

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Thiago Oliveira Mello de Souza

Facilitando a segunda lei da Termodinâmica

Rio de Janeiro

2011



Thiago Oliveira Mello de Souza

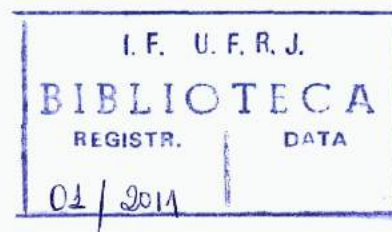
Facilitando a segunda lei da Termodinâmica

Monografia junto ao curso de Licenciatura
em física da Universidade Federal do Rio
de Janeiro. Como requisito a obtenção do título
de Licenciatura.

Orientadora: Prof.^a Lígia Moreira

Rio de Janeiro

2011



Thiago Oliveira Mello de Souza

Facilitando a segunda lei da Termodinâmica

Monografia junto ao curso de Licenciatura
em física da Universidade Federal do Rio
de Janeiro. Como requisito a obtenção do título
de Licenciatura.

Orientadora: Prof.^a Lígia Moreira

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof.^a Deise Miranda Vianna

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. André Penna

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Marcos Binderly Gaspar

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Rio de Janeiro, de de 2011

AGRADECIMENTOS

A minha professora orientadora Lúgia Moreira que teve para comigo muito respeito paciência e disponibilidade para a realização dessa monografia.

Aos meus pais Henry Pinto de Souza e Janete de Oliveira Mello que sempre me apóiam em todos os momentos de minha vida.

Aos amigos, do presente e do passado, mas que continuam amigos.

À minha namorada Mari.

DEDICATÓRIA

A minha avó Maria, que onde estiver está torcendo por mim.

Aos meus pais.

“Ninguém vai bater mais forte do que a vida.
Não importa como você bate e sim o quanto
você agüenta apanhar e continuar lutando;
o quanto pode suportar e seguir em frente.

É assim que se ganha”

Sylvester Stallone

(Rock Balboa-2007)

Resumo

Esse trabalho tem como objetivo facilitar a compreensão dos alunos de Ensino Médio sobre um tópico da Física tido como difícil pela maioria dos alunos, a Termodinâmica.

Para isso vamos utilizar o método de levar ao aluno a visualização das leis da termodinâmica, por meio de experimentos que serão mostrados em sala de aula.

Os alunos se dividirão em grupos, construirão e apresentaram um experimento pré-determinado pelo professor. O professor irá analisar e julgar os experimentos dando-lhes notas.

Portanto o aluno assimila o conteúdo com mais interesse, pois estará interagindo com a matéria por meio do experimento, e o professor por sua vez inova no seu método de ensino não se baseando somente na utilização do quadro negro.

Sumário

Introdução.....	01
Capítulo I-Metodologia e Materiais.....	03
1.1 Referência teórico – VYGOTSKY.....	03
1.2 Avaliação formativa.....	04
1.3 Metodologia utilizada.....	05
1.4 Máquina de Stirling.....	05
1.4.1 Material.....	05
1.4.2 Montagem.....	06
1.4.3 Funcionamento.....	07
Capítulo II- Máquinas Térmicas.....	08
2.1 Breve histórico das máquinas térmicas.....	08
2.2 Conceitos básicos da Termodinâmica.....	10
2.3 Primeira lei da Termodinâmica.....	11
2.4 Segunda lei da Termodinâmica.....	18
2.4.1 Processos reversíveis e irreversíveis.....	18
2.4.2 Rendimentos das máquinas térmicas.....	24
2.4.3 Máquinas frigoríficas.....	27
2.4.4 O ciclo de Carnot.....	28
2.4.5 O motor de Stirling.....	31
2.4.5.1 Como funciona.....	31
2.4.5.2 Identificando as fontes de calor e o trabalho realizado.....	31
Capítulo III.....	31
3.1 Trabalho para ser executado pelos alunos – Avaliação formativa.....	31
3.2 Roteiros.....	32
3.2.1 Máquina de Heron.....	32

3.2.2 Barquinho pop pop.....	34
3.2.3 Abajur de convecção.....	36
3.2.4 Mini roda à vapor.....	38
Capítulo IV – Considerações finais.....	42
Bibliografia.....	43

INTRODUÇÃO

A máquina térmica, apesar de ter sido inventada há séculos atrás ainda é utilizada em grande escala nos dias atuais. Entre alguns exemplos está a geladeira, o motor a gasolina, motor de automóvel, gerador elétrico, que fazem parte do cotidiano das pessoas .

“É chamada de *máquina térmica* todo dispositivo que transforma continuamente calor em trabalho, através de uma substância, dita *trabalhante*, que realiza ciclos entre duas temperaturas que se mantêm constantes. A temperatura mais elevada corresponde à chamada *fonte quente* da máquina; a temperatura mais baixa corresponde à chamada *fonte fria*. A denominação *motor térmico* é também muito usada.”(Calçada,1998)

“A presença do conhecimento de Física no Ensino Médio ganhou um novo sentido a partir das diretrizes apresentadas nos PCN. Trata-se de construir uma visão da Física que esteja voltada para a formação de um cidadão contemporâneo, atuante e solidário, com instrumentos para compreender, intervir e participar na realidade. Nesse sentido, mesmo os jovens que, após a conclusão do ensino médio não venham a ter mais qualquer contato escolar com o conhecimento em Física, em outras instâncias profissionais ou universitárias, ainda assim terão adquirido a formação necessária para compreender e participar do mundo em que vivem.” (Brasil, 2002)

Por essa razão, é imprescindível que o estudo das leis que regem o funcionamento das máquinas térmicas seja compreendido no Ensino Médio, visto que a maioria dos alunos terá neste momento a última oportunidade de compreender estes fenômenos, já que poucos seguirão carreiras tecnológicas.

O ramo da Física que estuda estas leis é a Termodinâmica e o tópico principal que fundamenta o funcionamento dessas máquinas é a Segunda Lei da Termodinâmica. Por envolver transformações de energia, rendimento e eficiência os alunos têm dificuldade de compreender.

O objetivo deste trabalho é facilitar a aprendizagem do aluno no que diz respeito aos conceitos físicos que são trabalhados em uma máquina térmica, ou seja, fazer com que o aluno transcenda uma zona de conhecimento, a zona proximal de Vygotsky, passando para outro estágio de conhecimento. Para tal, desenvolvemos uma aula com

pequenos exemplos e a **Máquina de Stirling**, para ajudar a compreensão deste tópico da física.

Acreditamos, que a melhor maneira de atingir o potencial de conhecimento adequado do aluno é mediante o conhecimento prévio do aluno pelo seu cotidiano, utilizando informações já estabelecidas no seu “dia dia”, a idéia de levar experimentos é justamente associar, pelo visual, o cotidiano com a matéria a ser ensinada.

“ O estudo da física pelo método tradicional com o passar de todos esses anos já não se mostra tão satisfatório para atrair a atenção e o interesse do aluno, sendo necessário outros métodos para o resgate do “querer” deste indivíduo “De certa forma, a sinalização efetuada pelos PCN é explícita quanto ao que não conduz na direção desejada e vem sendo percebida com clareza pelos professores. O ensino de Física vem deixando de concentrar-se na simples memorização de fórmulas ou repetição automatizada de procedimentos, em situações artificiais ou extremamente abstratas, ganhando consciência de que é preciso dar-lhe um significado, explicitando seu sentido já no momento do aprendizado, na própria escola média. ”(Brasil, 2002)

Com a intenção de verificar a aprendizagem significativa dos nossos alunos uma avaliação formativa será aplicada. A turma será dividida em grupos e cada grupo receberá um roteiro para a confecção de uma máquina térmica. Os alunos deverão pesquisar e responder as perguntas do roteiro. As experiências serão apresentadas e discutidas em sala de aula para que o professor possa verificar a aprendizagem e intervir de maneira construtiva se achar necessário.

As máquinas que deverão ser apresentadas com a intenção de fazer o aluno indagar, discutir, debater sobre o assunto, de maneira construtiva, lúdica e seguindo uma linha de raciocínio são: máquina de Heron, barquinho pop-pop, correntes de convecção (LEO), mini roda a vapor.

CAPITULO I – METODOLOGIA E MATERIAIS

1.1 Referencial teórico

1.1.1 Vygotsky

Nos dias atuais, vivemos em um mundo mais dinâmico e agitado em que não há espaço para a monotonia. O reflexo desses novos tempos também atinge as salas de aula sem piedade daqueles que não destinam a importância devida para tal fato, que o mundo mudou e as pessoas mudaram junto. Ora, se houve essa mudança, os alunos de hoje estão passando por ela e os professores terão que se adequar a esse novo momento.

O método tradicional, em que os instrumentos do professor são apenas o giz e o quadro negro, utilizado nas escolas tradicionais, não se mostra mais tão eficaz, segundo L.S. Vygotsky a tarefa de difundir um conceito por meio da maneira tradicional se torna cada vez mais difícil.

“A maior dificuldade é a aplicação de um conceito, finalmente apreendido e formulado a um nível abstrato, a novas situações concretas que devem ser vistas nesses mesmos termos abstratos — um tipo de transferência que em geral só é denominado na adolescência. A transição do abstrato para o concreto mostra-se tão árdua para o jovem como a transição primitiva do concreto para o abstrato. Nossos experimentos não deixam qualquer dúvida de que, nesse ponto, a descrição da formação de conceitos dada pela psicologia tradicional, que se limita a reproduzir o esquema da lógica formal, é totalmente desvinculada da realidade.” (Vygotsky, 1989)

É preciso fazer uma ponte entre o conhecimento do aluno e até aonde esse aluno pode chegar, o potencial do aluno. Esse intervalo, do saber do aluno até o seu potencial que Vygotsky chama de *zona proximal*, temos como missão, transpor essa zona utilizando o experimento. O aluno já observa no seu cotidiano o funcionamento de máquinas térmicas, logo, já tem certo conhecimento sobre o assunto, faltando-lhe apenas uma ferramenta para concretizar o conteúdo.

Nesse novo contexto, o método tradicional precisa ser substituído, ou ainda melhor, ser modernizado. Somente o uso da palavra não está mais satisfazendo na questão da implantação de um conceito, precisando então do auxílio de outra ferramenta, o experimento.

“Até há pouco tempo ,o estudioso da formação de conceitos tinha sua tarefa dificultada pela falta de um método experimental que lhe permitisse observar a dinâmica interna do processo” (Vygotsky, 1989)

No pensamento por complexos explicado por Vygotsky o aluno tem seu desenvolvimento na visualização de um objeto e com isso faz o que ele chama de “ponte” que seria o processo mais avançado na formação do conceito. A esse tipo de complexo Vygotsky deu o nome de *pseudoconceito*.

“Na situação experimental a criança produz um pseudoconceito cada vez que se vê às voltas com uma amostra de objetos que poderiam muito bem ter sido agrupados com base em um conceito abstrato.” (Vygotsky, 1989)

Portanto, Vygotsky se mostra bem claro na defesa do ensino pelo cotidiano vivido pelos alunos, e que todo aluno tem um potencial a ser alcançado e o que precisamos é de uma ferramenta para alcançá-lo. Levando para a sala de aula uma visualização prática das teorias que estão descritas nos livros didáticos, conseguimos fazer isso. O método tradicional ainda aplicado nos dias de hoje, não serve mais para o aluno moderno, dinâmico e prático que estão nas salas de aula.

1.1.2 Avaliação formativa

A avaliação é um assunto muito falado no meio acadêmico. A avaliação diagnóstica e a avaliação formativa provocam uma grande discussão entre os professores, porém, não é dito se elas estão ou não funcionando.

A avaliação diagnóstica, como o próprio nome já diz, tem como objetivo diagnosticar se o aluno precisa de tratamento. O diagnóstico é no sentido de informar como o aluno explica o mundo que ele vê, quais as concepções alternativas que podem servir de âncora para o aprendizado.

A avaliação formativa tem a função de indicar os objetivos que o aluno deverá alcançar e verificar se o aluno os alcançou. Avaliar tanto os objetivos alcançados como os não alcançados. Tem, também como objetivo ajudar a regular a ação pedagógica do professor.

A avaliação formativa terá a capacidade de observar a dificuldade do aluno e com isso mostrar o caminho correto a seguir para que os erros não se repitam. O aluno passará a descobrir os processos que vão levá-lo ao aprendizado e não o oposto. Utilizar a avaliação formativa dessa forma significa conduzir o aluno ao domínio dos conceitos ensinados.

“Segundo Allal (1986), para elaborar uma estratégia de avaliação formativa que cumpra realmente sua função de orientação, é preciso definir um quadro teórico que leve em conta os múltiplos aspectos (cognitivo, afetivo e social) da aprendizagem e das interações no interior de um sistema educativo.

A função da avaliação formativa numa perspectiva mais restrita seria : (1) recolher informações nos objetivos, utilizando instrumentos válidos e precisos; (2) interpretar as informações recolhidas com base em critérios preestabelecidos, identificando objetivos atingidos e não atingidos; (3) planejar atividade de recuperação para os alunos que não atingiram critérios estabelecidos.”(Souza, 1997)

Portanto, a avaliação formativa não visa apenas medir conhecimento do avaliado, ela tem como função descobrir os erros dos alunos e corrigi-los mediante uma recuperação, a tarefa da avaliação deixa de ser apenas uma medida, como uma nota, e se torna um instrumento para a retomada do aprendizado pelo aluno.

1.2 Metodologia utilizada

Serão utilizadas duas aulas. Antes da primeira aula o professor fará a apresentação de uma máquina térmica conhecida como motor de Stirling que consiste basicamente em uma manivela que faz subir e descer um êmbolo devido a diferença de pressão no mesmo, essa máquina térmica será apenas para demonstração. Após será feita uma explanação da primeira e da segunda lei da Termodinâmica.

Com o intuito de verificar a aprendizagem será feita uma avaliação formativa que consistirá em separar a turma em quatro grupos, sendo que tentaremos sempre colocar um aluno com maior domínio da matéria com outros alunos que apresentam dificuldades no aprendizado. A idéia é que o grupo possa interagir e assim aprimorar a aprendizagem.

A avaliação formativa consistirá de um trabalho experimental. Serão propostos quatro experimentos que serão realizados pelos alunos. O professor pedirá que eles preencham um roteiro e o trabalho deverá ser apresentado em sala de aula. Desta maneira o professor poderá interagir caso ocorra algum erro conceitual.

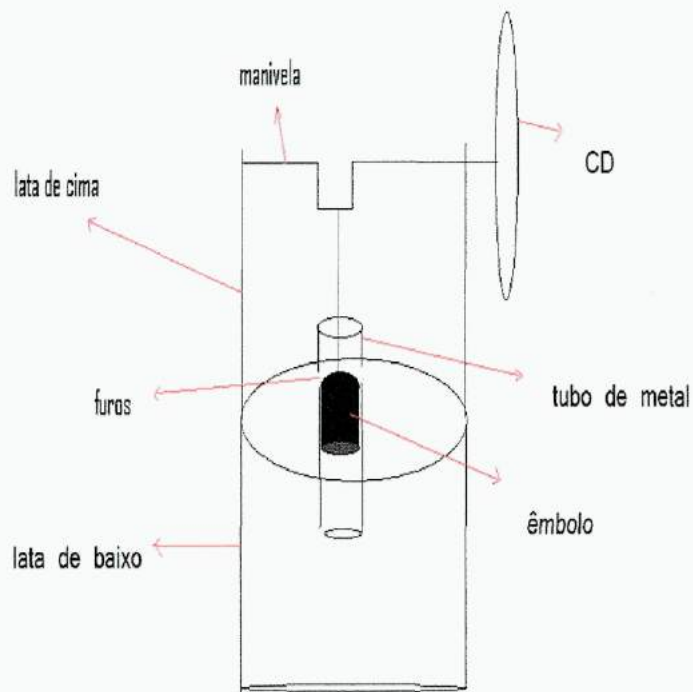
Como serão quatro apresentações do mesmo tema, o conteúdo poderá ser discutido várias vezes.

1.3 MÁQUINA DE STIRLING

1.3.1 MATERIAL

- Duas latas (tipo leite ninho);
- arame;
- fio de aço;
- cd velho;
- durepox;
- 2 tubos de metal.
- rolha pequena.

1.3.2 MONTAGEM



- Em uma das latas, a de cima, corte-a nos lados, formando duas pilastras, faça um furo em cada uma delas na mesma altura e diametralmente opostos;
- faça a manivela de acordo com o esquema ilustrativo;
- coloque a manivela nos furos feitos nas pilastras;
- use os dois tubos para fazer o êmbolo, um longo e o de diâmetro menor no interior desse longo;

- com o durepox cole o tubo de metal de maior diâmetro no fundo da lata de cima.
- faça furos no tubo, que permitam a entrada de ar quando o êmbolo estiver acima deles.
- conecte com um fio de aço o êmbolo a manivela;
- numa das extremidades da manivela coloque os CDs com o auxílio de uma rolha.
- depois de vedada a lata de cima com a de baixo, acenda a chama embaixo da lata de baixo.
- gire o CD e espere o fenômeno acontecer.

1.3.3 FUNCIONAMENTO

Uma certa quantidade de água será colocada no interior da lata. O calor proveniente da chama fará com que a água dentro da panela evapore aumentando a pressão na região de dentro da panela. Essa pressão fará com que o êmbolo suba, e assim ultrapassando os buracos permitirá a saída do vapor, diminuindo a pressão e a temperatura dentro da lata, fazendo com que o êmbolo desça. Assim o êmbolo realiza trabalho, esse trabalho só é realizado devido a presença da fonte quente e a continuação só é feita se houver a rejeição para a fonte fria, que no caso será o meio ambiente. O outro conceito físico envolvido no processo é a variação de pressão no interior da lata, fazendo com que o êmbolo faça o movimento de subida e descida.

CAPITULO II– MÁQUINAS TÉRMICAS

2.1 – BREVE HISTÓRICO DAS MÁQUINAS TÉRMICAS

“Desde tempos remotos se sabe que o calor pode produzir vapor e o vapor pode produzir trabalho. A eolípila, inventada por Heron de Alexandria cerca de 100 a.C., trabalhava, no que só foi conhecido mais tarde, segundo a Terceira Lei de Newton, da ação e reação: o vapor de água, ao ser expulso, fazia com que ela girasse, da mesma forma que muitos irrigadores de jardim atuais.” (Gaspar, 2003)



Figura 1 Eolípila de Heron (Gaspar, 2003)

A citação acima mostra que a muito tempo já se tinha a idéia da transformação de calor em trabalho através do dispositivo de Heron, a eolípila de Heron, no entanto, apenas no século XVIII, com o surgimento das primeiras máquinas a vapor, esse dispositivo passou a ser chamado de máquina térmica . “A primeira delas foi criada por Thomas Savery (1650-1715), engenheiro militar inglês, destinada a retirar água dos poços das minas de carvão.”(Gaspar, 2003). O problema estava no fato da máquina criada por Savery ter pouco rendimento, ou seja, precisava de quantidades muito grandes de calor para realizar pouco trabalho. “Coube ao engenheiro escocês James Watt (1736-1819), trabalhando numa máquina a vapor rudimentar, aperfeiçoá-la para que tivesse melhor rendimento, patenteando seu modelo em 1769. A partir de então, as máquinas a vapor passaram a ser intensamente utilizadas, no bombeamento de águas de

minas, no acionamento de moinhos de farinha em fiações e tecelagens e na fabricação de papel, tornando-se um fator fundamental na Revolução Industrial, que transformou o mundo.” (Ramalho, 2007).

No meado do século XX existia uma teoria defendida por alguns cientistas da época que explicava os conceitos que envolviam o calor, a teoria substancialista do calor, o calórico. Esse estudo em torno do calor era importante para entender uma máquina térmica, pois já se sabia que para o funcionamento da mesma necessitava-se de duas fontes de calor, uma quente e outra fria. “Para os adeptos da teoria substancialista do calor, o calórico podia ser descrito por meio de cinco postulados básicos descritos por Roller (1950): o calórico é um fluido elástico e auto-repulsivo; as partículas do calórico são atraídas pelas partículas da matéria comum; o calórico é indestrutível e não pode ser criado; o calórico pode ser sensível ou latente; e, o calórico não tem peso apreciável. O funcionamento da máquina a vapor podia, até certo ponto, ser explicado pela teoria substancialista do calor. Diversos fenômenos térmicos conhecidos na época, como as mudanças de estado das substâncias e a temperatura de equilíbrio nas misturas, também podiam muito bem ser descritos por essa teoria. Isso fez com que essa teoria se tornasse muito poderosa e com grande poder explicativo, perdurando por muito tempo. Sadi Carnot (1796-1832) procurou dar uma explicação teórica adequada para o funcionamento da máquina a vapor. Mostrou que, para a produção de trabalho a partir do calor, qualquer máquina térmica tem que ter uma fonte quente e uma fonte fria. Ele também mostrou que a potência motriz máxima da máquina depende exclusivamente das temperaturas das respectivas fontes. Na concepção de Carnot, a realização de trabalho na máquina a vapor era análoga ao funcionamento de uma roda d’água, ou seja, o calórico ao passar de uma fonte quente para uma fonte fria realizava trabalho, da mesma forma que a água ao cair de um nível mais alto para um nível mais baixo fazia mover uma roda hidráulica, logo, não havia consumo de calor. O calor era algo que se conservava. No final de sua vida, Carnot apresenta a idéia da proporcionalidade entre calor e trabalho, transformado um no outro. No trabalho de Carnot de 1824 já estava implícito o princípio de aumento de entropia. Entretanto, foi Clausius (1822- 1888) quem, em 1865, conseguiu enunciar este princípio sob forma mais geral e matemática, introduzindo inclusive o vocábulo entropia na ciência da termodinâmica.” (Cindra, 2005)

“Em 1799, Benjamin Thompson (1753-1814), supervisionando a fabricação de canhões, observou que, durante a perfuração da alma do canhão pela broca, havia uma produção de calórico em quantidade indefinida. Sugeriu então que essa quantidade produzida estava relacionada com o trabalho realizado pela broca.

Alguns anos mais tarde, James Prescott Joule (1818-1889) demonstrou experimentalmente que existe uma relação entre calor e energia mecânica. Nascia assim, no século XIX, a moderna Teoria Mecânica do Calor, segundo a qual o aparecimento de uma quantidade de calor é sempre acompanhado do desaparecimento de uma quantidade equivalente de energia mecânica.” (Calçada, 1998)

2.2 CONCEITOS BÁSICOS DA TERMODINÂMICA

“A termodinâmica estuda a dinâmica do calor” utilizando essa afirmação entra-se em uma importante etapa no estudo da física”. (Gaspar, 2003) O Calor como forma de energia. Portanto, a Termodinâmica será o estudo das transformações de energia de um sistema que envolve as trocas de calor e o estudo do comportamento dos corpos nessas transformações.

Utilizaremos para esse estudo os gases perfeitos ou ideais, que são gases que possuem como principais características: não mudarem de estado físico, ou seja, permanecem sempre no estado gasoso; não ocorre interação entre as moléculas; e as moléculas são consideradas pontuais. Os conceitos da termodinâmica serão definidos para esses gases, mas serão válidas para qualquer sistema que tenha transformações energéticas.

O estado de um gás é definido através de três grandezas fundamentais: pressão, temperatura absoluta e volume, “grandezas essas denominadas variáveis de estado do gás” (Calçada, 1998.) A seguir, a leitura será no intuito de entender os conceitos que envolvem essas grandezas.

Pressão:

Como a densidade de um gás é muito pequena, consideramos que a pressão em

um ponto do gás é igual a todos os outros pontos independente do desnível apresentado por eles.

“A pressão média que o gás exerce nas paredes internas do recipiente é devida aos choques de suas moléculas com essas paredes. Por ocasião desses choques, as moléculas aplicam forças nas paredes.” (Villas Bôas, 2007)

Temperatura Absoluta:

Grandeza física relacionada ao grau de agitação das moléculas, quanto maior for o grau de agitação das moléculas maior será a temperatura e quanto menor o grau de agitação das moléculas menor será a temperatura de um determinado sistema.

“Podemos dizer que a temperatura é a propriedade dos sistemas que nos permite afirmar se dois sistemas estão em equilíbrio térmico ou se estão em estados térmicos diferentes. Sendo assim, sistemas em equilíbrio térmico devem apresentar temperaturas iguais, e sistemas em estados térmicos diferentes devem ter valores diferentes para a temperatura.” (Calçada, 1998)

Lembrando que a unidade de medida para temperatura absoluta é o Kelvin (K) unidade do sistema internacional de unidades (S.I.).

Volume:

O volume é por definição o espaço ocupado por um gás ou por um sistema.

“Sendo os gases extremamente expansíveis, suas moléculas ocupam todo o espaço disponível no recipiente que os contém. Assim, o volume do gás corresponde à capacidade do recipiente.” (Villas Bôas, 2007).

2.3 PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA

“Num processo termodinâmico sofrido por um gás, há dois tipos de trocas energéticas com o meio exterior: o calor trocado e o trabalho realizado.” (Ramalho, 2007).

“No estudo da Termodinâmica dos Gases Perfeitos são parâmetros básicos as grandezas físicas energia interna (U), trabalho (τ) e quantidade de calor (Q) associadas a uma transformação sofrida pelo gás perfeito.” (Villas Bôas, 2007).

Portanto, se faz necessário a compreensão dos conceitos relacionados ao calor e ao trabalho num determinado sistema.

Calor:

Quando analisamos o conceito de equilíbrio térmico, vimos que, se dois corpos a temperaturas diferentes são colocados em contato, eles atingem, após certo tempo, uma mesma temperatura. Até o início do século passado, os cientistas explicavam este fato supondo que todos os corpos continham, em seu interior, uma substância fluida invisível, de peso desprezível, que era denominada *calórico*. Quanto maior fosse a temperatura de um corpo, maior seria a quantidade de calórico em seu interior. De acordo com este modelo, quando dois corpos, a temperaturas diferentes, eram colocados em contato, haveria uma passagem de calórico do corpo mais quente para o corpo mais frio, acarretando uma diminuição de temperatura do primeiro e um aumento de temperatura no segundo corpo. Quando os corpos atingiam a mesma temperatura, o fluxo de calórico era interrompido e eles permaneciam, a partir daquele instante, em equilíbrio térmico. (Alvarenga, 2000). Essa idéia do calórico afirmava que todo corpo possuía uma quantidade finita de calórico intrínseca, o que explicava muitos fenômenos. Mas não explicava, por exemplo, o calor gerado por atrito entre corpos que poderia ser feito infinitamente sem que o calórico “acabasse”.

No entanto experiências mostraram que era possível produzir calórico indefinidamente, atritando-se dois corpos. Isso contrariava o princípio da conservação do calórico, segundo o qual a quantidade de calórico contida em cada corpo deveria ser limitada, podendo, em certas condições ser cedida para outro corpo. (Calçada, 1998)

“A idéia de que calor é energia foi introduzida por Rumford, um engenheiro militar que, em 1798, trabalhava na perfuração de canos de canhão. Observando o aquecimento das peças ao serem perfuradas, Rumford teve a idéia de atribuir este aquecimento ao trabalho que era realizado contra o atrito, na perfuração.” (Alvarenga, 2000).

Anos mais tarde em 1840 essa idéia do calórico cai definitivamente com as experiências de James Joule, que mostrou que calor é uma forma de energia térmica que transita espontaneamente entre corpos a diferentes temperaturas. Enunciando:

“Calor é a energia que é transferida de um corpo para outro, exclusivamente devido a diferença de temperatura existente entre os corpos” (Alvarenga, 2000)

Trabalho:

“Quando ocorre variação de volume numa transformação gasosa, há realização de trabalho e, evidentemente, troca de energia mecânica do gás com o meio exterior. Então, o trabalho realizado numa transformação gasosa pode ser entendido como a medida da energia trocada pelo sistema com o meio ambiente, sem influência de diferenças de temperatura.” (Calçada, 1998)

De acordo com a mecânica, sabe-se que todo trabalho é realizado por uma força. Considerando a expansão de um gás perfeito, representada na figura abaixo.

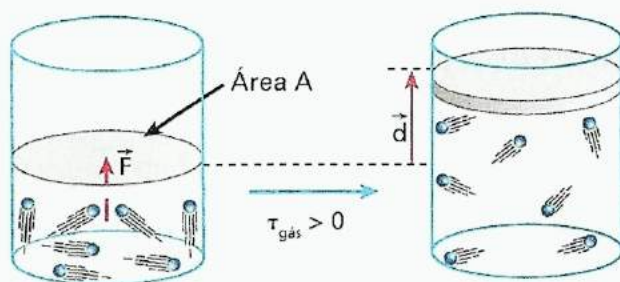


Figura 2 Esquema de expansão de um gás perfeito: volume final maior que o volume inicial (Newton, 2007).

A força (\vec{F}) exercida no êmbolo pelo gás tem mesmo sentido do deslocamento sofrido pelo êmbolo (\vec{d}). Conseqüentemente, o trabalho realizado por essa força é positivo ($\tau_{\text{gás}} > 0$).

Consideremos agora a compressão de um gás perfeito.

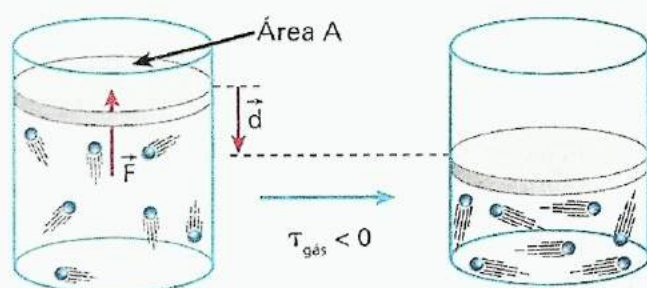


Figura 3 Esquema de compressão de um gás perfeito: volume inicial maior que o volume final (Villas Bôas, 2007).

Nesse caso, a força (\vec{F}) exercida pelo gás tem sentido oposto ao deslocamento (\vec{d}) do êmbolo. Conseqüentemente, o trabalho realizado é negativo ($\tau_{\text{gás}} < 0$).

Evidentemente, se o gás não expande nem é comprimido, temos $\tau_{\text{gás}} = 0$, pois o êmbolo não se desloca. (Villas Bôas, 2007).

Energia Interna:

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

A energia externa do sistema é devida às relações que ele guarda com seu meio exterior — energia cinética e energia potencial.

A energia interna do sistema relaciona-se com suas condições intrínsecas. Num gás, corresponde às parcelas: energia térmica, que associa ao movimento de agitação térmica das moléculas; energia potencial de configuração, associada às forças internas conservativas; energia cinética atômico-moleculares, ligadas à rotação das moléculas, às vibrações intramoleculares e aos movimentos intra-atômicos das partículas elementares.” (Ramalho, 2007).

“A energia interna de um sistema é o somatório de vários tipos de energia existentes em suas partículas. Nesse cálculo, consideramos as energias cinéticas de agitação (ou de translação), potencial de agregação, de ligação, nuclear, enfim todas as energias existentes em suas moléculas. Observa-se que apenas parte dessa energia (cinética de agitação e potencial de agregação) é térmica. Quando fornecemos energia térmica para o corpo ou a retiramos dele, provocamos a variação de sua energia interna. É essa variação que utilizaremos em Termodinâmica.” (Villas Bôas, 2007)

Para os gases, a energia interna, representada por U , corresponde à somatória de várias parcelas, tais como a energia cinética das moléculas, a energia potencial de configuração (relacionada com forças intramoleculares conservativas), energias cinéticas de rotação das moléculas, dos movimentos das partículas elementares dos átomos, etc. A medição direta dessa energia não é realizada.” (Calçada, 1998)

Não se mede diretamente a energia interna U de um sistema. No entanto, é importante conhecer a variação da energia interna ΔU do sistema durante um processo termodinâmico. Para os gases ideais monoatômicos, essa variação é determinada somente pela variação da energia cinética de translação das moléculas que constituem o sistema.

Há processos em que a energia interna varia e a temperatura permanece constante. É o que ocorre nas mudanças de estado de agregação. A energia recebida (calor latente) durante o processo aumenta a energia interna do sistema. Assim, durante uma fusão, o estado líquido tem maior energia interna que o estado sólido, embora durante o processo não esteja ocorrendo variação de temperatura. Por outro lado, nas transformações gasosas, a variação de energia interna (ΔU) é sempre acompanhada de variação de temperatura (ΔT). (Ramalho, 2007).

Durante os processos termodinâmicos, pode ocorrer variação da energia interna do gás. Verifica-se que só ocorre essa variação no caso de haver variação na temperatura do gás, valendo a denominada Lei de Joule dos gases perfeitos:

A energia interna de determinada quantidade de gás ideal depende exclusivamente da temperatura. (Calçada, 1998)

A determinação dessas três formas de energia, calor, trabalho e energia interna, permitirão o entendimento da primeira lei da termodinâmica.

“O núcleo da máquina térmica é o cilindro, que contém o fluido, e o êmbolo, que pode subir e descer. Veja figura abaixo:

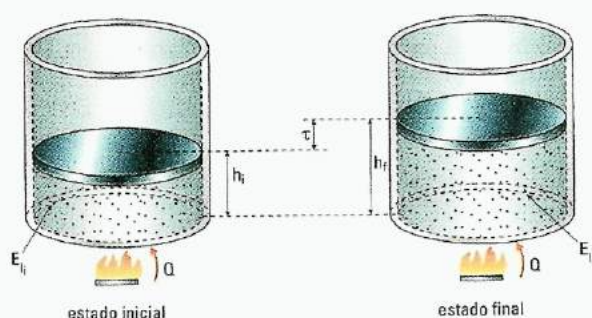


Figura 4 Expansão do Volume e aumento de temperatura indicam aumento da energia interna do sistema no estado final (Gaspar, 2003)

Vamos supor que todas as paredes do sistema ao lado sejam adiabáticas (“corpo isolante térmico” ou “impermeável” ao calor, ou seja, não permite a troca de calor.), com exceção da base, onde uma fonte fornece calor. No estado inicial, o êmbolo apóia-se no gás, no nível h_i . A energia interna inicial, U_{i_i} , dá ao gás a pressão necessária para manter o êmbolo nesse nível. Fornecendo-se calor Q ao sistema, o gás se expande, fazendo o êmbolo subir e atingir o estado final, correspondente ao nível h_f . Nessa expansão o sistema realiza trabalho (τ) correspondente ao deslocamento do êmbolo.

O êmbolo se mantém na altura h_f , graças à energia interna U_{i_f} , que dá ao gás a pressão necessária para mantê-lo nesse nível. Em outras palavras, o calor fornecido ao sistema não se limitou a elevar o êmbolo, ele colocou o sistema num outro estado. Essa

é uma etapa do funcionamento das máquinas térmicas — o sistema não fica indefinidamente nesse estado. O êmbolo deve descer para que o processo recomece. (Gaspar, 2003)

“O conhecido Princípio da Conservação da Energia, quando aplicado à Termodinâmica, recebe o nome de 1ª Lei da Termodinâmica. Com a aplicação dessa lei, podemos, por meio de uma “contabilidade” energética, saber o que ocorre com um sistema gasoso ao sofrer uma transformação termodinâmica.”
(Villas Bôas, 2007)

“A energia interna de um sistema varia em vista das trocas energéticas entre ele e o meio ambiente. Como o sistema troca energia com o exterior na forma de calor (Q) e de trabalho (τ), a variação de energia interna (ΔU) é o resultado do balanço energético entre essas duas quantidades de energia. Então, podemos afirmar que a variação da energia interna do sistema é dada pela diferença entre a quantidade de calor trocada e o trabalho realizado no processo termodinâmico” (Calçada, 1998)

Essa lei pode ser anunciada da seguinte forma:

Para todo sistema termodinâmico, existe uma função característica, denominada energia interna. A variação dessa energia interna (ΔU) entre dois estados quaisquer pode ser determinada pela diferença entre a quantidade de calor (Q) e o trabalho (τ) trocados com o meio externo (Gaspar, 2003)

A variação de energia interna ΔU sofrida pelo sistema é consequência do balanço energético entre essas duas quantidades. Tomando como exemplo uma transformação isobárica (volume constante), se o gás recebeu do meio exterior uma quantidade de calor $Q=20$ J e realizou um trabalho sobre o meio exterior $\tau=3$ J, sua energia interna aumentou $\Delta U=17$ J. Em outras palavras, o gás recebeu 20 J de energia do meio exterior (sob a forma de calor), perdeu 3 J de energia (sob a forma de trabalho), tendo absorvido 17 J de energia, que aumentaram a energia cinética de suas moléculas e, portanto, sua energia interna. Na figura, representam-se esquematicamente essas trocas energéticas.

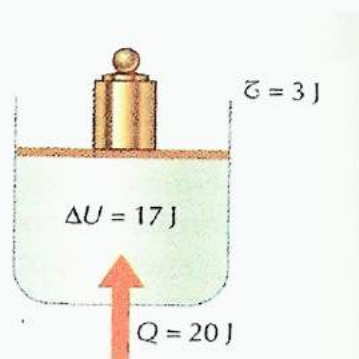


Figura 5 Esquema de trocas de energia (Ramalho, 2007)

Portanto, sendo Q a quantidade de calor trocada pelo sistema, τ o trabalho realizado e ΔU a variação de energia interna do sistema, podemos escrever:

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

Essa fórmula traduz analiticamente a primeira lei da Termodinâmica.

A primeira Lei da Termodinâmica é uma reafirmação do princípio da conservação da energia e, embora tenha sido estabelecida tomando-se como ponto de partida a transformação de um gás, é válida para qualquer processo natural que envolva trocas energéticas. (Ramalho, 2007)

2.4 SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA

2.4.1 PROCESSOS REVERSÍVEIS E IRREVERSÍVEIS:

“Com o estudo da Primeira Lei da Termodinâmica, ficou claro que a energia se conserva em qualquer transformação, embora parte dela se torne inaproveitável. Mas há um aspecto intrigante na conservação da energia que levou à formulação de uma nova lei — a conservação da energia ocorre sempre, em qualquer transformação, mas essas transformações ocorrem num único sentido. Veja as fotos abaixo:

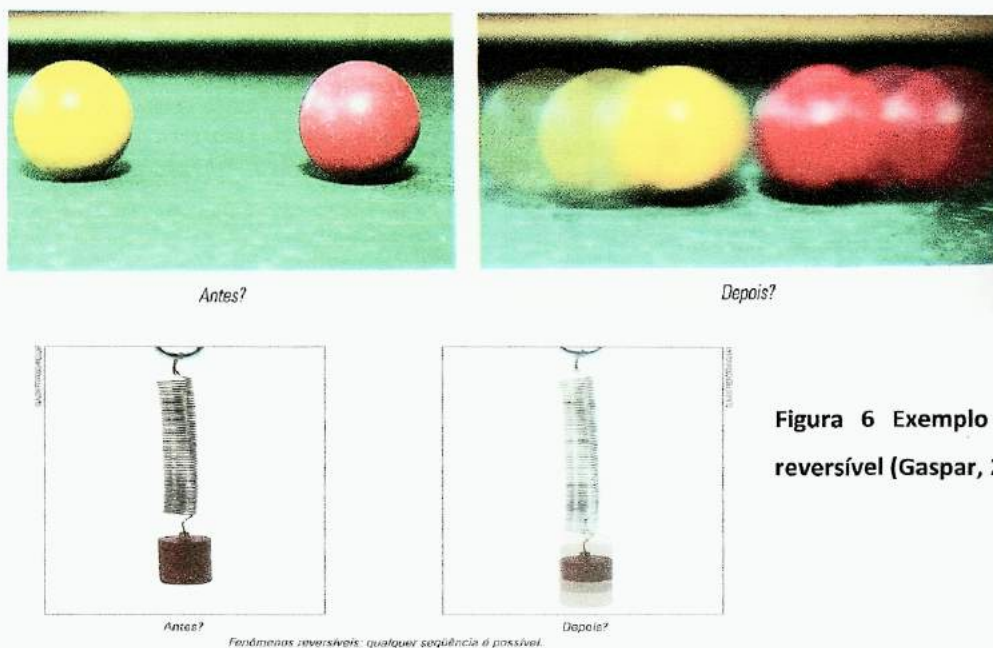


Figura 6 Exemplo de processo reversível (Gaspar, 2003)

Nas sequências de fotos anteriores, a primeira representa o choque entre duas esferas, a segunda um sistema massa-mola oscilando. Qual delas representa a situação que “vem antes” e a que “vem depois”? Só pelas fotos é impossível responder; qualquer sequência é possível, pois elas representam fenômenos reversíveis.

Chama-se de reversíveis as transformações que podem se efetuar em ambos os sentidos, de modo que, na volta, o sistema retorna ao estado inicial, passando pelos mesmos estados intermediários, sem que ocorram variações definitivas nos corpos que o rodeiam.

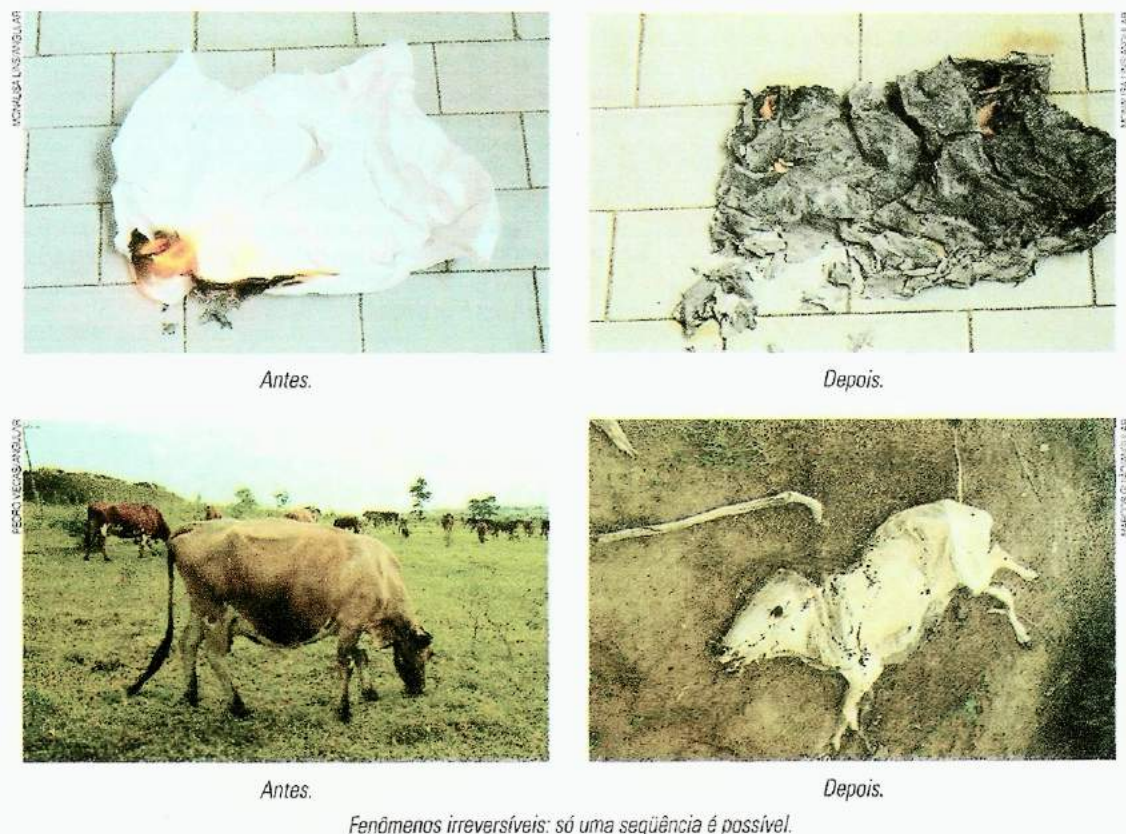


Figura 7 Exemplos de processos irreversíveis (Gaspar, 2003)

Mas nessa seqüência de fotos acima em que estão representadas a queima de uma folha de papel e a morte de um animal, a resposta é óbvia: só uma seqüência é possível — nós sabemos com certeza o que “vem antes” e o que “vem depois”. São fenômenos irreversíveis.” (Gaspar, 2003)

Uma transformação é dita irreversível quando sua inversa só puder se efetuar como parte de um processo mais complexo, envolvendo interações com outros corpos.

Geralmente as transformações puramente mecânicas, que se realizam sem atritos e sem que se produzam choques inelásticos, são reversíveis, como no exemplo ilustrado na figura.

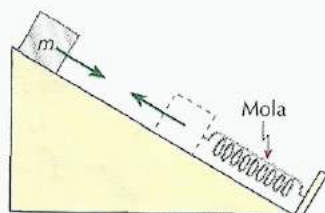


Figura 8 – Processos mecânicos sem atritos e choques inelásticos são processos reversíveis (Gaspar, 2003)

Considere um cubo de massa m no alto de um plano inclinado e, na base do plano, uma mola tida como ideal. Se deslizar sem nenhuma resistência plano abaixo, o cubo irá chocar-se elasticamente com a mola e voltará a subir pelo plano até alcançar novamente sua posição inicial. Perceba que a transformação ocorrida não produziu nenhuma modificação nos corpos circundantes. Logo, a descida é reversível.

No exemplo anterior, levando-se em conta as perdas da energia por atrito, para fazer o cubo retornar à posição primitiva, seria necessário um fornecimento exterior de energia para que o bloco voltasse a posição inicial. Nesse caso, a descida seria irreversível.

Durante uma transformação, um gás não está em equilíbrio, pois suas diferentes partes não apresentam a mesma temperatura e a mesma pressão. Em consequência, as relações como as leis dos gases, não são aplicáveis. No entanto, se a transformação for realizada lentamente, há uniformização de pressão e de temperatura no sistema e no meio exterior. Nesse caso, em todo instante são válidas as relações entre pressão, temperatura, volume. Tal transformação é dita quase-estática ou reversível, pois o processo poderá ser invertido e o gás poderá voltar ao estado inicial, passando pelos mesmos estados intermediários, sem que ocorram modificações no meio exterior. (Ramalho, 2007).

Concluindo, denomina-se transformação reversível aquela em que, após seu término, o sistema pode retornar as suas condições iniciais pelo mesmo caminho, isto é, passando pelos mesmos estados intermediários, na sequência inversa daquela ocorrida

na transformação inicial, sem interferência externa. A transformação será irreversível se o processo não puder satisfazer as condições citadas acima.

Do conteúdo acima, percebe-se que na natureza a maioria dos eventos são de transformações irreversíveis, os casos reversíveis são considerados apenas em situações teoricamente ideais.

A primeira Lei da Termodinâmica reafirma a idéia da conservação da energia em todos os processos naturais, isto é, a energia não é criada nem destruída em um processo termodinâmico. No entanto, essa primeira lei nada diz a respeito da probabilidade ou possibilidade de ocorrência de determinado evento. Por exemplo, um corpo em movimento sobre uma dada superfície acaba parando: sua energia mecânica se transforma em igual quantidade de calor, que aquece o corpo e os objetos que a cercam. Entretanto, se fornecermos calor ao corpo através de uma fonte, ele certamente não se porá em movimento, adquirindo energia mecânica em igual quantidade, embora a primeira lei nada estabeleça a respeito de tal impossibilidade.

A Segunda Lei da Termodinâmica tem um caráter estatístico, estabelecendo que os processos naturais apresentam um *sentido preferencial* de ocorrência, tendendo sempre o sistema espontaneamente para um estado de equilíbrio. Na verdade, a segunda lei *não estabelece*, entre duas transformações possíveis que obedecem a primeira lei, qual *certamente acontece*, mas *sim* a que tem *maior probabilidade de acontecer*.

Esse comportamento assimétrico da natureza, estabelecido pela segunda lei, pode ser evidenciado através de alguns exemplos:

1º) Se dois corpos em temperaturas diferentes forem colocados em presença um do outro, haverá passagem espontânea de calor do mais quente para o mais frio, até atingirem uma temperatura de equilíbrio térmico. A passagem de calor em sentido contrário não é espontânea, exigindo, para que ela se realize, uma intervenção externa com fornecimento adicional de energia.

2º) As energias mecânica, elétrica, química, nuclear, etc., tendem a se “degradar”, espontânea e integralmente, em calor. No entanto, a conversão inversa, de calor em energia mecânica, por exemplo, é difícil e nunca integral. (Calçada, 1998)

Um pêndulo oscilando, por exemplo, para ao fim de algum tempo, em virtude dos choques com as moléculas do ar e outros atritos. A energia “organizada” do pêndulo se converte em energia térmica. A primeira lei não invalida a transformação recíproca, em que as moléculas se organizam e empurrem o pêndulo, fazendo-o recuperar a energia inicial. No entanto, a probabilidade da ocorrência de tal evento é mínima.

Ainda outro exemplo: uma gota de tinta colocada num líquido (figura 9) se espalha uniformemente por ele, de maneira espontânea. Mas é quase impossível que as moléculas se reagrupem, restaurando a gota inicial.



Figura 9: Processo irreversível de dissolução de uma gota num líquido (Ramalho, 2007)

A Segunda Lei da Termodinâmica, a exemplo da primeira tem diferentes enunciados que se equivalem. O mais comum vem da aceitação da irreversibilidade da natureza, que diz:

“Nenhuma máquina térmica, operando em ciclos, pode retirar calor de uma fonte quente e transformá-lo integralmente em trabalho” (Gaspar, 2003)

Além do enunciado citado acima existe dois outros enunciados importantes. Um formulado por Lorde Kelvin e o segundo por Clausius.

“O enunciado de Kelvin “proíbe” a transformação de calor integralmente em trabalho (o moto-perpétuo de segunda espécie). Se isso fosse possível, bastaria baixar um pouquinho a temperatura do oceano e teríamos temperatura suficiente para mover todos os navios; mais um pouquinho, seria suficiente para alimentar todas as cidades litorâneas e mais um pouquinho... Infelizmente a física é incapaz de fazê-lo e, como funcionário disciplinado e impotente de uma grande empresa, atribui a culpa à autoridade maior — a natureza não permite! É isso que o enunciado da Segunda Lei da Termodinâmica por Kelvin diz:

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

O enunciado de Clausius consagra uma observação experimental simples e rotineira. O calor sempre é transferido dos corpos mais quentes para os mais frios; o contrário é espontaneamente impossível ou “proibido”:

“É impossível realizar um processo cujo *único* efeito seja retirar calor de um corpo mais frio para um corpo mais quente.”

Ambos os enunciados são equivalentes, ou seja, é possível retirar calor de uma fonte fria e levar para uma fonte quente — todo refrigerador faz isso. O que é impossível é fazer só isso. Todos esses processos exigem o consumo de energia externa, adicional, para se realizarem. O motor a explosão consome energia do combustível, o refrigerador consome energia elétrica. Consumindo ou dissipando energia, “tudo é permitido”. (Gaspar, 2003)

2.4.2 RENDIMENTO DAS MÁQUINAS TÉRMICAS:

“As máquinas térmicas, origem do estudo da termodinâmica, são ainda hoje a sua importante aplicação tecnológica. A máquina térmica, como a maior parte das máquinas ou motores, funciona em ciclos, ou seja, executa etapas que se repetem periodicamente.” (Gaspar, 2003)

“A máquina térmica recebe, em cada ciclo, uma quantidade de calor Q_1 da fonte quente, transforma uma parte dessa energia em trabalho τ e rejeita a quantidade de calor Q_2 , não transformada, para fonte fria.” (Calçada, 1998)

O funcionamento da máquina térmica costuma ser representado esquematicamente pelo *diagrama de fluxo*, apresentado a seguir:



Figura 10 Diagrama de fluxo de uma máquina térmica (Gaspar,2003)

O diagrama de fluxo procura tornar evidente que a máquina térmica só transforma em trabalho parte do calor que recebe da fonte quente. A outra parte ela dissipa ou cede à fonte fria. Assim, o rendimento de qualquer máquina térmica é sempre inferior a 100%. (Gaspar, 2003)

Devemos lembrar que as máquinas térmicas, como por exemplo a máquina a vapor, foram inventadas e funcionavam antes que seu princípio teórico fosse estabelecido.

Estudando essas máquinas, Carnot evidenciou que uma diferença de temperatura era tão importante para uma máquina térmica quanto a diferença de nível d'água para uma máquina hidráulica. Estabeleceu, então, que:

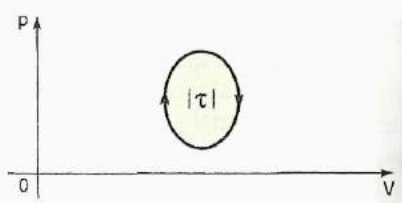
“Para que uma máquina térmica converta calor em trabalho de modo contínuo, deve operar em ciclos entre duas fontes térmicas, uma quente e outra fria: a máquina retira calor da fonte quente (Q_1), converte-o parcialmente em trabalho (τ) e rejeita o restante (Q_2) para a fonte fria.” (Ramalho, 2007)

As fontes térmicas, quente e fria, são sistemas que podem trocar calor sem que sua temperatura varie. São fontes frias comuns o ar atmosférico, a água do oceano, a água de mares ou lagos. A fonte quente varia conforme a máquina térmica: é a caldeira na

máquina a vapor, é a câmara de combustão nos motores a explosão, utilizados em automóveis, aviões e motocicletas.

“Para haver a transformação em trabalho, a substância trabalhante deve realizar ciclos no sentido horário no diagrama de trabalho, como está indicado na figura 11. A área interna do ciclo mede, numericamente, o trabalho que se obtém na máquina.” (Calçada, 1998)

$$W = F \times d = p \times A \times d = p \times A \times \frac{\Delta V}{A}$$



Logo, $W = p \times \Delta V$ (para pressão constante)

Se o trabalho é igual ao produto da pressão pelo volume, podemos calcular o trabalho pela área abaixo do gráfico $p \times V$

Figura 12 O trabalho realizado é medido pela área interna do ciclo (Calçada, 1998)

Para efeito das considerações seguintes, todas as quantidades de energia envolvidas serão consideradas em módulo. Assim, a energia útil obtida por ciclo da máquina (o trabalho τ) corresponde a diferença entre a energia total recebida em cada ciclo (a quantidade de calor Q_1 retirada da fonte quente) e a energia não transformada (a quantidade de calor Q_2 rejeitada para a fonte fria): (Calçada, 1998)

$$\tau = Q_1 - Q_2$$

“Denomina-se *rendimento*, R , de uma máquina térmica a relação entre o trabalho realizado, τ , que ela realiza em cada ciclo, e o calor Q_1 , absorvido, durante o ciclo da fonte, isto é,

$$R = \tau/Q_1$$

Logo, o rendimento de uma máquina térmica será tanto maior quanto maior for o trabalho que ela realiza, para uma determinada quantidade de calor absorvido. Assim, se o rendimento de uma máquina for $R = 0,5$ (ou $R = 50\%$), isto significa que esta máquina

transforma em trabalho metade do calor que ela recebe da fonte quente. (Alvarenga, 2000)

O rendimento de uma máquina térmica também pode ser representado pela letra grega η . Utilizando as duas últimas equações pode-se chegar a seguinte conclusão:

$$\eta = (Q_1 - Q_2)/Q_1$$

Donde resulta que:

$$\eta = 1 - Q_2/Q_1$$

2.4.3 MÁQUINAS FRIGORÍFICAS:

O calor não passa espontaneamente de um corpo mais frio para outro mais quente.

No entanto, há dispositivos, denominados *máquinas frigoríficas*, nos quais essa passagem se verifica, mas não espontaneamente, sendo necessário que o ambiente forneça energia para o sistema.” (Calçada, 1998)

Máquinas frigoríficas são dispositivos que, durante seu funcionamento, efetuam a transformação de trabalho em calor.

Os refrigeradores são máquinas frigoríficas que transferem calor de um sistema em menor temperatura (congelador) para o meio exterior, que se encontra a uma temperatura mais alta (figura 13). Ao contrário do que possa parecer, porém, eles não contrariam o enunciado de Celsius da segunda lei, uma vez que a referida passagem não é espontânea: ela ocorre à custa de um trabalho externo (nas geladeiras, esse trabalho é feito pelo compressor). Na figura Q_2 é a quantidade de calor retirada da fonte fria (T_2), τ é o trabalho externo, e Q_1 , é a quantidade de calor total rejeitada para a fonte quente (T_1). (Ramalho, 2007)

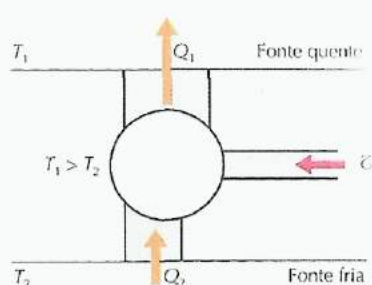


Figura 13 Esquema de uma máquina frigorífica (Ramalho, 2007)

“Para que essa conversão ocorra e a máquina frigorífica funcione, a substância trabalhante deve realizar, no diagrama de trabalho, ciclos no sentido anti-horário (Figura 14). A área sombreada na figura mede numericamente o módulo do trabalho externo que se converte em calor.

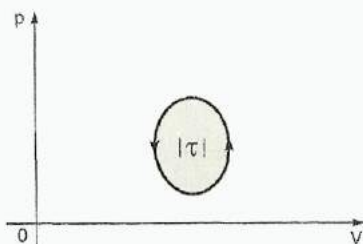


Figura 14 O trabalho realizado é medido pela área do ciclo, entretanto o trabalho é negativo. (Calçada, 1998)

Para a máquina frigorífica não tem sentido definir um rendimento” (Calçada, 1998). “A eficiência (e) de uma máquina frigorífica é expressa pela relação entre a quantidade de calor retirado da fonte fria (Q_2) e o trabalho externo envolvido nessa transferência (τ):

$$e = Q_2/\tau$$

2.4.4 O CICLO DE CARNOT:

Até 1824, acreditava-se que uma máquina térmica poderia atingir o rendimento total (100%) ou algo próximo desse valor. Em outras palavras, acreditava-se na possibilidade da utilização de toda a energia térmica fornecida a uma máquina, que se transformaria integralmente, ou quase, em trabalho.

Coube ao jovem engenheiro francês Nicolas Leonard Sadi Carnot (1796-1832) demonstrar a impossibilidade desse rendimento. Ele propôs uma máquina térmica teórica, ideal, que funcionaria percorrendo um ciclo particular, denomina **ciclo de Carnot**. Este dispositivo obedeceria a dois postulados estabelecidos pelo próprio Carnot, antes mesmo do enunciado da primeira Lei da Termodinâmica. São eles:

1º Postulado de Carnot

Nenhuma máquina operando entre duas temperaturas fixadas pode ter rendimento maior que a máquina ideal de Carnot, operando entre essas mesmas temperaturas.

2° Postulado de Carnot

Ao operar entre duas temperaturas, a máquina ideal de Carnot tem o mesmo rendimento, qualquer que seja o fluido operante.

Observe que esses postulados garantem que o rendimento de uma máquina térmica é função das temperaturas das fontes fria e quente. Entretanto, fixando-se as temperaturas dessas fontes, a máquina teórica de Carnot é aquela que conseguiria ter o maior rendimento. (Gaspar, 2003)

Denomina-se *máquina de Carnot* a máquina térmica teórica que realiza o ciclo ideal reversível de Carnot. Na figura 15, apresentamos uma sequência de processos que um gás ideal deve ser submetido para que realize o ciclo de Carnot:

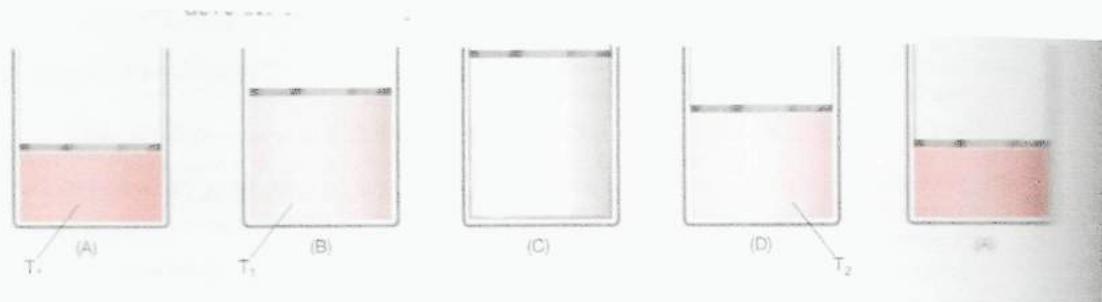


Figura 15 Esquema do ciclo de Carnot (Calçada, 1998)

Essa sequência de processos, representada graficamente na figura 15, corresponde a:

1°) *expansão térmica* AB, durante a qual o gás está em contato com um sistema de temperatura constante T_1 (fonte quente), recebendo dele uma quantidade de calor Q_1 ;

2°) *expansão adiabática* BC, durante a qual não ocorre trocas de calor com o meio ambiente;

3°) *contração isotérmica* CD, durante a qual o gás está em contato com um sistema de temperatura constante T_2 (fonte fria), cedendo a ele uma quantidade de calor Q_2 ;

4°) *contração adiabática* DA, durante a qual o gás não troca calor com o meio ambiente.

O trabalho realizado pelo gás no ciclo (τ), que corresponde à diferença entre as quantidades de calor trocadas com a fonte quente (Q_1) e a fonte fria (Q_2), é medido numericamente pela área do ciclo na figura. (Calçada, 1998)

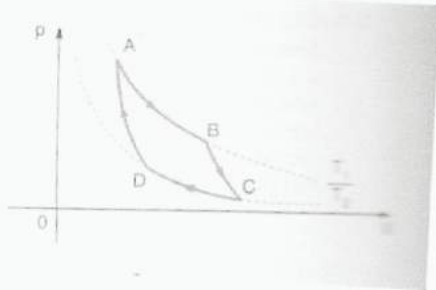


Figura 16 Diagrama do Ciclo de Carnot (Calçada, 1998)

“Carnot demonstrou que, nesse ciclo, as quantidades de calor trocadas com as fontes quente e fria são proporcionais às respectivas temperaturas absolutas das fontes:

$$\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2}$$

O rendimento de uma máquina térmica que realiza o ciclo de Carnot (máquina de Carnot) pode então ser expresso por:

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

Como , $\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2}$ tem-se:

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

(Ramalho, 2007).

O rendimento acima é, segundo Carnot, o máximo rendimento de uma máquina térmica.

2.4.5 MOTOR DE STIRLING

Para ilustrar a segunda lei da termodinâmica, apresentaremos na sala de aula o motor de Stirling

2.4.5.1 Como Funciona

O funcionamento do Motor de Stirling depende principalmente da chama que cede calor ao sistema. O ar quente no interior do cilindro expande-se levando o êmbolo para cima, quando o êmbolo atinge a região de cima da lata ar frio é introduzido no sistema, diminuindo a pressão na parte de baixo do êmbolo, fazendo com que ele desça. O êmbolo é conectado a uma manivela fora da lata que gira devido a movimentação do êmbolo, numa das extremidades da manivela estão alguns CDs que também irão girar, na outra extremidade está um lápis conectado a bexiga que irá “assoprar” o ar para dentro da lata pelo joelho de PVC. Portanto, o motor funciona como uma máquina térmica, pois tem duas fontes, uma quente e outra fria, e o calor gerado pela fonte quente não é transformado todo em trabalho, parte é rejeitada para a fonte fria, obedecendo a Segunda Lei da Termodinâmica.

2.4.5.2 Identificando as fontes de calor e o trabalho realizado.

A fonte quente é a chama que vai aquecer o ar que ficou quente dentro da lata, a fonte fria é o meio ambiente. O ar mais frio que a bexiga manda pelo joelho de PVC para o interior da lata faz com que a pressão no interior da máquina diminua e o processo se reinicie. O trabalho realizado é a subida do êmbolo, tendo como consequência a rotação do CD. Portanto, a movimentação do êmbolo é devido a variação de pressão no interior da lata.

CAPITULO III – AVALIAÇÃO FORMATIVA

3.1 TRABALHO PARA SER EXCECUTADO PELOS ALUNOS - AVALIAÇÃO FORMATIVA

Esse tipo de avaliação tem como objetivo fazer com que o aluno construa uma máquina térmica, saiba identificar as fontes frias e quentes, o trabalho realizado, e

explique para a turma o funcionamento de sua máquina. Desta forma o professor poderá acompanhar a explicação, fazer intervenções quando forem necessárias, re-explicar os conceitos baseando no visual dos experimentos, e caso verifique que o conceito da segunda lei da termodinâmica ainda não tenha ficado claro, buscar outra forma de apresentar o fenômeno.

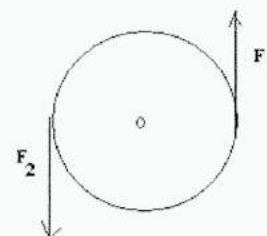
3.2 ROTEIROS DOS ALUNOS

3.2.1 Máquina de Heron

Autores – grupo A

Teoria: A teoria deve ser explicada pelo aluno e já foi descrita na seção 2.4. Nesta máquina o aluno também deverá explicar como funciona um binário.

—Binário é um sistema composto por duas forças que realizam momentum no mesmo sentido, fazendo com que um corpo extenso rotacione.



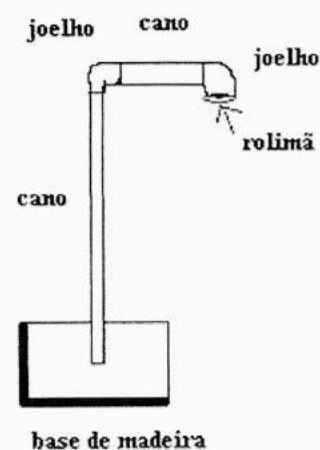
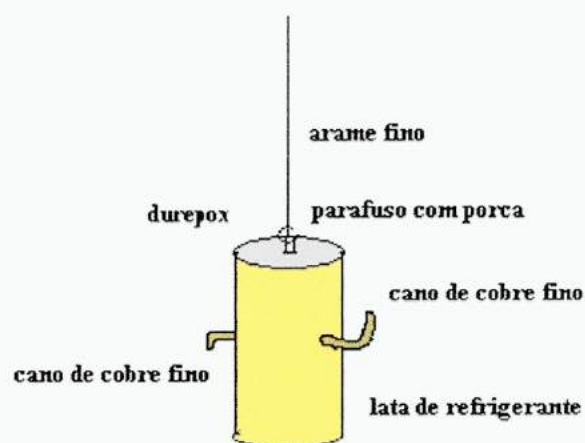
Material

-Suporte de cano; -lata de refrigerante (350 ml); -tubo de cobre; -arame fino; -parafusos; -porcas; um rolimã -vela; -durepox.

Montagem

-Faça dois furos diametralmente opostos em uma lata de refrigerante;

-faça um furo centralizado na parte de cima da lata de refrigerante do tamanho de uma porca que tenha o parafuso correspondente; Cubra com durepoxi para vedar bem. A água será introduzida retirando o parafuso, por meio de uma seringa. Torne a aparafusar e prenda o arame fino no



parafuso. Para melhor vedação pode-se colocar um anel de borracha (de mousepad).no parafuso;

-faça um suporte de cano para pendurar a lata ;

Introduza um rolimã pequeno (tipo skate) no interior do joelho.



Corte um pedaço da parte de plástico de uma caneta esferográfica e faça dois furinhos para passar o arame. Cole este dispositivo no interior do rolimã;

-acenda uma vela pequena na parte de baixo da lata, bem próximo a ela e espere o fenômeno acontecer.

Explicação:

A fonte quente do experimento é a chama da vela que vai aquecer o ar proveniente da ebulição da água que ficará confinado dentro da lata, a fonte fria será o meio ambiente e o trabalho realizado será visto pelo giro da lata. O giro da lata se dará pelo binário feito pelos dois tubos de cobre. Pela conservação da quantidade de movimento os tubos de cobre sofrerão uma força que realizarão momentum no mesmo sentido, fazendo com que a lata gire.

Perguntas: (As perguntas deverão ser respondidas pelos alunos, e nessa monografia estarão representadas em itálico..)

1)Identifique a fonte quente e a fonte fria.

Fonte quente: chama da vela.

Fonte fria: o meio ambiente.

2) Qual o trabalho realizado?

O giro da lata.

3) Como a máquina funciona?

O vapor da água que está dentro da lata é lançado pelos tubos de cobre, que estão colocados de tal modo para que a lata gire quando for expelido o vapor para fora

4) Diga com as suas palavras a Segunda Lei da Termodinâmica.

Nenhuma máquina térmica é capaz de transformar calor integralmente em trabalho.

5) Enuncie o ciclo completo de sua máquina.

A chama esquentará a água que entra em ebulição, aumentando a pressão interna, o vapor sai pelos fios de cobre, girando a lata. Enquanto a chama estiver acesa e houver água dentro da lata, o vapor continuará a sair e a lata rodará.

3.2.2 Barquinho POP POP

Autores – grupo B

Teoria : A teoria deve ser explicada pelo aluno e já foi descrita no item 2.4. Nesta máquina o aluno também deverá explicar o que ocorre com a variação de pressão no interior da “caldeira”.

Neste sistema as forças que atuam para expelir o vapor da água são internas, logo ocorre conservação de momento linear. Assim ao sair o vapor numa direção o barquinho se deslocará no sentido oposto. Entretanto, quando ocorre variação de pressão num fluido haverá movimentação deste no sentido de maior pressão para menor pressão. Assim sendo assim que uma quantidade de vapor for expelida, o interior do tubo ficará com pressão interna menor que a pressão externa e uma quantidade de água fria entrará. Esta água será aquecida e o processo re-iniciará.

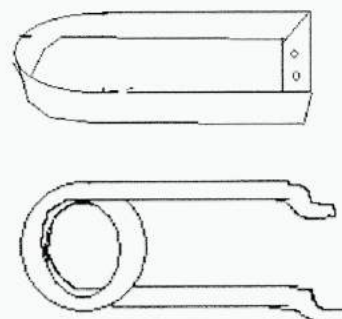
Material

Barco de plástico ou de madeira; tubos de cobre enrolado como uma serpentina, durepoxi, vela pequena, cuba com água.

Montagem

-Faça dois furos na parte de trás do barco com a largura do tubo de cobre;

-com o tubo de cobre faça uma serpentina de duas



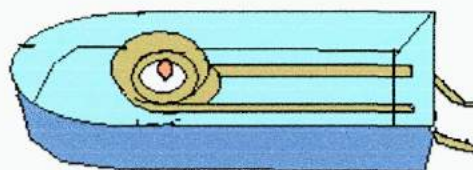
voltas, as pontas devem ser mais baixas para ficarem dentro da água ao colocar o barco na cuba;

Prenda a serpentina no barco;

coloque a vela embaixo da “caldeira”;

Coloque o barco na cuba com água;

-acenda a vela e espere o fenômeno acontecer.



Explicação:

A fonte quente nessa máquina térmica é a vela que vai esquentar a água na caldeira. A fonte fria é a água na parte de fora do barco. O trabalho realizado por essa máquina é facilmente percebido, é a movimentação do barco. Quando a água esquentada na caldeira, sua pressão aumenta e fica maior que a pressão da água na parte de fora, com isso parte do vapor da água da caldeira é jogado para fora, nesse momento pela conservação da quantidade de movimento, o barco vai para frente. Quando a água sai da caldeira a pressão na caldeira diminui. A pressão externa passa a ser maior que a interna e a água entra novamente na caldeira, completando o ciclo.

Perguntas:

1) Identifique a fonte quente e a fonte fria.

Fonte quente: a chama da vela que aquece a água da caldeira.

Fonte fria: A água fora do barco.

2) Qual o trabalho realizado?

O movimento do barco.

3) Como a máquina funciona?

A água na caldeira esquenta, tem sua pressão aumentada e assim vapor de água é jogado para fora do barco, por conservação da quantidade de movimento o barco é

impulsionado para frente. Quando o vapor sai a pressão interna diminui, ficando menor que a externa e a água entra na caldeira, re-iniciando outro ciclo.

4) Diga com as suas palavras a Segunda Lei da Termodinâmica.

Nenhuma máquina térmica é capaz de transformar calor integralmente em trabalho.

5) Enuncie o ciclo completo de sua máquina.

A água quente da caldeira é jogada para fora, em seguida a diminuição da pressão dentro da caldeira, faz com que a água seja “sugada” para dentro novamente fechando o ciclo. Enquanto a vela estiver acesa o ciclo se perpetuará.

3.2.3 Abajur de convecção

Autores – grupo C

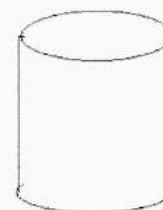
Teoria: A teoria deve ser explicada pelo aluno e já foi descrita no item 2.4. — Quando se tem duas regiões de diferentes temperaturas, elas trocam calor entre si. Um dos processos de propagação de calor é a convecção, consiste basicamente no ar mais quente, que é menos denso, ficar leve e subir para as regiões mais altas, quando atinge regiões mais frias torna a descer formando as chamadas *correntes de convecção*.

Material

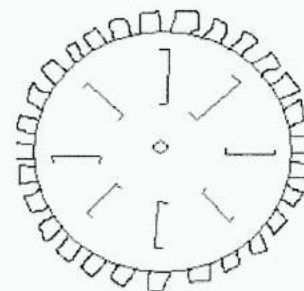
- Topo de uma ampola quebrada; plástico de pastas semitransparentes; lâmpada 60 W, arame grosso, suporte de madeira, tesoura, estilete, lima, fio duplo e tomada macho;

Montagem

- Faça com o plástico da pasta um cilindro aberto dos dois lados;



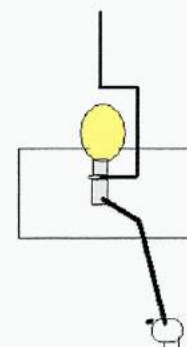
-Faça com o plástico um círculo como mostra a figura com o diâmetro 2 cm maior que o cilindro. Corte abas de 1 cm ao longo da circunferência.



Faça, com o auxílio de estilete ranhuras um forma de u, levante as ranhuras para permitir que o ar escape pelo topo; Dobre as abas e cole no cilindro;

Faça um furo no meio do círculo para colocar o topo da ampola.

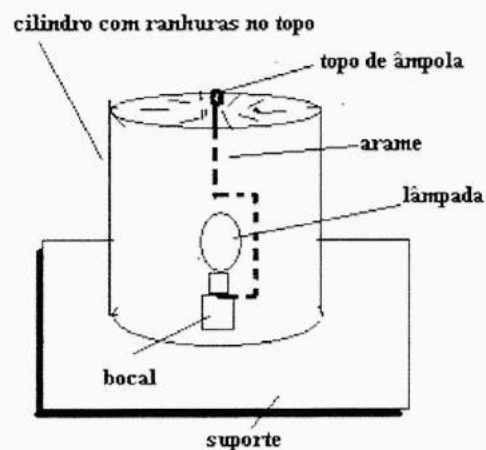
Faça um suporte de madeira. Aparafuse no centro um bocal de lâmpada; coloque o fio e a tomada macho; Coloque o arame contornando a lâmpada de maneira que termine centralizado com a lâmpada e fique 1 cm mais alto que o cilindro. Afine com uma lima a ponta do arame;



Coloque o cilindro encaixando o topo da ampola no arame. O atrito deve ser mínimo e o cilindro não deve encostar na base.

Explicação:

No abajur o papel da fonte quente é feito pela lâmpada e o da fonte fria, pelo meio ambiente. O ar frio que vem do ambiente esquenta devido a presença da lâmpada o ar quente é menos denso e se torna leve, por esse motivo ele sobe. A sair pelas ranhuras, pela conservação de movimento o cilindro gira no sentido contrário. O ar frio do meio ambiente entra pela parte de baixo do abajur abrindo um novo ciclo.



Perguntas:

1) Identifique a fonte quente e a fonte fria.

Fonte quente: A lâmpada

Fonte fria: o meio ambiente

2) Qual o trabalho realizado?

O giro do abajur

3) Como a máquina funciona?

O ar ao redor da lâmpada se torna mais quente e sobe, vazando pelas frestas no abajur fazendo com que ele gire.

4) Diga com as suas palavras a Segunda Lei da Termodinâmica.

Nenhuma máquina térmica é capaz de transformar calor integralmente em trabalho.

5) Enuncie o ciclo completo de sua máquina.

Ar quente da lâmpada sobe, sai do abajur o ar frio do meio ambiente entra no abajur, ficando também quente devido a presença da lâmpada e assim o ciclo recomeça.

3.2.4 Mini roda à vapor

Autores – grupo D - roteiro 4

Teoria: A teoria deve ser explicada pelo aluno e já foi descrita item 2.4 –

Nesta máquina encontramos o fenômeno do ricochete.

Quando ocorre conservação de quantidade de movimento $\vec{Q}_{final} = \vec{Q}_{inicial}$. Quando acontece o ricochete, o objeto que ia num sentido inverte este sentido. O outro objeto que estava parado recebe uma quantidade de movimento igual ao dobro da quantidade inicial do objeto que estava em movimento.

$$M_1v_1 + M_2v_2 = M_1v'_1 + M_2v'_2$$

Como $v_2=0$ e $v'_1=-v_1$ temos $M_1v_1 + 0 = M_2v'_2 + (-M_1v_1)$

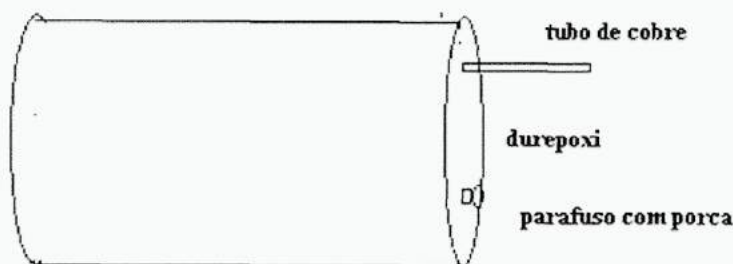
$$M_2v'_2 = 2M_1v_1$$

Material

-Duas Latas de refrigerante de 350 ml; -arame; -parafuso com porca; suporte de madeira; durepoxi;-lata de sardinha; - tubo de cobre fino; -água; -álcool - giz; -fósforo ou isqueiro;

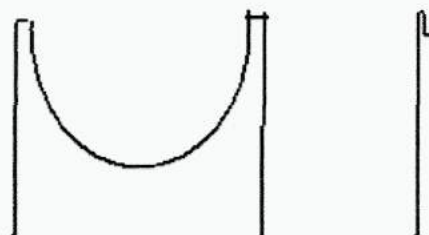
Montagem

-Faça dois furos na parte superior da lata de refrigerante, um do tamanho da porca e outro menor, que pode ser feito com uma agulha;

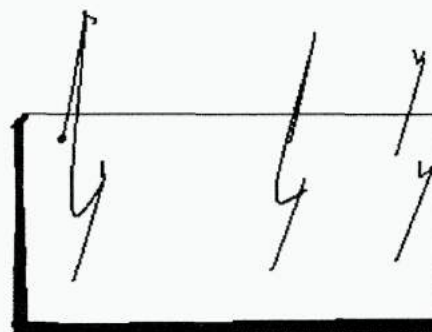


Prenda o tubo de cobre e a porca com uma camada de durepoxi para cobrir toda a tampa; Deixe secar. Através do parafuso encha 1/3 da lata com água;

Faça dois suportes de cada tipo . O primeiro vai servir de suporte para a lata, portanto sua altura lateral deve ter 12 cm de modo que a lata de sardinha fique embaixo da lata.

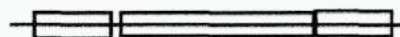


O outro suporte vai conter a roda giratória.Sua altura deve ser calculada de acordo com a saída do vapor e as pás da roda;



Prenda os suportes na base de madeira, fazendo furos com a furadeira para encaixar os arames.

Corte um pedaço de arame que seja dum pouco maior que a distância entre os dois suportes da roda. Coloque três pedaços cortados de caneta esférogáfica. Na parte do centro coloque uma



rolha furada bem encaixada ;

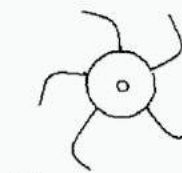


De uma outra lata corte 5 paletas no formato indicado ao lado para formar as pás da roda.



Veja o diâmetro da rola e divida por 5. Introduza e cole as 5 pás-

coloque a lata de sardinha com giz moído e álcool embaixo da lata de refrigerante;



-acenda o fogo e aguarde o fenômeno acontecer.

Explicação:

A fonte quente é a vela embaixo da lata que vai aquecer o ar dentro da lata, a fonte fria é o meio ambiente e o trabalho que é realizado é o giro do cata-vento. Quando o vapor de ar sai em direção ao cata-vento esse é submetido a uma força, que vai ser maior quanto maior for o impulso resultante do sistema. O impulso é igual a variação da quantidade de movimento. Como as pás tem o formato arredondado acontece o ricochete aumentando a transferência de quantidade de movimento.

Perguntas:

1) Identifique a fonte quente e a fonte fria.

Fonte quente: vapor que sai de dentro da lata

Fonte fria: o meio ambiente

2) Qual o trabalho realizado?

Giro do cata-vento

3) Como a máquina funciona?

Sai o vapor de dentro da lata com pressão suficiente para girar o cata-vento..

4) Diga com as suas palavras a Segunda Lei da Termodinâmica.

Nenhuma máquina térmica é capaz de transformar calor integralmente em trabalho.

5) Enuncie o ciclo completo de sua máquina.

A chama faz com que a água dentro da lata entre em ebulição o vapor então sai pelo furo na parte superior da lata batendo no cata-vento e provocando o seu giro, como a chama continua acesa o ar continua saindo da lata e o cata-vento continua girando.

CAPITULO IV – CONSIDERAÇÕES FINAIS

A idéia dessa monografia é mostrar que um conceito que tem um difícil entendimento, como a Segunda Lei da Termodinâmica, pode ter seu ensinamento facilitado por meio de experimentos simples, feitos pelos próprios alunos. Esse ensinamento faz com que o aluno atinja um estágio maior no seu conhecimento atingindo um determinado potencial, ultrapassando assim a zona proximal defendida por Vygotsky. O experimento principal descrito nesse texto é o Motor de Stirling, realizado pelo professor em sala. Os alunos terão a oportunidade de ver um motor funcionando, o professor poderá discutir todos os detalhes da construção, onde o experimento pode dar errado. Os alunos poderão indagar sobre o assunto, se sentirem desafiados a compreender e construir uma máquina térmica, dessa forma estará estimulando a curiosidade do aluno. Como parte da avaliação formativa os alunos receberam um roteiro com a descrição e foto dos experimentos e deverão fazer uma pesquisa sobre a teoria e a aplicabilidade da segunda lei da termodinâmica e indicar as dificuldades de execução do projeto. Os alunos terão como tarefa apresentar suas máquinas para a turma. Assim o professor terá a oportunidade de verificar a aprendizagem dos alunos, intervir caso seja necessário e reforçar os conceitos. Defendemos que o método tradicional, onde o principal instrumento do professor é o giz e o quadro negro se torna cada vez mais obsoleto e ultrapassado.

BIBLIOGRAFIA

Alvarenga, Beatriz. Curso de Física Volume 2. São Paulo: Editora Scipione, 2000.

Calçada, Sergio. Física Clássica. São Paulo: Atual Editora, 1998.

Cindra, José. A evolução das idéias relacionados aos fenômenos térmicos e elétricos: algumas similaridades., disponível no site <http://pt.scribd.com/doc/3592494/A-evolucao-das-ideias-relacionadas-aos-fenomenos-termicos-e-eletricos-algumas-similaridadesem> Acesso em: 20 de fevereiro de 2011

Gaspar, Alberto. Física Volume 2. São Paulo: Editora Ática, 2003.

PCN Brasil. PCN+ - Ensino Médio, Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (MEC-SEMTEC, 2002), disponível no site <http://www.sbfisica.org.br/ensino/pcn.shtml>. Acesso em: 15 de dezembro de 2010

Ramalho, Francisco. Os fundamentos da Física Volume 2. São Paulo: Editora Moderna, 2007

Souza, Sandra. Avaliação do rendimento escolar. São Paulo: Papyrus Editora, 1997.

Villas, Newton. Tópicos de Física Volume 2. São Paulo: Editora Saraiva, 2007.

Vygotsky, tradução: Camargo, Jeferson. Pensamento e Linguagem. São Paulo: Editora Martins Fontes, 1989.