/~romero/objetosaprendizagem/Rived/02aProjeteisMovimento/site/organizador.pdf>> Acesso em outubro de 2016

Apêndice A - Proposta de Sequência Didática para o ensino de Termodinâmica

Caro (a) professor (a),

Elaboramos esse material como instrumento de apoio direcionado para o ensino de Termodinâmica para turmas de ensino médio, visando a compreensão dos conceitos utilizados ao longo do aprendizado do conteúdo, para tanto, priorizamos atividades que permitem um aprendizado ativo e interativo, onde o professor cria um ambiente próspero de aprendizagem que permite a comunicação, debates em grupos, construção de modelos, linhas de argumentação.

Atividades que desafiam ou instigam, valorizam as ideias prévias dos alunos acerca dos temas tratados em sala.

Este material pretende por meio das atividades apresentadas:

- contribuir como fonte de referência e de informação
- apoiar com propostas para o desenvolvimento do tema Termodinâmica
- conferir ao aluno o papel de agente ativo no processo de ensino aprendizagem, o convidando a responder perguntas e confrontar soluções.

A educação transita hoje por momentos de mudanças, tanto no que diz respeito a recursos didáticos, currículo, como também no que tange ao aspecto cognitivo dos alunos. Temos como consequência, efeitos diretos na nossa forma de abordar nosso conteúdo em sala de aula.

Um dos norteadores para definição de objetivos de ensino da Física, são os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN/2000). De acordo com o PCN, a Física consiste em:

- desenvolver a linguagem científica, a aprendizagem de conceitos e procedimentos e uso de modelos.
- entender a relação entre a Física e o contexto histórico em que estava inserida com as mudanças naturais e humanas e com o mundo atual.

Entendemos a busca por novas práticas como um movimento conjunto em busca de melhorias na qualidade da aprendizagem e do ensino de Física. De certo que, ao atualizarmos e buscarmos uma forma de aperfeiçoar a maneira de transmitirmos o conhecimento nos sentiremos mais motivados a continuar nessa difícil, mas gratificante tarefa de ensinar Física de forma prazerosa e significativa.

Desejamos a todos um bom uso do material e que este lhe sirva de inspiração na adoção de novas práticas de ensino de Física. Tenhamos todos, um bom trabalho!

Aula 1: Apresentação do trabalho e definição dos organizadores prévios dos alunos

Ausubel destaca a importância de se levantar os conhecimentos prévios dos alunos, tanto nas suas concepções baseadas no senso comum como conceitos aprendidos em momentos anteriores e que se tornaram ancoras dos novos conhecimentos. É de extrema importância, levantar e discutir os conceitos que iremos tratar em Termodinâmica. Elaboramos dois questionários para essa aula.

A aula foi dividida em dois momentos:

1º Momento:

A Termodinâmica tomou forma basicamente no século 19, tanto como interesse científico quanto como necessidade tecnológica. Foi a base da Revolução Industrial, sob a forma de máquinas a vapor, alimentadas pelo carvão, na determinação de substituir músculos humanos e de animais pelo poder mecânico das máquinas. A Termodinâmica, ao permitir a transformação da energia e produzir trabalho, foi fundamental para libertar a humanidade do horror da escravidão, que, por séculos, fez de milhões de seres humanos criaturas degradadas aos olhos de um senhor. A Primeira Revolução Industrial que começou na Inglaterra em meados do século XVIII foi marcada pela invenção da máquina a vapor, que substituiu grande parte das máquinas manuais ou movidas a tração animal. A Segunda Revolução Industrial, no fim do século XIX e início do século XX, foi marcada pela substituição das máquinas a vapor por máquinas elétricas ou movidas a petróleo.

1) Qual é o papel de uma máquina? Ela pode gerar energia?

2) Indique o tipo de energia que é transformada em trabalho na máquina a vapor.

Qual é a fonte de energia utilizada?

Ainda em grupos, os alunos leram para os colegas da sala as respostas dadas às duas primeiras perguntas. Anotamos no quadro algumas das respostas como levantamento prévio do tema.

No 2º momento, os alunos responderam mais duas perguntas:

2º Momento:

3) Iremos estudar Termodinâmica, parte da Física que trata dos processos de transferência de calor e de trabalho entre um sistema e o ambiente. O estudo das máquinas térmicas faz parte da Termodinâmica. O que você entende por “máquina térmica”?

4) Cite alguns exemplos de máquinas térmicas que você conhece.

Em meados do século XVIII, um conjunto de mudanças foi introduzido na Inglaterra e logo se difundiram para outros países da Europa.

A principal mudança foi a invenção da máquina a vapor, que utilizava a energia produzida pela queima do carvão mineral, recurso abundante em vários países da Europa. Com o uso de máquinas a vapor, as fábricas tornaram-se mais eficientes na produção de mercadorias e puderam ser instaladas perto das cidades. Antes, as pequenas fábricas existentes, encontravam dispersas, pois utilizavam energia hidráulica e precisavam ser instaladas próximas de rios.

O uso de energia a vapor foi idealizado em 1712 por Thomas Newcomen, para bombear água das minas de extração de carvão. Em 1769, James Watt descobriu uma forma de melhorar seu rendimento: Watt levou a temperatura do vapor, resfriando-o depois bruscamente. Com essas inovações na máquina a vapor, Watt ampliou o uso das máquinas térmicas, permitindo seu uso em outras máquinas industriais e em moinhos.

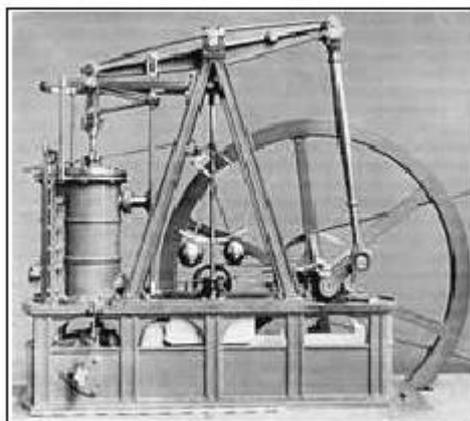


Figura 1 – Máquina a vapor de James Watt

Em termodinâmica, máquinas térmicas são dispositivos que convertem calor em trabalho. Podemos citar como exemplos de máquinas térmicas: locomotiva à vapor, motor a combustão, turbinas a vapor e máquinas refrigeradoras.

Aula 2: Calor x Temperatura

Objetivo da aula:

- ✓ Comparar os conceitos de calor, temperatura e sensação térmica.

A proposta da 1ª Atividade Experimental é verificar se o tato é um bom medidor de temperatura.

Peça para os alunos que formarem seis grupos e distribua para cada grupo: um roteiro da atividade experimental para cada componente do grupo, gelo, água de torneira, três recipientes plásticos, um ebulidor (que pode ser desprezado, caso o professor opte por já colocar a água aquecida em um dos recipientes distribuídos)

“Usamos o nosso corpo como termômetro em várias situações. O tato é um bom método de se medir a temperatura de alguém? Explique”.

Peça aos alunos que após discussão em grupo, respondam a pergunta proposta no próprio roteiro.

Essa é uma atividade simples para ser realizada pelos alunos em sala de aula e que envolve a discussão dos conceitos de calor, temperatura e sensação térmica.

Baseado nesse experimento, o aluno poderá concluir que a sensação térmica não é suficiente para definir a temperatura de um corpo.

No final da aula, peça para cada grupo escolher um dos roteiros para ser entregue ao professor para posterior avaliação das respostas dadas pelos grupos. Os roteiros recolhidos devem ser devolvidos aos alunos após a correção.

Aula 3 e Aula 4: Termometria – Explorando termômetros e as escalas termométricas

Objetivo da aula:

- ✓ Conhecer o termômetro de álcool comum e aprender a utilizá-lo corretamente
- ✓ Elaborar uma escala termométrica apropriada para um termômetro em que a escala esteja apagada
- ✓ Estabelecer uma escala de conversão de temperatura utilizando um termômetro graduado na escala Celsius e um termômetro de escala desconhecida

Na aula 2, após constatarmos que o tato não é um bom método para verificarmos a temperatura de um corpo, apresentaremos aos alunos os termômetros e algumas escalas termométricas mais utilizadas.

No roteiro há uma introdução teórica que pode ser lido com os alunos em sala de aula.

Divida a sala em seis grupos e distribua para cada grupo seis roteiros da 2ª Atividade Experimental, um termômetro sem graduação, um termômetro graduado na escala Celsius, um copo de vidro, gelo e água de torneira.

Termômetro é o dispositivo usado para medir variação de temperatura. Esse instrumento é composto por uma coluna de líquido termométrico, que ao sofrer um aumento em sua temperatura, sofre uma dilatação quase linear (considerando o capilar preenchido pelo líquido, com um diâmetro muito pequeno). A partir da variação da altura da coluna do líquido termométrico, definimos uma escala termométrica.

O primeiro termômetro foi inventado por Galileu Galilei no início do século XVI. Esse termômetro de vidro era constituído por um bulbo redondo e um tubo fino. O ar era aprisionado no bulbo superior, ligado por um tubo a um recipiente aberto contendo um líquido colorido.

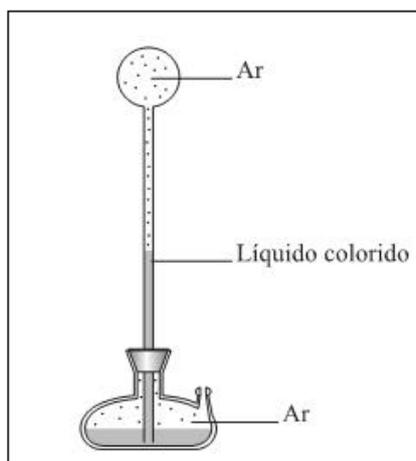


Figura 2 – Termoscópio de Galileu, um termômetro primitivo por ele construído no início do século XVI

Galileu aquecia o bulbo retirando parte do ar que estava dentro antes de virar o tubo dentro da água. Após mergulhar o tubo dentro da vasilha com água e corante, ocorria o equilíbrio térmico no sistema e a água subia através do tubo até certa altura. Desta forma, ele conseguia realizar comparações (medições indiretas) entre qualquer corpo que era colocado em contato com o bulbo de seu termômetro, pois ele observou que a altura da coluna de água dependia da temperatura do corpo: quanto maior a temperatura, mais alta ficaria a coluna de água. As variações de temperatura eram indicadas pela dilatação ou contração da massa de ar que empurrava a coluna do líquido. O funcionamento do termoscópio de Galileu tem seu funcionamento baseado na

dilatação termométrica. Esse tópico pode ser desenvolvido com os alunos em uma aula com mais cuidado, dependendo do número de aulas disponíveis.

O termômetro mais comum, termômetro clínico, funciona por dilatação de líquidos, porém existem outros tipos que os alunos podem citar.

- termômetros de cristal líquido: utilizados para a medida da temperatura do corpo humano. São pequenas faixas plásticas transparentes com pequenos retângulos que contêm um cristal líquido que entram em contato com o corpo e, conforme o valor da temperatura, o cristal no seu interior, muda de cor.



Figura 3 – Termômetro de cristal líquido

Disponível em <https://www.aliexpress.com/cheap/cheap-forehead-baby-thermometer.html>.

Acesso em 10/08/2016

- termômetro a gás: medem a temperatura através da leitura da pressão do gás mantido a volume constante. Pode ser graduado fazendo com que cada volume corresponda a um valor de temperatura na escala Celsius, por exemplo. São utilizados para a medida de baixas temperaturas, usando-se o gás hélio, cuja temperatura de condensação, sob pressão atmosférica, é de aproximadamente -269°C



Figura 4 – Termômetro à gás

Disponível em <http://www.directindustry.com/pt/prod/wika-alexander-wiegand-se-co-kg/product-6196-1643713.html> . Acesso em 10/08/2016

- termômetro de radiação: atuam sem contato direto com o objeto. Pode ser

utilizado para a medida de temperatura de qualquer sistema que emite radiação eletromagnética na forma de luz visível ou radiação infravermelha. Também são usados em equipamentos de visão noturna sendo possível identificar pessoas, animais e até vegetais mais quentes que outros em uma floresta.



Figura 5 – Termômetro de radiação

Disponível em <http://brasilecola.uol.com.br/quimica/raios-infravermelhos.htm>. Acesso em 10/08/2016

- termômetros digitais: baseados em propriedades elétricas. Podem ser encontrados em relógios de pulso e em equipamentos eletrônicos como computadores. Os mais comuns utilizam um resistor que faz parte de um circuito elétrico que aciona o indicador de temperatura de acordo com o valor da resistência.



Figura 6 – Termômetro digital

Disponível em <http://www.lojatudo.com.br/termometros-digitais/termometro-digital-incoterm-7665-02-0-00.html>. Acesso em 10/08/2016

- termômetro de lâmina bimetálica: formado por duas lâminas de metais diferentes soldadas uma com a outra que quando aquecidas, dilatam-se. Como os metais são diferentes, com a variação de temperatura, um se dilata mais que o outro o que provoca um encurvamento da lâmina. Há também os que tem forma de espiral com uma extremidade fixa e a outra livre, com um ponteiro que gira com o aquecimento indicando a temperatura em um mostrador. São utilizados no controle de temperatura de

fornos, ferros elétricos e saunas.



Figura 7 – Termômetro de lâmina bimetálica

Disponível em

https://pt.wikipedia.org/wiki/Term%C3%B4metro#/media/File:20050501_1315_2558-Bimetall-Zeigerthermometer.jpg. Acesso em 10/08/2016

Aula 5, Aula 6 e Aula 7: Calorimetria

Objetivo da aula:

- ✓ Compreender e organizar dados experimentais em tabelas;
- ✓ Utilizar a Lei Zero da Termodinâmica e verificar o Princípio do Equilíbrio Térmico;
- ✓ Estudar qualitativamente o comportamento das trocas de calor com o ambiente;
- ✓ Formular hipóteses que permitam aplicar a equação da Lei Zero da Termodinâmica para explicar a expressão do calor específico a ser determinado em função dos valores das grandezas que podem ser medidas diretamente e/ou são dados conhecidos.
- ✓ Analisar os resultados obtidos experimentalmente e comparar com o resultado esperado

Divida a sala em seis grupos e distribua para cada grupo seis roteiros da 3ª Atividade Experimental, um béquer de 150 mL, uma lamparina com suporte e tela de amianto, álcool, água, óleo de soja, um dosador (recipiente graduado), um termômetro, um cronômetro (a maioria dos celulares possuem cronômetros) e papel milimetrado.

No roteiro há uma introdução teórica que pode ser lido com os alunos em sala de aula.

Peça para os alunos montarem o experimento e egerem um dos componentes do grupo para cronometrar os eventos, outro colega deve ser escolhido para fazer as anotações e um terceiro será responsável pelas leituras no termômetro.

Após preencherem as tabelas, peça aos alunos que façam os gráficos no papel milimetrado.

Como construir gráficos em papel milimetrado a partir dos dados contidos em uma tabela

Tomemos como exemplo, a Tabela 3.2 do roteiro da 3ª Atividade Experimental. Cada par de valores (t_i, θ_i) , onde i é o índice que indica a ordem da medida ($i= 1, 2, 3,4$), deve ser representado por um ponto no gráfico cartesiano.

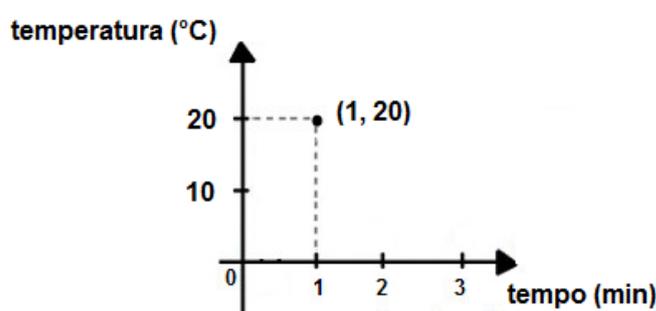


Figura 8 – Exemplo de gráfico cartesiano.

Dependendo do tipo de função associado ao comportamento físico observado, podemos escolher um tipo de papel diferente, por exemplo, o papel monolog é utilizado quando são apresentadas grandezas físicas que variam exponencialmente e precisamos obter uma linearização da curva. Quando essa curva é construída em papel milimetrado, temos a figura de uma curva exponencial. O papel de gráfico monolog é assim chamado porque a escala do eixo dos Y é logarítmica enquanto a escala do eixo dos X é decimal, como no caso do papel milimetrado. Quando ambos os eixos são escalas logarítmicas, usamos o papel log-log. Utilizaremos nesta atividade o papel milimetrado. Qualquer função de uma variável pode ser traçada no papel milimetrado.

Temos que colocar no eixo horizontal (eixo das abcissas) a variável independente. No eixo vertical (eixo das ordenadas), registramos a função que depende da variável independente. Ou seja, na horizontal temos a variável x e na vertical, temos a função $f(x)$.

Para o caso que estamos considerando, a grandeza independente é o tempo e a função que varia com o tempo $f(x)$ é a temperatura. Devemos sempre lembrar os alunos a importância de se registrar entre parênteses a unidade de medida das variáveis.

A posição (retrato ou paisagem) do papel deve ser escolhida conforme verificamos a melhor ocupação do gráfico na folha, facilitando a leitura dos dados experimentais representados no gráfico. Escolha uma escala conveniente para a qual o gráfico represente bem o intervalo medido para cada variável. A regra prática para essa definição é dividir a faixa de cada variável pelo número de divisões principais disponíveis.

Não ligue os pontos simplesmente. É recomendável traçar a curva média dos pontos, ignorando alguns pontos que fogem demasiadamente do comportamento médio. A curva média deve ser traçada de modo a minimizar os deslocamentos da curva em relação aos pontos experimentais ao longo da curva.

Utilizando os gráficos traçados, os alunos deverão finalizar a aula respondendo o questionário no roteiro.

Recolha um roteiro de cada grupo para posterior avaliação das respostas dadas pelos alunos. Os roteiros recolhidos devem ser devolvidos aos alunos após a correção.

Aula 8: Lei Zero da Termodinâmica

Objetivo da aula:

- ✓ Elaborar um relatório após discussão dos resultados encontrados na aula 7.

Formalize os conceitos de calor específico, capacidade térmica e enuncie a Lei Zero da Termodinâmica.

No final da aula, peça aos alunos para calcularem a quantidade de calor fornecida durante a atividade da aula anterior para a massa de água 1, a massa de água 2 e o óleo.

O professor pode usar como avaliação um relatório contendo os resultados obtidos na 3ª Atividade Experimental. O relatório deve conter as informações necessárias para o entendimento do experimento realizado.

Aula 9 e Aula 10: Mudança de estado físico

Objetivos da aula:

- ✓ Diferenciar calor sensível de calor latente
- ✓ Identificar situações nas quais aquecimento/resfriamentos provocam mudanças no estado físico de um corpo

Pergunte aos alunos se eles podem citar exemplos de situações cotidianas que

apresentam mudança de estado da matéria.

Leve a turma para a sala de informática, caso exista em sua escola, ou usando um datashow, apresente a animação elaborada pelo Laboratório de Pesquisa em Ensino de Química e Tecnologias Educativas, disponível em:

http://www.lapeq.fe.usp.br/labdig/simulacoes/construtor_fase.php, acesso em 20/04/2016.

Abaixo segue a imagem da página da animação:

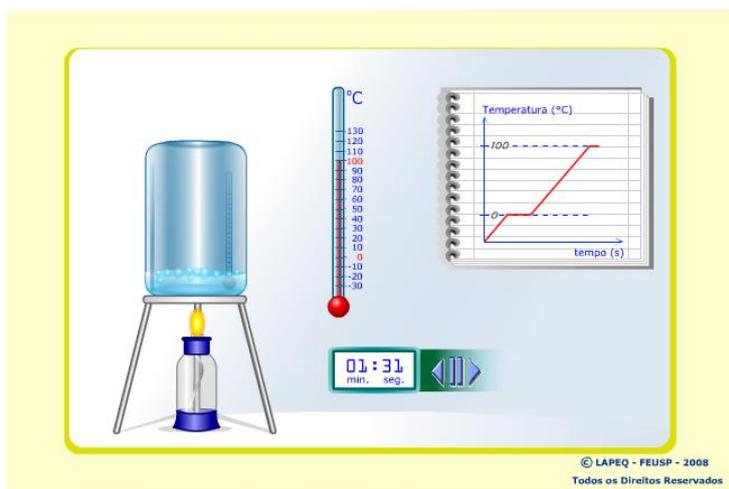


Figura 9 – Animação “Mudança de fase”

Disponível em http://www.lapeq.fe.usp.br/labdig/simulacoes/construtor_fase.php

Acesso em 22/08/2016

O LAPEQ é um grupo de pesquisa da Faculdade de Educação da USP que se interessa em estudar problemas e questões sobre o uso de tecnologias digitais na escola.

Simulações e animações funcionam como organizadores prévios, pois são recursos usados para auxiliar na estruturação cognitiva do aluno, possibilitando o desenvolvimento de subsunçores que facilitarão a aprendizagem significativa. Os organizadores prévios são materiais introdutórios apresentados aos alunos que servirão de ponte de ligação entre o conhecimento já adquirido (subsunçores) e o novo conhecimento.

Apresente a teoria relacionada à mudança de fase. Destaca-se importante nesse momento a discussão sobre a permanência da mesma temperatura da substância durante a mudança de fase, evidenciado na animação.

Aula 11 e Aula 12: O calorímetro

Objetivo da aula:

- ✓ Analisar situações em que ocorrem trocas de calor em sistemas termicamente isolados

Divida a sala em seis grupos e distribua para cada grupo seis roteiros da 4ª Atividade Experimental, um calorímetro, água, 10 pregos de massa conhecida, álcool, termômetro, um béquer.

Peça para os alunos montarem o experimento. Recolha um roteiro de cada grupo para posterior avaliação das respostas dadas pelos alunos. Os roteiros recolhidos devem ser devolvidos aos alunos após a correção.

A anemia é um nome genérico, isso significa que ela pode ser causada por vários problemas. Ela é caracterizada pela falta de hemoglobina ou hemácias no sangue. Isso provoca queda na pressão, fraqueza, palidez, falta de ar...

O tipo mais comum é a anemia ferropriva, causada pela falta de ferro no organismo. O ferro é um nutriente essencial para nós e é associado à produção de glóbulos vermelhos e ao transporte de oxigênio para as células do nosso corpo.

Para tratar a anemia, deve-se procurar um médico, pois será ele quem irá diagnosticar as causas desse problema e poderá prescrever o tratamento mais adequado. Vale a pena, também, buscar a orientação de um nutricionista: um cardápio balanceado irá ajudar a manutenção de um corpo saudável.

Optar por alimentos que contenham ferro é uma boa estratégia, mas existem ressalvas. Há duas formas em que o ferro aparece nos alimentos: a forma heme, que é derivada da hemoglobina e é encontrada em alimentos de origem animal (carnes) e a forma não-heme, encontrada em maior quantidade em alimentos de origem vegetal (feijão, agrião, rúcula...). Na forma heme o ferro é mais facilmente absorvido pelo organismo, ao contrário da forma não-heme. Esta última precisa de uma pequena modificação química para que o corpo possa usá-la mais eficientemente. Essa transformação pode ser feita com as vitaminas A e C (laranja, espinafre e tomate podem ajudar por possuírem bastante vitamina C). Viu só a importância de se comer corretamente? Por isso, para prevenir a anemia, busque uma dieta balanceada. Consuma carnes, verduras, legumes e frutas. E, caso você tenha anemia, procure um médico.

O ferro presente no prego é não-heme, cuja absorção pelo nosso organismo não é tão eficiente. Outro ponto importante é que após os cálculos, os alunos irão obter um

valor para o calor específico do material que compõe o prego diferente do valor do calor específico do ferro, evidenciando que o material que compõe o prego na verdade não é ferro, pode ser uma liga metálica, que inclusive, pode fazer muito mal a saúde.

O calorímetro é um dispositivo de simples construção e pode ser feito em sala de aula ou o professor pode optar por construí-los em casa e levar o experimento já montado.

Há no anexo deste material, um roteiro explicando a construção de um calorímetro.

Aula 13: Estudo dos gases

A aula consta de três atividades experimentais: “Fervendo água na seringa”, “Aquecendo garrafa com um balão” e “Enchendo um frasco de cabeça para baixo”.

Dividimos a sala em 6 grupos e distribuimos os materiais dos três experimentos: um roteiro para cada aluno, uma seringa descartável, um béquer, uma lamparina, 1 garrafa PET de 600mL, bola de soprar, duas bacias de aproximadamente 1L, 1 vela pequena, 1 frasco de vidro maior que a vela, fósforo.

A atividade está dividida em 3 experimentos. Peça para os alunos montarem os experimentos seguindo o roteiro e responderem as perguntas propostas.

Podemos considerar o experimento “Fervendo água na seringa” e “Aquecendo garrafa com um balão” como uma transformação isobárica e é o que acontece, aproximadamente, no pistão de um automóvel, quando ele realiza a admissão da mistura de ar e combustível, à baixa pressão, para depois detoná-la com a centelha da vela. A pressão é praticamente constante devido à velocidade do movimento do pistão, por isso, o processo pode ser considerado isobárico.

Semelhante é o que acontece na expulsão dos gases resultantes após a queima do combustível. O movimento do pistão empurra os gases remanescentes, provocando diminuição do volume. Devido à velocidade com que ocorre a diminuição do volume esse processo é também considerado isobárico.

Na terceira experiência a medida que a vela queimava, consumia o ar aprisionamos dentro do copo. O ar quente, que envolve a vela, vai resfriar-se na medida que a vela apaga, então a pressão dentro do copo vai ser menor e a água é empurrada para dentro do copo pela pressão atmosférica. O efeito fica mais evidente se for colocado corante na água antes de acender a vela.

Aula 14: Máquina de Heron

No Anexo, há um roteiro contendo o procedimento experimental da montagem de um aparato que tem seu funcionamento similar à máquina de Heron de Alexandria.

Monte o aparato na sala de aula. Assim que iniciar o movimento da latinha, peça que observem e faça as seguintes perguntas:

- 1) Que transformação de energia está ocorrendo no funcionamento desse dispositivo?
- 2) O que aconteceu com o gás contido no êmbolo quando ele recebeu calor e se expande, mas sem que haja variação na sua pressão?

Após aguardar os alunos anotarem suas respostas, inicie a parte teórica da aula.

A energia total de um sistema é composta de duas parcelas: a energia externa e a energia interna.

A energia externa do sistema, composta pela energia cinética e pela energia potencial, resulta das relações que o gás mantém com o meio exterior, já a energia interna do sistema corresponde a energia térmica, energia potencial associada as forças internas e a energia cinética molecular. Nas transformações gasosas, a variação de energia interna (ΔU) é sempre acompanhada de variação de temperatura (ΔT).

Para um gás monoatômico e ideal:

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

Podemos concluir então que a variação da energia interna de uma determinada quantidade de gás ideal depende somente da variação de temperatura sofrida pelo gás durante a transformação.

Voltando ao nosso experimento, podemos explicar que a água contida na lata ao receber calor da chama da vela, aumentou sua temperatura e conseqüentemente, aumentou a energia interna do sistema.

A água no estado de vapor, fez a pressão interna da lata aumentar, ocasionando a emissão do vapor pelos furos laterais. Quando o vapor sai, este realiza trabalho. O trabalho foi realizado pela força que as moléculas de vapor fizeram na parede da lata, provocando o giro.

Usando a conservação de energia, podemos enunciar a primeira lei da termodinâmica:

A variação da energia interna de um sistema é dada pela diferença entre o calor trocado com o meio exterior e o trabalho realizado no processo termodinâmico.

$$\Delta U = Q - W$$

Aula 15: Resolução de exercícios

Aula voltada para a resolução de problemas envolvendo o conteúdo apresentado até o momento.

Aula 16: Máquinas Térmicas

Objetivos da aula:

- ✓ Reconhecer a aplicação do conceito de trabalho nos sistemas que contenham gases.
- ✓ Compreender a relação entre as grandezas calor, trabalho e variação de energia interna como princípio de conservação de energia.
- ✓ Compreender a 1ª lei da Termodinâmica como uma expressão do Princípio da Conservação de Energia.

Divida a sala em seis grupos e distribua para cada grupo seis roteiros da 6ª Atividade Experimental, um frasco conta gotas de 20 mL, uma seringa sem agulha, tubo flexível, adesivo universal, fita adesiva, álcool, uma placa de madeira de aproximadamente 15 cm x 220 cm, uma tampinha metálica de garrafa, um pedaço de metal de aproximadamente 3 cm x 8 cm, fósforo, dois bloquinhos de madeira de mesma altura e arame

Peça para os alunos montarem o experimento seguindo as informações do roteiro e a seguir, responda as perguntas.

Recolha um roteiro de cada grupo para posterior avaliação das respostas dadas pelos alunos. Os roteiros recolhidos devem ser devolvidos aos alunos após a correção.

1ª Atividade experimental: calor x temperatura

Componentes da Equipe:

Aluno (a)	Nº

Nesta atividade vocês vão:

- ✓ Comparar os conceitos de calor, temperatura e sensação térmica.

Usamos o nosso corpo como termômetro em várias situações. O tato é um bom método de se medir a temperatura de alguém? Explique.

Material Utilizado:

- gelo
- água de torneira
- três recipientes plásticos
- ebulidor

Procedimento Experimental:

- Coloque gelo em um dos recipientes, água a temperatura ambiente em outro e água aquecida a aproximadamente 50°C em outro.
- Coloque uma das mãos em água gelada e a outra mão em água quente durante um minuto, depois coloque as mãos na água à temperatura ambiente pelo mesmo tempo.

Responda:

- 1) O que aconteceu quando foram colocadas as duas mãos na água morna? O que foi sentido em cada mão?

- 2) A mão direita recebeu ou perdeu calor? E a esquerda?

- 3) Afinal, o tato é um bom método para se medir a temperatura de alguém? Explique.

Após as discussões e intervenções feitas pelo professor, responda:

- 1) Qual a diferença existente entre calor e temperatura?

- 2) O que acontece quando dois corpos com temperaturas diferentes são colocados em contato?

2ª Atividade experimental: termometria – explorando os termômetros e as escalas termométricas

Aluno (a)	Nº

Nesta atividade vocês vão:

- ✓ Conhecer o termômetro de álcool comum e aprender a utilizá-lo corretamente
- ✓ Elaborar uma escala termométrica apropriada para um termômetro em que a escala esteja apagada
- ✓ Estabelecer uma escala de conversão de temperatura utilizando um termômetro graduado na escala Celsius e um termômetro de escala desconhecida

A temperatura mede a agitação das moléculas de um corpo, quanto maior essa agitação, maior será a sua temperatura.

Existem algumas características em objetos que se alteram quando aquecemos ou resfriamos os mesmos. São exemplos disso o volume (que tende a aumentar com o aquecimento, na maioria das vezes), a pressão de um gás e o brilho de um objeto incandescente. Chamamos essas características de variáveis macroscópicas. Ao dispositivo utilizado para observarmos as variações dessas grandezas, chamaremos de termômetro.

O termômetro mais comum em nossa experiência diária é o termômetro de mercúrio, que utiliza a substância citada como substância termométrica, pois este é líquido em condições ambientes, o que nos permite avaliar o volume ocupado por ele.

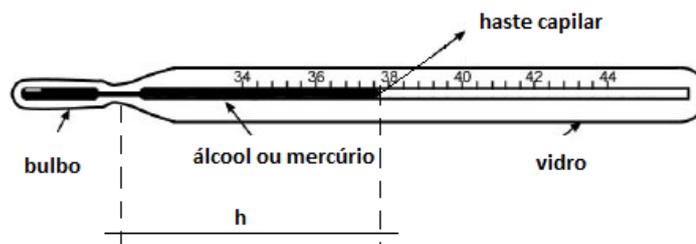


Figura 2.1 – Termômetro

Na extremidade inferior dele existe um reservatório chamado bulbo. No interior da haste, um vaso muito fino, chamado capilar. Quando aquecido, o volume de mercúrio aumenta, fazendo com que a altura da coluna de mercúrio cresça. Essa altura é o que chamamos de grandeza termométrica, ou seja, aquilo que será utilizado nas medições.

Para facilitar nossas medições, podemos criar uma escala numérica que permita comparar estados térmicos através da leitura dessa escala, ao invés de olharmos diretamente para a altura da coluna de mercúrio. Essa escala é chamada de escala termométrica. Essa escala possui valores arbitrários, o que significa que um mesmo estado térmico pode ser representado por valores diferentes em diferentes escalas. Por simplicidade, podemos criar essas escalas através da estipulação de dois valores de referência, chamados de pontos fixos.

As escalas termométricas estão presentes em nosso cotidiano, porém não são um padrão em todos os países, no Brasil utilizamos a escala Celsius, mas na Europa e Estados Unidos a escala utilizada é o Fahrenheit. Por outro lado, temos outra escala, chamada Kelvin, que é a mais utilizada nos meios científicos.

Conversão entre as escalas Celsius e Fahrenheit

Embora estabeleçam valores diferentes para uma dada temperatura, as Escalas Celsius, Fahrenheit e Kelvin podem ser relacionadas. Observe a figura que representa as três escalas em um termômetro. Note que existe uma proporção entre os intervalos nas escalas:

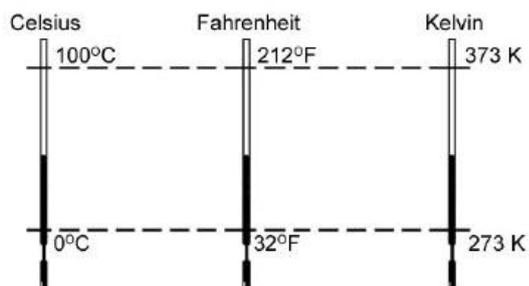


Figura 2.2 – Escalas Termométricas

Podemos relacionar matematicamente:

$$\frac{t_C}{5} = \frac{t_F - 32}{9} = \frac{T - 273}{5} \quad (2.1)$$

A variação de temperatura pode ser convertida usando a seguinte relação:

$$\frac{\Delta t_C}{5} = \frac{\Delta t_F}{9} = \frac{\Delta T}{5} \quad (2.2)$$

Material Utilizado:

- termômetro sem graduação
- termômetro graduado na escala Celsius
- copo de vidro
- gelo
- água de torneira

Procedimento Experimental:

- Coloque o bulbo do termômetro no copo com gelo. Aguarde alguns segundos e marque um traço com a canetinha no vidro do termômetro, indicando a altura atingida pelo líquido termométrico (primeiro ponto fixo)
- Coloque o bulbo do termômetro debaixo do braço de um dos componentes do grupo. Aguarde.
- Marque com a canetinha a altura atingida pelo líquido termométrico dentro da haste capilar (segundo ponto fixo).
- Meça a distância entre as duas marcações e divida esse intervalo em partes menores da forma que julgar conveniente.
- Marque no termômetro a escala escolhida pelo grupo.

- Insira o termômetro em um copo com água. Aguarde, faça a leitura e anote o resultado.
- Usando um termômetro graduado na escala Celsius, meça a temperatura do copo com água. Anote o resultado.
- Estabeleça uma fórmula de conversão entre as duas escalas baseada nas alturas de coluna do líquido termométrico para as temperaturas dos pontos fixos utilizados

	Temperatura (medida)		Temperatura (calculada)		
	Termômetro desconhecido (°X)	Termômetro graduado (°C)	(°C)	(°F)	(K)
Ponto fixo 1					
Ponto fixo 2					
Água da torneira					
Ambiente					

Tabela 1 – 2º Atividade experimental

Atividades:

- 1) No procedimento experimental é dada a seguinte instrução: “Aguarde alguns segundos e marque um traço com a canetinha no vidro do termômetro, indicando a altura atingida pelo líquido termométrico”. Porque devemos aguardar alguns segundos antes de fazer a marcação?
- 2) Meça a temperatura ambiente usando o termômetro graduado pelo grupo, anote o resultado. Usando a fórmula de conversão, calcule a temperatura ambiente na escala Celsius.
- 3) Usando o termômetro graduado na escala Celsius, meça a temperatura ambiente. Compare o valor obtido no item 2. A diferença é muito grande? A que você a atribui?
- 4) É possível melhorar a precisão da leitura da temperatura no termômetro graduado pelo grupo? Dê uma sugestão de como fazê-la.

3ª Atividade experimental: calorimetria

Aluno (a)	Nº

Nesta atividade vocês vão:

- ✓ Compreender e organizar dados experimentais em tabelas;
- ✓ Utilizar a lei zero da termodinâmica e verificar o princípio do equilíbrio térmico;
- ✓ Estudar qualitativamente o comportamento das trocas de calor com o ambiente;
- ✓ Formular hipóteses que permitam aplicar a equação da Lei Zero da Termodinâmica para explicar a expressão do calor específico a ser determinado em função dos valores das grandezas que podem ser medidas diretamente e/ou são dados conhecidos.
- ✓ Analisar os resultados obtidos experimentalmente e comparar com o resultado esperado

O equilíbrio térmico entre corpos materiais só é atingido quando os mesmos se encontram na mesma temperatura. Dessa definição pode ser concluída a **Lei Zero da Termodinâmica**:

Se três sistemas apresentam-se isolados de qualquer outro universo externo, e, dois sistemas consecutivos estiverem em equilíbrio térmico com o terceiro, então os dois sistemas consecutivos estarão em equilíbrio térmico entre si.

Calor específico é uma grandeza que caracteriza a facilidade ou

dificuldade de um determinado material variar sua temperatura quando troca energia na forma de calor.

$$c = \frac{Q}{m\Delta\theta} \quad (3.1)$$

Digamos que o calor específico de uma determinada substância seja expresso em cal/g°C, isto significa que o calor específico informa a quantidade de energia, em calorias, que deve ser fornecida a cada 1 grama dessa substância para que a sua temperatura se eleve em 1o C. Por exemplo, fornecendo-se 1cal a 1g de água, sua temperatura se elevará de 1°C. Já no caso do alumínio, basta fornecer 0,22 cal a 1g do mesmo, para que sua temperatura aumente de 1° C.

Calor específico de algumas substâncias		
Substância (sólidos e líquidos)	Calor específico (a 25°C e pressão normal)	
	(J/kg . °C)	(cal/g . °C)
Água	4200	1,0
Álcool etílico	2400	0,58
Alumínio	900	0,22
Chumbo	130	0,031
Cobre	390	0,092
Concreto	840	0,20
Ferro	450	0,11
Gelo (a - 5°C)	2100	0,50
Mercurio	140	0,033
Ouro	130	0,031
Prata	230	0,056

Tabela 3.1 – Calor específico de algumas substâncias

Se fornecermos a mesma quantidade de energia à água contida nos recipientes A e B veremos que, em A teremos um aumento de temperatura maior do que em B, embora a substância seja a mesma e ambos estejam a mesma temperatura inicial. Logo, observamos que a quantidade de energia que deve ser fornecida a um corpo para provocar uma determinada variação de

temperatura depende também da quantidade de substância envolvida. A essa característica do corpo chamamos capacidade térmica. A equação abaixo mostra como calcular C, a capacidade térmica de um corpo:

$$C = \frac{Q}{m\Delta\theta} \quad (3.2)$$

 **CUIDADO!** Ao utilizar materiais aquecidos todo cuidado é pouco! Não toque diretamente com as mãos nada que esteja aquecido. Em caso de acidente comunique imediatamente ao professor. Ao transportar qualquer material aquecido ou perigoso, cuidado para não derrubá-lo.

Materiais utilizados

- Béquer de 150 mL
- Lamparina ou bico de Bunsen com suporte e tela de amianto
- Álcool
- Água
- Óleo de soja
- Dosador
- Termômetro
- Cronômetro
- Papel milimetrado

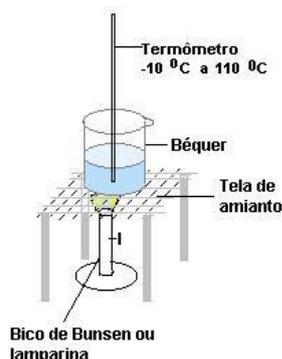


Figura 3.1 – 2ª Atividade experimental

Procedimento experimental

- Coloque álcool na lamparina, utilizando o dosador.
- Meça 100 mL de água que corresponde a 100g de água ($d_{\text{água}} = 1,0 \text{ g/cm}^3$) e coloque-a no béquer.
- Meça a temperatura da água antes de começar o aquecimento. Anote este valor correspondente ao tempo de 0,0 min na tabela.
- Aqueça a água durante aproximadamente um minuto, antes de iniciar as medidas. Agite o líquido para que a temperatura fique a mesma em todo líquido. Coloque o termômetro no interior do Becker com água aquecida, aguarde alguns segundos e faça a primeira leitura de temperatura. Após este tempo, acione o cronômetro para começar a medidas do tempo de aquecimento e a temperatura.
- Faça as medidas do tempo em cada minuto e a correspondente temperatura, sempre agitando o líquido. Anote estes valores na tabela para um tempo total igual a 3,0 min. Apague a lamparina.

Tempo t (min)	Temperatura θ (°C)
0,0	
1,0	
2,0	
3,0	

Tabela 3.2 –2ª Atividade experimental

Retire a água do béquer, resfrie o béquer e o termômetro em água corrente. Reabasteça a lamparina com álcool. É importante este reabastecimento porque é necessário estar fornecendo a mesma quantidade de calor e também não apagar a chama durante o experimento. Repita o procedimento anterior, colocando 50 g de água.

Tempo t (min)	Temperatura θ (°C)
0,0	
1,0	
2,0	
3,0	

Tabela 3.3 –2ª Atividade experimental

Reabasteça a lamparina com álcool. Repita o procedimento acima, colocando 100 g de óleo de soja no béquer. Caso não tenha balança, sabendo que a densidade do óleo de soja é $0,9 \text{ g/cm}^3$, calcule o volume correspondente a 100 g de óleo. Meça este volume de óleo na proveta.

Tempo t (min)	Temperatura θ (°C)
0,0	
1,0	
2,0	
3,0	

Tabela 3.4 –2ª Atividade experimental

Determine:

1) A variação de temperatura para cada minuto de aquecimento da água₁(massa 100 g), da água₂ (massa 50 g) e do óleo de soja (massa 100 g).

2) Faça os gráficos, temperatura versus tempo, considerando os valores encontrados para as diferentes quantidades de água, e para o óleo, utilizando o mesmo papel milimetrado.

3) Calcule a taxa de aquecimento ($\Delta T/\Delta t$), de cada substância, determinando a inclinação de cada reta obtida.

Responda:

1) A variação de temperatura, para cada minuto de aquecimento, foi a mesma para cada uma das três situações (água₁, água₂, e óleo), dentro da precisão experimental?

2) As taxas de aquecimento obtidas a partir dos gráficos, foram as mesmas para:

a) Diferentes quantidades de água? Justificar a resposta.

b) Quantidades iguais de óleo e de água? Justificar a resposta.

3) Qual a relação entre as quantidades de calor fornecidas para que 200 g de água atinjam a mesma temperatura que 100 g de água, em um mesmo intervalo de tempo?

4) Para que quantidades diferentes de água tenham a mesma variação de temperatura em um mesmo intervalo de tempo, qual a relação entre as quantidades de calor fornecidas?

4ª Atividade experimental: calorímetro

Componentes da Equipe:

Aluno (a)	Nº

Nesta atividade vocês vão:

- ✓ Analisar o funcionamento de um calorímetro e as trocas de calor entre corpos em seu interior.

O calorímetro é um recipiente fechado que impede a troca de calor entre o ambiente e seu interior, podemos utilizar o calorímetro para analisar as trocas de calor que acontecem entre dois ou mais corpos localizados em seu interior, e ainda determinar o calor específico de um determinado elemento. Como os corpos não trocam calor com o calorímetro e nem com o meio em que se encontram, toda energia térmica passa de um corpo ao outro. Assim, a quantidade de calor total ganhada por alguns corpos só pode ter origem dos corpos que cedem calor. Matematicamente, podemos dizer que:

$$| \sum Q_{recebido} | = | \sum Q_{cedido} | \quad (4.1)$$

Por convenção, podemos considerar a quantidade de calor recebido como positiva e a quantidade de calor cedido como negativa, portanto:

$$\sum Q_{recebido} + \sum Q_{cedido} = 0 \quad (4.2)$$

A (4.2) é conhecida como *Princípio da troca de calor*

O calor específico é uma grandeza que caracteriza a facilidade ou

dificuldade de um determinado material variar sua temperatura quando troca energia na forma de calor

$$c = \frac{Q}{m\Delta\theta} \quad (4.3)$$

Digamos que o calor específico de uma substância seja expresso em cal/g°C; isto significa que deve ser fornecida 1cal para 1g dessa substância para que sua temperatura varie em 1°C. Por exemplo, fornecendo 1 cal a 1g de água, a temperatura dessa amostra irá aumentar 1°C. Se a amostra for agora de 1g de alumínio e esta necessita receber 0,22 cal de calor para que sua temperatura se eleve em 1°C.

Substância	Calor específico (cal/g°C)
Água	1,0
Álcool	0,59
Ferro	0,11
Alumínio	0,22
Chumbo	0,03
Cobre	0,09
Glicerina	0,58
Acetona	0,51

Tabela 4.1– Calor específico de algumas substâncias

Nesta atividade experimental vamos calcular, utilizando o princípio das trocas de calor, o calor específico do álcool e do material que compõe um prego.

Material Utilizado:

- calorímetro
- água
- 10 pregos de massa conhecida
- álcool
- termômetro
- béquer

Procedimento Experimental:

- Coloque no béquer 100 mL de álcool. Meça a temperatura utilizando o termômetro
- Aqueça 150mL de água. Meça a temperatura.

- No calorímetro, misture a água aquecida com o álcool. Feche bem o calorímetro. Utilize o agitador para facilitar a mistura das duas massas de líquido. Aguarde o equilíbrio térmico e meça a temperatura do sistema (água + álcool)

- Preencha a Tabela 4.2:

	Massa (g)	Temperatura inicial (°C)	Temperatura final (°C)	ΔT (°C)
Água				
Álcool				

Tabela 4.2– Experimento 4

- Meça a temperatura ambiente e anote na tabela 4.3
- Coloque os 10 pregos dentro do calorímetro
- Aqueça 100 mL de água. Meça e anote a temperatura da água aquecida
- Coloque a água no calorímetro junto com os pregos. Feche bem e com o agitador, movimente o sistema até que ele entre em equilíbrio térmico.
- Anote a temperatura de equilíbrio térmico do sistema.

	Massa (g)	Temperatura inicial (°C)	Temperatura final (°C)	ΔT (°C)
Água				
Pregos				

Tabela 4.3– Experimento 4

Determine o calor específico do material que compõe os pregos

Responda:

1) O calor específico do álcool obtido experimentalmente é igual ao valor teórico listado na tabela 1?

2) Algumas pessoas cozinham feijão com alguns pregos para evitar a anemia. Comparando o calor específico do prego com a tabela 1, explique porque essa atitude não é válida.

5ª Atividade experimental: transformações gasosas

Componentes da Equipe:

Aluno (a)	Nº

Fervendo água na seringa

Materiais utilizados

- seringa descartável
- béquer
- lamparina

Procedimento experimental

- Coloque um pouco de água no béquer e aqueça até observar o aparecimento das primeiras bolhas de ar (40°C a 50° C).
- Puxe 3 mL de água para dentro da seringa, tomando o cuidado de não deixar entrar bolha de ar. Caso entrem bolhas de ar dentro da seringa, coloque a seringa na posição vertical com o bico para cima, bata levemente nas paredes e aperte o êmbolo até que elas saiam completamente.
- Tampe a ponta da seringa com um dedo e puxe o êmbolo para trás, mas sem retirá-lo completamente da seringa. Observe.
- Solte o êmbolo e observe novamente.

Responda:

- 1) O que você observou?

- 2) Como vocês explicam o fenômeno observado? Que lei dos gases foi observada nesse experimento?

Aquecendo garrafa com um balão

Materiais utilizados

- Garrafa PET média (600mL)
- Bola de soprar
- Duas bacias de 1L

Procedimento experimental

- Coloque a bola de soprar na boca da garrafa.
- Pegue as bacias e encha uma com água quente e outra com água fria.
- Mergulhe a garrafa na água contida nas duas bacias.

Responda:

- 1) O que aconteceu com o balão da garrafa mergulhada na água quente? E com o balão da garrafa mergulhada na água fria?

- 2) Por que ocorrem essas mudanças nos balões?

Enchendo o frasco de cabeça para baixo

Materiais utilizados

- Vela pequena
- Bacia de 1L
- Frasco de vidro maior que a vela

- Fósforo ou isqueiro

Procedimento experimental

- Grude a vela no fundo da bacia usando a própria parafina derretida.
- Encha a bacia com água de modo que a vela fique dois dedos de sua altura mergulhada.
- Ascenda a vela
- Tampe com o frasco de vidro de modo a tampar toda a vela

Responda:

- 1) O que aconteceu quando tampamos a vela com o frasco?

- 2) Por que a água da bacia só entra no frasco de vidro virado para baixo quando a vela apaga?

- 3) Que lei dos gases foi observada nesse experimento?

6ª Atividade experimental: máquinas térmicas

Componentes da Equipe:

Aluno (a)	Nº

Nesta atividade vocês vão:

- ✓ Reconhecer a aplicação do conceito de trabalho nos sistemas que contenham gases
- ✓ Compreender a 1ª lei da termodinâmica como expressão do princípio da conservação de energia
- ✓ Identificar o caráter de irreversibilidade de fenômenos e compreender a 2ª lei da termodinâmica

Materiais utilizados

- 1 frasco com conta gotas de 20mL
- seringa sem agulha
- tubo flexível de borracha
- 2 tachinhas
- adesivo universal
- fita adesiva
- álcool 70%
- placa de madeira de aproximadamente 15 cm x 20 cm
- tampinha metálica de garrafa
- pedaço de metal de aproximadamente 3 cm x 8 cm
- fósforo
- 2 bloquinhos de madeira de mesma altura

- arame
- um bloquinho de material isolante (sugestão: madeira)

Procedimento experimental

- Corte a parte de cima da tampinha do vidro conta gotas e passe o tubo flexível por dentro da tampinha cortada.



Com o uso dos dois bloquinhos de madeira e uma chapa metálica de aproximadamente 3cm x 4cm, monte o suporte esquematizado abaixo.



- Fixe o tubo de vidro no suporte com um pedaço de arame. Prenda uma das extremidades do tubo de borracha no bico da seringa e a outra na boca do vidro.
- Com a fita adesiva, prenda a seringa na placa de madeira. Observe na figura: o embolo está voltado para o suporte do vidro.



Coloque a tampinha de garrafa com um pouco de álcool sob o suporte. Entre a seringa e a tampinha de garrafa deve haver um isolante térmico, use um pedaço de madeira. Coloque fogo no álcool que esta na tampinha e observe.

Responda:

1) Descreva o que foi observado com relação ao movimento do “embolo”. O que proporcionou tal movimento?

2) Discuta o que aconteceu com a pressão do gás enquanto a temperatura aumentava.

3) Houve realização de trabalho? Comente.

4) No resfriamento, o que acontece com o pistão? Explique fisicamente porque isso aconteceu.

5) Comente o que você pensa ter sido o comportamento das moléculas deste gás durante o processo de aquecimento e de resfriamento

6) Esse experimento pode ser considerado um processo reversível? Justifique.

7) Esta máquina térmica não está completa; sabemos que uma máquina térmica opera em ciclos. Tente adaptar o projeto de maneira que isso possa ocorrer

Introdução:

Resumo dos conceitos teóricos usados.

Objetivos:

Quanto aos objetivos devem mostrar uma descrição sucinta do que se pretende obter com a experiência

Materiais utilizados:

Listar os materiais e aparelhos utilizados para a realização do experimento. Para auxiliar na descrição do material ou equipamento utilizado, faça uma figura (esboço ou esquema) indicando, se for o caso, partes do equipamento com números, letras ou palavras.

Procedimento Experimental: Descrever cada passo da realização do experimento. É importante descrever o que você fez e não necessariamente o que está proposto, justificando e discutindo a escolha. Toda a narrativa deve ser feita de forma impessoal e com o uso de termos técnicos pertinentes ao conteúdo. Segue no anexo um modelo de apresentação para esse relatório.

Dados experimentais: Apresentar os dados coletados através de tabelas.

Resultados: Apresentar os resultados obtidos: gráficos, tabelas e cálculos efetuados.

Conclusões: Apresentar a comparação entre a teoria e o experimento. Mostrar uma explicação para os resultados obtidos baseada na teoria. Procurar explicar o motivo e a origem das possíveis discordância entre os resultados experimentais e os resultados teóricos.

Bibliografia: Todo relatório deve apresentar um número adequado de fontes bibliográficas. Seguir as normas ABNT para descrição da referência.

Questões: Quando houver deverão ser respondidas no final do relatório após a bibliografia.

Apêndice C - Roteiro para construção do calorímetro

O calorímetro é um instrumento utilizado para medir a quantidade de calor, fazer análises das trocas de calor que acontecem entre dois corpos localizados em seu interior, e ainda determinar o calor específico de um determinado elemento, que pode ser, por exemplo, o cobre. Esse equipamento é muito utilizado nos laboratórios de ensino quando se deseja realizar as análises citadas anteriormente. Ele pode ser comprado, como também confeccionado. Com materiais simples vamos confeccionar esse instrumento, a fim de fazer análises das quantidades de calor trocadas neste sistema isolado termicamente.

Material Utilizado:

- recipiente de isopor com tampa
- recipiente de metal (tem que se ajustar dentro do isopor)
- algodão
- termômetro
- haste metálica

Procedimento Experimental:

- coloque o recipiente de metal dentro do recipiente de isopor
- preencha a folga existente entre os recipientes com algodão
- na tampa da embalagem de isopor, faça dois furos, um para o termômetro e outro para o agitador.



Figura 1– Esquema do calorímetro

Apêndice D - Roteiro para construção da máquina de Heron

Muito antes da Revolução Industrial vários modelos de máquinas térmicas já eram conhecidas. A máquina de Heron da Alexandria era um artefato constituído de um cilindro oco com tubos curvados, por onde saia o vapor. O torque existente, faz com que o cilindro gire quando ocorre a expulsão do vapor. Na construção representada pela Figura 1, há uma bacia que contém água que é aquecida e transferida para o cilindro por meio dos tubos que ligam a bacia ao cilindro. Durante séculos a máquina de Heron não tinha serventia alguma. Somente no século XVIII, tempo em que inicia a 1ª Revolução Industrial, é que o invento de Heron começou a ter utilidade.



Figura 1 – Máquina de Heron

Material utilizado

- Uma latinha de refrigerante de 250 ml.
- Um prego fino.
- um metro de barbante ou linha forte.
- uma lamparina.

Procedimento experimental

- Com um prego fino faça um furo em um ponto médio na lateral da latinha.
- Faça um segundo furo diametralmente oposto ao primeiro, veja a Figura 1



Figura 2 – latinha com os dois furos laterais

- Deixe escoar todo o refrigerante de dentro da latinha.
- Recoloque o prego em cada furo e posicione-o o mais tangente possível à parede da lata, em sentidos opostos, de tal modo que ao serem empurrados pela saída do vapor forme torques como um binário.
- Amarre o barbante ou fio de nylon de forma que ao ser suspensa a latinha fique verticalmente como na Figura 2.

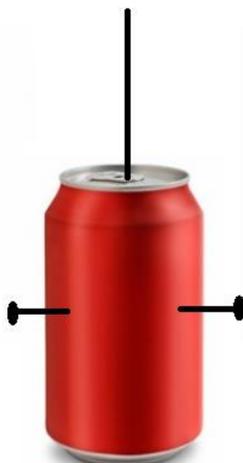


Figura 3 – latinha com os dois furos laterais suspensa por barbante

- Coloque cerca de 50 a 100ml de água na latinha.
- Pendure a latinha num suporte de modo a manter um comprimento de no mínimo 30 cm, entre a latinha e o ponto de fixação no suporte. Acenda a vela.

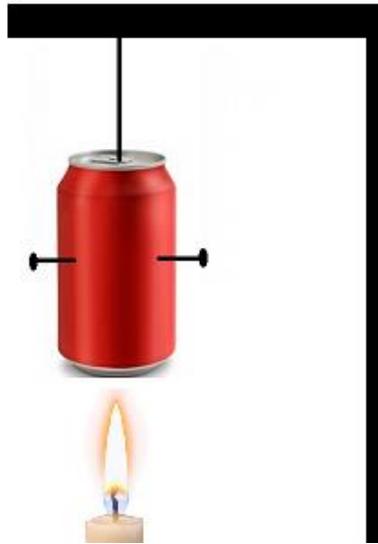


Figura 4 – Montagem final