

Gil Max Pereira Ferreira

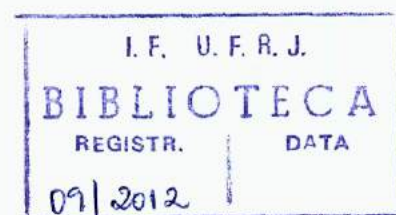
Proposta de um modelo físico facilitador para  
contextualização da Termodinâmica

Orientador:  
Prof. Vitorvani Soares

Instituto de Física  
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Rio de Janeiro – RJ

Novembro / 2012



F345p Ferreira, Gil Max Pereira

Proposta de um modelo físico facilitador para contextualização da Termodinâmica / Gil Max Pereira Ferreira.

— Rio de Janeiro: UFRJ/IF, 2012.

52 f.; il.; 21,9 x 29,7 cm.

Orientador: Vitorvani Soares.

Monografia de final de curso. Universidade Federal do Rio de Janeiro / Instituto de Física / 2012.

Referências bibliográficas: f. 29.

1. Ensino de Física. 2. Termodinâmica. 3. Ciclos termodinâmicos. 4. Simulação computacional.

I. Soares, Vitorvani. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro / Instituto de Física. Curso de Licenciatura em Física. III. Proposta de um modelo físico facilitador para contextualização da Termodinâmica

A quem possa interessar.

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Vitorvani Soares (Instituto de Física/UFRJ) pelas orientações na fase final deste projeto.

Aos professores Alexandre Carlos Tort, Francisco Artu Braun Chaves e Marcos Binderly Gaspar pelas numerosas sugestões fase final deste projeto.

A professora Wilma Machado Soares Santos pelas numerosas sugestões na fase inicial deste projeto.

A minha família pelo apoio.

## RESUMO

A história da Termodinâmica nos mostra que a tecnologia em inúmeras vezes se antecipou à formulação acadêmica e por causa disso é uma ciência, didaticamente, difícil de expor.

Os professores de Física do Ensino Médio tem muita dificuldade em abordar a Termodinâmica na sala de aula, uma vez que:

a) existem poucos kits demonstrativos que possam ser levados para a sala de aula, com o objetivo de facilitar a visualização do aluno da ocorrência dos fenômenos físicos,

b) alguns livros didáticos trazem o assunto de forma muito resumida e totalmente modelizado, criando uma distância entre a Física e o aluno. Este distanciamento faz com que o aluno não perceba a relação entre a Física e o mundo em que ele vive.

c) as questões para consolidar o aprendizado muitas vezes vêm com um desenho esquemático para facilitar a visualização, porém, na falta deste, esta fica a cargo da imaginação do aluno.

Sendo assim, alguns professores diante destes obstáculos didáticos ensinam somente o básico e fazem com que os alunos guardem as fórmulas. Os alunos por sua vez memorizam-nas, pois sabem que vão precisar delas nas provas e nos vestibulares.

Com o intuito de tornar as aulas mais agradáveis e interativas para o aluno, cabe aos professores de Física, criarem novas metodologias de ensino. As metodologias desenvolvidas devem despertar nos alunos o interesse pela Ciência em geral.

Esta monografia traz uma proposta de aprendizagem que auxilia o professor a abordar as transformações gasosas de um gás ideal e tem por objetivo minimizar as dificuldades dos alunos de interpretarem situações físicas e relacioná-las com a linguagem matemática.

Para facilitar a visualização das ocorrências dos fenômenos físicos durante as transformações gasosas de um gás ideal, foi desenvolvido no programa MODELLUS 2.5 um modelo Físico Facilitador (simulações), composto pelas transformações termodinâmicas: isobárica, isovolumétrica, isotérmica, adiabática e cíclica, esta representada pelo ciclo de Stirling.

O modelo Físico Facilitador é uma ferramenta, recurso extraclasse, que o professor de Física possui para fazer nascer o conhecimento que os alunos precisam para resolverem alguns problemas e atende às sugestões dos Parâmetros Curriculares Nacionais para o ensino de Física.

Vale ressaltar que apesar dos alunos do Ensino Médio não possuírem conhecimentos sobre o cálculo diferencial, com o programa Modellus é viável o uso das equações diferenciais, pois ele irá solucioná-las como taxas de variação.

As equações diferenciais desenvolvidas nesta monografia foram utilizadas na criação das simulações. Cabendo aos alunos apenas às simulações e as interações com elas através do computador e dos roteiros experimentais.



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>9</b>
<b>2 APRESENTAÇÃO DO PROGRAMA MODELLUS 2.5</b>	<b>11</b>
<b>3 UTILIZAÇÃO DO MODELO</b>	<b>14</b>
<b>4 TRABALHO REALIZADO POR UM GÁS APRISIONADO</b>	<b>15</b>
<b>5 PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA</b>	<b>17</b>
<b>6 LEI DOS GASES PERFEITOS</b>	<b>19</b>
<b>7 TRANSFORMAÇÕES GASOSAS</b>	<b>21</b>
7.1 Transformação Isobárica.	21
7.2 Transformação Isocórica ou Isovolumétrica.	21
7.3 Transformação isotérmica.	22
7.4 Transformação adiabática.	23
7.5 Transformação Cíclica	24
<b>8 RENDIMENTO DO CICLO DE STIRLING</b>	<b>25</b>
8.1 Cálculo do trabalho nas diferentes etapas.	26
8.2 Cálculo do calor nas diferentes etapas.	27
<b>9 CONCLUSÃO</b>	<b>28</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>29</b>
<b>ANEXO A</b>	<b>30</b>
<b>ANEXO B</b>	<b>36</b>
<b>ANEXO C</b>	<b>40</b>
<b>ANEXO D</b>	<b>45</b>

<b>ANEXO E</b>	<b>48</b>
<b>ANEXO F</b>	<b>49</b>
<b>ANEXO G</b>	<b>50</b>
<b>ANEXO H</b>	<b>51</b>
<b>ANEXO I</b>	<b>52</b>



## 1 INTRODUÇÃO

O modelo físico desenvolvido é uma ferramenta de que o professor de Física poderá fazer uso, para facilitar a conceitualização da Termodinâmica. Com ele o aluno irá alterar as variáveis físicas e ver através das simulações como se comportam as demais, ocorrendo a interação entre o aluno e o modelo.

O modelo atende às orientações da LDB, Leis de Diretrizes e Bases [1] da Educação, 1996 - e as sugestões dos PCNs, Parâmetros Curriculares Nacionais para o ensino de Física [2,3,4], tais como:

### I - Representação e Comunicação

- Compreender enunciados que envolvem códigos e símbolos físicos.
- Interpretar e utilizar diferentes formas de representação - tabelas, gráficos, expressões.
- Identificar, analisar e aplicar conhecimentos sobre valores de variáveis, representados em gráficos ou nas tabelas, realizando previsão de comportamento futuro.
- Interagir com o Modelo.

### II - Investigação e Compreensão

- Desenvolver a capacidade de questionar processos naturais e tecnológicos identificando regularidades, apresentando interpretações e prevendo evoluções.
- Formular hipótese e prever resultados.

### III - Contextualização Sociocultural

- Reconhecer o sentido histórico da Ciência e da Tecnologia, percebendo seu papel na vida humana em diferentes épocas e na capacidade humana de transformar o meio.
- Associar conhecimentos e métodos científicos com a tecnologia do sistema de produção e dos serviços.

O modelo Físico Facilitador é composto por simulações das transformações gasosas do gás ideal e vem acompanhado de roteiros experimentais, anexos A, B, C e D, que fundamentam as relações matemáticas entre volume, temperatura e pressão de um gás, uma vez que estas relações não são fornecidas aos alunos. O aluno pode ainda verificar a relação entre o trabalho (realizado ou sofrido) de um gás, a quantidade de

calor trocada e a variação da energia interna, ou seja, a primeira lei da Termodinâmica, que é baseada no princípio da Conservação de Energia.

A escolha do ciclo de Stirling [5] para representar a transformação cíclica deu-se pelo seu valor histórico e a contribuição para o desenvolvimento de tantos outros ciclos, como: Ciclo de Carnot, Ciclo de Rankine, Ciclo Otto, Ciclo Diesel.

## 2 APRESENTAÇÃO DO PROGRAMA MODELLUS 2.5

O programa MODELLUS 2,5 é de fácil utilização e permite que o aluno interaja com ele. Entre outras vantagens, o Modellus é um software gratuito.

As principais janelas do programa são:

**Modelo** – é nesta janela em que são colocadas as fórmulas de forma a obter as variáveis que se deseja estudar. Neste ambiente pode-se fazer uso de recursos de cálculos que vão além de operações tais como multiplicação, exponenciação, subtração, etc. Isto é extremamente útil, pois permite visualizar situações físicas que exigem um cálculo mais avançado, mesmo que não saibamos como efetuá-los manualmente.

$w = \text{last } w + p \times (V - \text{last } V)$   
 $Q = \text{last } Q + 1.5 \times n \times R \times (T - \text{last } T) + p \times (V - \text{last } V)$   
 $p = n \times R \times \frac{T}{V}$   
 $U = Q - w$   

$$Ren = R \times \frac{T1 \times \ln\left(\frac{V2}{V1}\right) + T2 \times \ln\left(\frac{V1}{V2}\right)}{Cv \times (T1 - T2) + R \times T1 \times \ln\left(\frac{V2}{V1}\right)} \times 100$$

Figura 01 – Janela de trabalho “Modelo”.

**Gráficos** – esta janela permite que o aluno selecione as coordenadas para a elaboração do gráfico pelo MODELLUS.

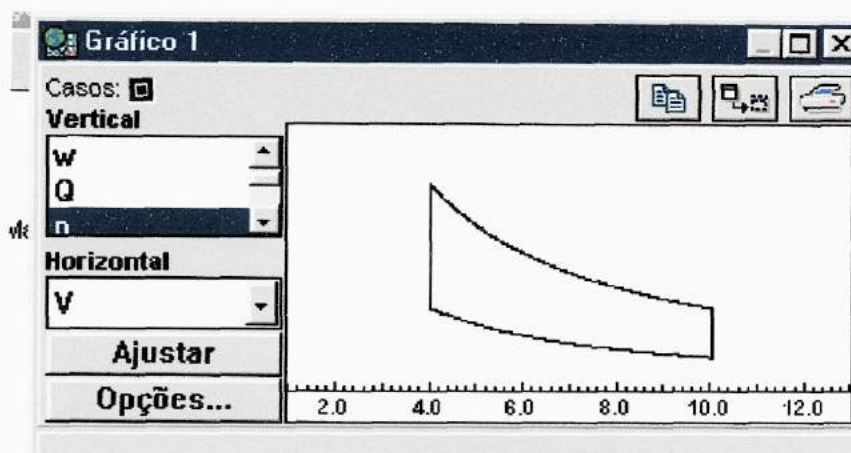


Figura 02 - Janela de trabalho "Gráfico".

**Tabela** – durante ou após a execução do Modelo, uma tabela apresenta os valores passo a passo das variáveis que queremos observar.

	w	Q	p
0.0	0.0	0.0	5.0
0.1	0.1	0.1	4.9
0.2	0.2	0.2	4.9
0.3	0.3	0.3	4.8
0.4	0.4	0.4	4.8
0.5	0.5	0.5	4.7

Figura 03 – Janela de trabalho "Tabela".



**Animação** - nesta janela é criada uma animação que através da visualização, facilita o entendimento do fenômeno ocorrido.

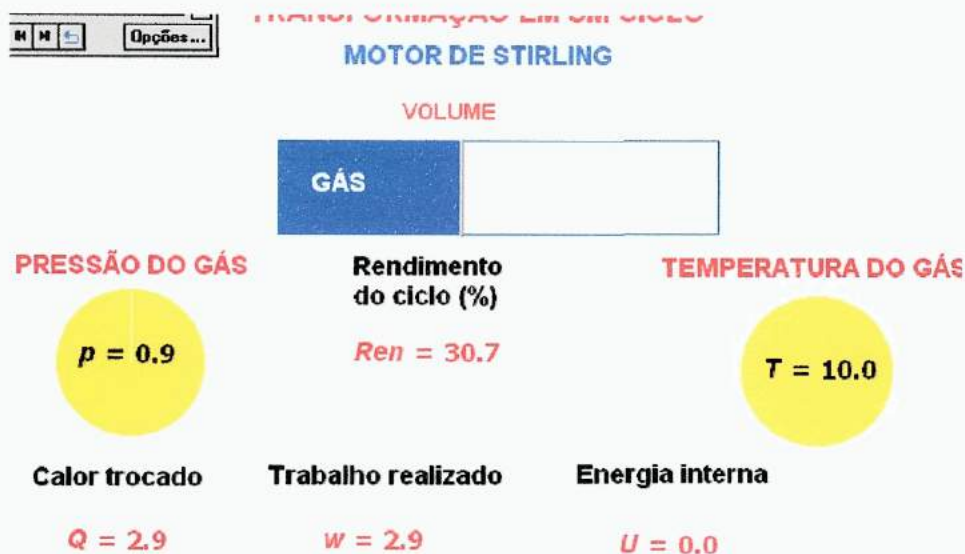


Figura 04 – Janela de trabalho “Animação”.

**Condições iniciais** – o modelo pode ser reconstruído, aceitando adaptações tanto pelos alunos como pelos professores, mudando as condições iniciais e finais.

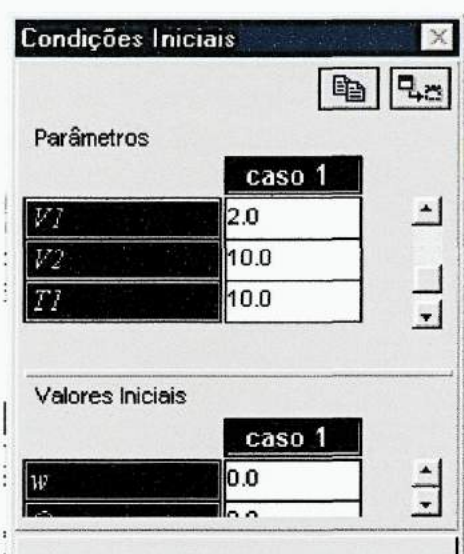


Figura 05 – Janela de trabalho “Condições Iniciais”.

### 3 UTILIZAÇÃO DO MODELO

Para utilizar o Modelo Físico Facilitador é preciso que a escola disponha de um laboratório de informática ou um projetor multimídia.

Nestas atividades o aluno é levado, através das simulações, a “descobrir” a relação entre as grandezas físicas, pressão, volume e temperatura, fundamentais para o estudo dos gases.

O aluno poderá alterar uma ou mais variáveis, pressão, volume e temperatura, através da janela condições iniciais e ver como se comportam as demais, ele deixa de ser um simples espectador e passa a interagir com o programa.

As atividades se baseiam em simulações, o aluno recebe um roteiro experimental ([6], [7], [8]), onde ele anotará os dados obtidos na simulação e em seguida responderá uma série de perguntas que o direcionarão a “descoberta” da lei que rege a transformação termodinâmica e a formulação da primeira lei da Termodinâmica.

As interfaces das simulações nas quais os alunos terão o contato estão nos anexos E, F, G, H e I.

#### 4 TRABALHO REALIZADO POR UM GÁS APRISIONADO

Quando há um deslocamento da fronteira sob a ação de uma força, diz-se que um trabalho  $W$  foi realizado, por outro lado se o sistema como um todo exerce uma força sobre sua vizinhança e desta forma ocorre um deslocamento, diz-se que o sistema realizou um trabalho [9]. O trabalho é medido pelo produto entre a força aplicada e a componente do deslocamento paralela à força.

Considere um recipiente cilíndrico sobre uma fonte térmica contendo uma certa massa de gás em equilíbrio térmico e provido de um êmbolo que exerce sobre o gás uma pressão  $P$  [10]. A parede do cilindro e o êmbolo são adiabáticos, isto é, são impermeáveis a troca de calor, desta forma o calor entra ou sai do sistema através de sua base. O êmbolo que se encontra na posição  $x$  pode deslizar livremente, uma vez que o atrito entre ele e a parede do cilindro é desprezível.

O gás exerce sobre a base inferior do êmbolo de área  $A$  uma força  $F$  ( $F = P A$ ) que é equilibrada pelo peso do mesmo e pela força exercida pela pressão atmosférica.

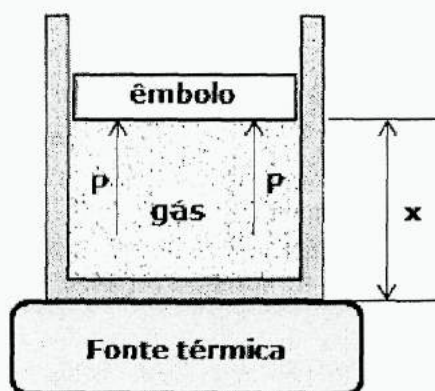


Figura 06 - Conjunto cilindro êmbolo.

O gás sofre uma expansão tendo um deslocamento infinitesimal  $dx$  do êmbolo. O trabalho realizado pelo gás sobre sua vizinhança é dado pela expressão:

$d'W = Fdx = PA dx \Rightarrow d'W = PdV$ , onde  $dV$  é a variação infinitesimal do volume do gás.



Para calcular o trabalho realizado pelo gás em um deslocamento finito, deve-se saber como se comporta a pressão  $P$  durante o deslocamento, que muitas vezes não é constante e calcular a integral:

$$W_{i \rightarrow f} = \int_{V_i}^{V_f} d'W = \int_{V_i}^{V_f} P dV$$

Vale ressaltar para que a transformação seja reversível a expansão deve ser lentamente, de forma quase estática e que não deve ter atrito entre o êmbolo e as paredes do recipiente.

Embora no exemplo tenha sido citado um cilindro a expressão  $d'W = F dx = PA dx \Rightarrow d'W = P dV$  é válida para recipiente de qualquer forma.

## 5 PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA

A integral  $\int_{V_i}^{V_f} P dV$  que representa o trabalho, pode ser calculada através da área sob a curva do gráfico pressão versus volume [9,10,11].

O diagrama a seguir mostra que existem processos diferentes para levar um gás do estado inicial 1 ao estado final 3.

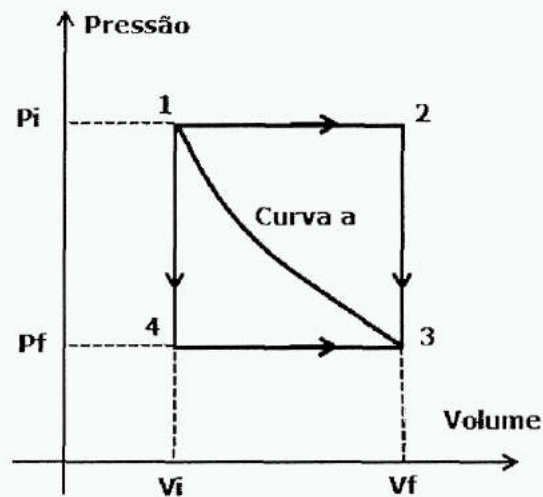


Figura 07 - O trabalho depende do caminho pelo qual se vai do estado 1 ao estado 3.

Por exemplo, o gás sofre uma expansão isobárica, em que a pressão permanece constante, de 1 para 2 e em seguida é levado ao estado final 3 com volume constante. O trabalho realizado durante a compressão é igual à área abaixo da curva 1→2. Outro caminho a ser tomado é 1→4→3, ou seja, o gás é levado do estado 1 até o estado 4 com volume constante e depois de 4 até 3 por meio de uma expansão isobárica. Neste caso o trabalho é fornecido pela área sob a curva 4→3. A curva a, 1→3, mostra outro processo, possível, no qual o trabalho realizado pelo gás é diferente dos outros dois.

Conclui-se que o trabalho  $W_{i \rightarrow f}$  depende do caminho pelo qual se vai do estado inicial 1 ao estado final 3. O calor transferido ao gás depende de como é aquecido. Por exemplo, pode-se aquecê-lo à pressão constante até atingir a temperatura final

T<sub>3</sub> e depois variar a pressão mantendo a temperatura constante. Pode-se também, fazer o inverso, reduzir a pressão do sistema até P<sub>f</sub>, mantendo a temperatura constante e depois aquecê-lo até atingir a temperatura T<sub>f</sub>. Existem outras maneiras, mas cada uma delas leva a resultados diferentes para o calor transferido. Assim como o trabalho, o calor também depende do caminho a ser tomado pelo sistema, mas nenhum deles pode ser conservado separadamente.

No diagrama da figura 07, podemos observar que o gás pode ser levado do estado inicial 1 ao estado final 3, pelos caminhos 1→2→3, 1→3 e 1→4→3. Outros caminhos também existem. Calculando a diferença (Q - W) entre o calor absorvido Q pelo gás e o trabalho W realizado por ele, em cada caminho, verifica-se que é uma constante, embora separadamente Q e W tenham valores diferentes para cada caminho tomado.

Esta constante que não depende do caminho e sim das condições iniciais e finais recebe o nome de variação de energia interna ΔU.

A primeira lei da Termodinâmica pode ser escrita na forma infinitesimal:

$$dU = d'Q - d'W$$

Resolvendo a equação diferencial tem-se:

$$U_f - U_i = \Delta U = Q - W$$

Onde, dU é a diferença entre as duas diferenciais inexatas (não existe uma função de estado).

## 6 LEI DOS GASES PERFEITOS

Em 1787, o físico francês Jacques Alexandre César Charles (1746-1823) praticante do balonismo, [5] observou que, a pressão constante, o volume  $V$  de um gás é diretamente proporcional à temperatura  $T$  absoluta, onde,  $V/T$  é uma constante. Esta relação ficou conhecida como a lei de Charles. A figura 08 mostra a relação entre o volume e a temperatura.

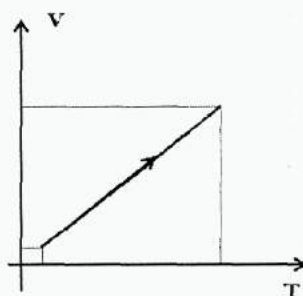


Figura 08 - Lei de Charles.

O físico inglês Robert Boyle (1627-1691), [5] publicou em 1662, uma lei relativa à elasticidade do ar, relacionando sua pressão  $P$  com seu volume  $V$ , após várias experiências. Segundo Boyle, o volume de uma dada quantidade de gás, a temperatura constante, varia inversamente com a pressão,  $PV$  é uma constante. Em 1676, Edmé Mariotte (1620-1684), [5] físico francês, descobriu de forma independente a lei descrita por Robert Boyle. O gráfico da figura 09 mostra a relação entre a pressão e o volume, mantendo a temperatura constante.

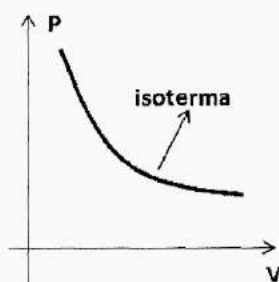


Figura 09 - Lei de Boyle- Mariotte.



O diagrama da figura 10 descreve como certa massa  $m$  de gás é levada do estado inicial  $(P_1, V_1, T_1)$  ao estado final  $(P_3, V_3, T_3)$ .

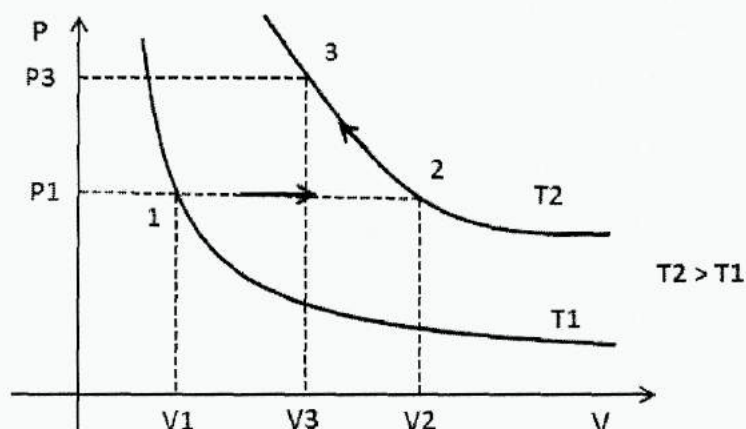


Figura 10 - O gás é levado do estado inicial 1 ao estado 3, passando pelo estado 2.

A passagem de 1 para 2 ocorre à pressão constante (processo isobárico), aplicando-se a lei de Charles obtém-se,  $V_1/T_1 = K$  e  $V_2/T_2 = K$ , daí conclui-se que  $V_1/T_1 = V_2/T_2$ , para  $P_1$  é igual a  $P_2$ .

A passagem de 2 para 3 ocorre à temperatura constante (isotérmica), aplicando-se a lei de Boyle- Mariotte tem-se,  $P_2 V_2 = P_3 V_3$ , sendo  $T_2$  igual a  $T_3$ .

Da lei de Charles isolando  $V_2$ :

$$V_2 = \frac{V_1 T_2}{T_1} \quad (1)$$

Substituindo a expressão (1) na lei de Boyle e trocado  $P_2$  por  $P_1$  e  $T_2$  por  $T_3$ , obtém-se a lei geral dos gases perfeitos.

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_3 V_3}{T_3}$$

Formulação geral da lei:

$$\frac{P_0 V_0}{T_0} = \frac{P V}{T} = \text{constante} \quad (2)$$

Onde  $(P_0, V_0, T_0)$  e  $(P, V, T)$  são as condições inicial e final, respectivamente.

## 7 TRANSFORMAÇÕES GASOSAS

### 7.1 Transformação Isobárica.<sup>1</sup>

É denominada a toda transformação em que a pressão do sistema permanece constante.

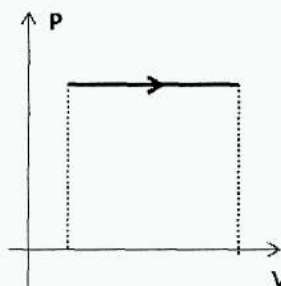


Figura 11 - Transformação isobárica.

Nesta transformação o trabalho é calculado pela expressão:

$$W = \int_{V_i}^{V_f} P dV = P(V_f - V_i) \quad (3)$$

e a primeira lei da Termodinâmica por:

$$\Delta U = U_f - U_i = Q - P(V_f - V_i) . \quad (4)$$

### 7.2 Transformação Isocórica<sup>2</sup> ou Isovolumétrica.

É a transformação do sistema cujo volume se mantém constante. Em uma transformação isovolumétrica, observa-se que o gás não realiza trabalho  $W = 0$ , porque não há variação de volume  $\Delta V$ , aplicando esse resultado à primeira lei da Termodinâmica.

$$\Delta U = U_f - U_i = Q \quad (5)$$

<sup>1</sup> Do grego: ISOS = igual e BARE = pressão.

<sup>2</sup> Do grego: ISOS = igual e CORA = volume

Pelo princípio da Conservação de Energia, conclui-se que todo calor transferido ao gás, durante uma transformação a volume constante é utilizado na variação da energia interna.

### 7.3 Transformação isotérmica.<sup>3</sup>

É caracterizada pela constância da temperatura do sistema durante o processo.

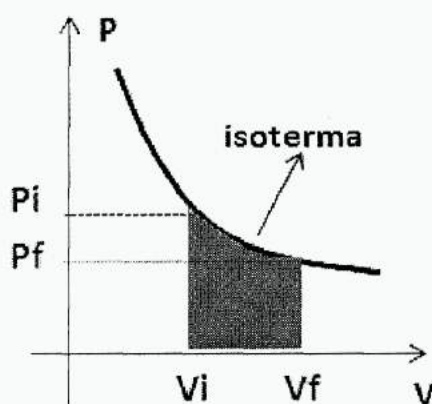


Figura 12 - Trabalho realizado por um gás.

O trabalho é a área sombreada que o Modellus é capaz de calcular.

Da equação de estados dos gases ideais ( $PV = nRT$ ) tem-se  $P = \frac{nRT}{V}$

O trabalho na expansão isotérmica reversível de um gás ideal é dado por:

$$W_{i \rightarrow f} = \int_{V_i}^{V_f} P dV = \int_{V_i}^{V_f} \frac{nRT}{V} dV = nRT \int_{V_i}^{V_f} \frac{dV}{V}$$

Resolvendo a integral tem-se:

$$W_{i \rightarrow f} = nRT \ln \left( \frac{V_f}{V_i} \right). \quad (6)$$

<sup>3</sup> Do grego: ISOS = igual e TERMO = temperatura.



Em uma transformação Isotérmica, observa-se que não ocorre variação da energia interna do gás,  $\Delta U = 0$ , uma vez que esta depende exclusivamente da variação da temperatura,  $\Delta T$ , portanto a primeira lei da Termodinâmica pode ser escrita como:

$$Q = W_{i \rightarrow f} = nRT \ln \left( \frac{V_f}{V_i} \right). \quad (7)$$

#### 7.4 Transformação adiabática.

A figura 13 mostra o gráfico pressão versus volume de uma transformação adiabática, construído pelo Modellus. Neste processo não ocorre troca de calor entre o sistema e sua vizinhança. Então,  $Q = 0$  e a primeira lei da Termodinâmica pode ser escrita da seguinte forma:

$$\Delta U = U_f - U_i = - W_{i \rightarrow f}. \quad (8)$$

#### PRESSÃO X VOLUME

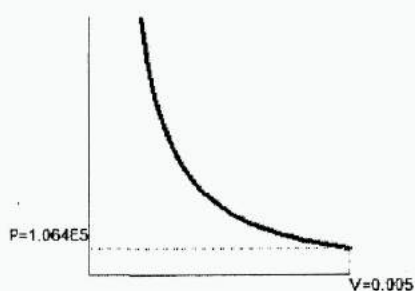


Figura 13 - Apresentação da transformação adiabática.

### 7.5 Transformação Cíclica

A figura 14 mostra o ciclo de Stirling construído no Modellus.

No ciclo a temperatura final coincide com a temperatura inicial ( $T_f = T_i$ ), conseqüentemente não há variação de temperatura, isto é,  $\Delta T = 0$ , portanto a variação da energia interna do gás é nula,  $\Delta U = 0$ .

A primeira lei da Termodinâmica é escrita como:

$$W_{i \rightarrow f} = Q \quad (9)$$



Figura 14 - Ciclo composto por duas isotérmicas e duas isocóricas.

## 8 RENDIMENTO DO CICLO DE STIRLING

Em 1816, o reverendo escocês Robert Stirling (1790-1878) [5] projetou uma máquina a ar quente que era capaz de transformar em trabalho parte da energia liberada pela queima de combustível. Este "Economizador de Calor" foi batizado como Motor de Stirling passando a ser uma alternativa a geração de energia a vapor

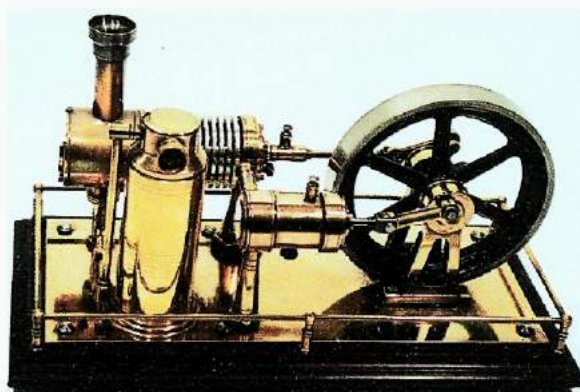


Figura 16 - Motor de Stirling [12].

No ciclo de Stirling [11], o fluido sofre uma compressão isotérmica do estado inicial 1 até o estado 2; em seguida sofre um aquecimento isovolumétrico até o estado 3; depois uma expansão isotérmica até o estado 4 e finalmente retorna ao estado inicial 1 com um resfriamento a volume constante.

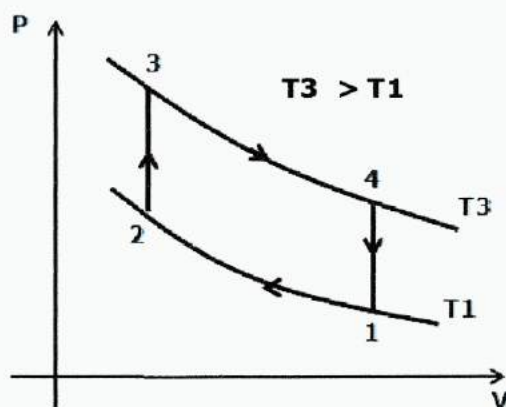


Figura 17 - Representação do ciclo de Stirling.

### 8.1 Cálculo do trabalho nas diferentes etapas.

Considerando um mol de gás comportando-se como um gás ideal, o trabalho  $W$  nas etapas 2,3 e 4,1 são nulos, pois não ocorre variação de volume.

Na etapa 1,2 o trabalho é calculado pela expressão:

$$W_{1 \rightarrow 2} = RT_1 \ln \left( \frac{V_2}{V_1} \right). \quad (10)$$

Na etapa 3,4, será:

$$W_{3 \rightarrow 4} = RT_3 \ln \left( \frac{V_4}{V_3} \right). \quad (11)$$

Como  $V_3 = V_2$  e  $V_4 = V_1$  reescrevendo a expressão (11) temos:

$$W_{3 \rightarrow 4} = RT_3 \ln \left( \frac{V_1}{V_2} \right). \quad (12)$$

O trabalho total no ciclo é dado pela soma dos trabalhos em cada etapa

$$W_{TOTAL} = W_{1 \rightarrow 2} + W_{2 \rightarrow 3} + W_{3 \rightarrow 4} + W_{4 \rightarrow 1} = W_{1 \rightarrow 2} + W_{3 \rightarrow 4}$$

$$W_{TOTAL} = RT_1 \ln \left( \frac{V_2}{V_1} \right) + RT_3 \ln \left( \frac{V_1}{V_2} \right).$$

Mas,

$$\ln \left( \frac{V_2}{V_1} \right) = - \ln \left( \frac{V_1}{V_2} \right).$$

Portanto:

$$W_{TOTAL} = R(T_3 - T_1) \ln \left( \frac{V_1}{V_2} \right) \quad (13)$$

## 8.2 Cálculo do calor nas diferentes etapas.

O fluido recebe calor nas etapas 2,3 e 3,4. O rendimento  $\eta$  é dado pelo quociente entre o trabalho realizado e a quantidade de calor recebida.

$$\eta = \frac{W_{\text{TOTAL}}}{Q_{2 \rightarrow 3} + Q_{3 \rightarrow 4}} \quad (14)$$

Na etapa 2,3, o trabalho é nulo, de acordo com a Primeira Lei da Termodinâmica a variação da energia interna é igual ao calor recebido,  $\Delta U = Q_v$ :

$$Q_{2 \rightarrow 3} = c_v (T_3 - T_1) \quad (15)$$

Na etapa 3,4 ocorre uma transformação a temperatura constante, neste caso não há variação da energia interna, pois a mesma só depende da temperatura.

$Q = \Delta U + W$  (Primeira lei da Termodinâmica), para  $\Delta U = 0$ ,  $Q = W$ :

$$Q_{3 \rightarrow 4} = W_{3 \rightarrow 4} = RT_3 \ln \left( \frac{V_1}{V_2} \right) \quad (16)$$

Substituindo as equações (13), (15) e (16) em (14), tem-se:

$$\eta = \frac{R(T_3 - T_1) \ln \left( \frac{V_1}{V_2} \right)}{c_v (T_3 - T_1) + RT_3 \ln \left( \frac{V_1}{V_2} \right)} \quad (17)$$

A equação deduzida (17) fornece o rendimento  $\eta$  do ciclo de Stirling.

As equações demonstradas, de 1 a 17, quando escritas no Modélus irão fornecer as transformações Termodinâmicas de um gás ideal e suas respectivas animações.



## 9 CONCLUSÃO

Os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM) sugerem que a disciplina Física seja ensinada de forma que o aluno possa perceber o significado do conteúdo, no momento em que lhe é ensinado. Para isso, torna-se imprescindível considerar o mundo em que o aluno vive, assim como problemas e as indagações que aguçam sua curiosidade. É neste contexto que este material pedagógico foi desenvolvido.

O programa apresentado permite acompanhar a evolução de diferentes processos termodinâmicos, em geral, e o ciclo de Stirling, em particular. Através da análise dos dados obtidos nestas simulações o aluno pode desenvolver a capacidade interpretar tabelas, gráficos e elaborar expressões matemáticas que descrevam os fenômenos físicos.

Por fim, esperamos que este trabalho ofereça condições ao aluno para diferenciar percepções qualitativas e quantitativas, confrontar dados, construir seus conceitos, verificar e propor hipóteses explicativas, fazer previsões sobre experiências, mesmo que simuladas.

## REFERÊNCIAS

- [1] BRASIL. Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB), Lei nº 9.394, 20 de dezembro de 1996.
- [2] BRASIL. Parâmetros Curriculares Nacionais. Brasília: MEC/SEF, 1998.
- [3] BRASIL. Parâmetros Curriculares Nacionais – Ensino Médio. Brasília: SEMTEC/MEC, 2000.
- [4] BRASIL. PCN+Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC/Semtec, 2006.
- [5] Millar, D. et al. The Cambridge Dictionary of Scientists. Cambridge University Press, 1996. Second edition. 2002.
- [6] GREF - Grupo de Reelaboração do Ensino de Física. Física 2, Editora da Universidade de São Paulo, 2002.
- [7] Fonte Boa, Marcelo C. e Guimarães, Luiz Alberto. Física – Eletricidade e Ondas, Editora Futura, 2001
- [8] GASPAR, Alberto - Física 2, editora Ática, 1ª edição, 2000, São Paulo, Brasil.
- [9] NUSSENZVEIG, Herch Moysés. Curso de Física Básica 2 - Mecânica. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1994.
- [10] HALLIDAY, David e RESNICK, Robert. Física 2, 4ª edição, LTC, São Paulo , Brasil.1984.
- [11] LUIZ, Adir Moisés, Problemas de Física II, editora Guanabara Dois, Rio de Janeiro, Brasil, 1980.
- [12] <http://www.gaskraftmaschine.de/wb/pages/modelluebersicht/stirling-motor-alt.php>. Acessado em 27 de abril de 2012



## ANEXO A

TRANSFORMAÇÃO ISOBÁRICA DE UM GÁS IDEAL  
 VERIFICAÇÃO DA LEI DE CHARLES E DO  
 PRIMEIRO PRINCÍPIO DA TERMODINÂMICA

## ROTEIRO EXPERIMENTAL

I – Atribua as seguintes condições iniciais para o gás. Clique em “JANELA” “CONDIÇÕES INICIAIS”

Pressão inicial – P1	3,112E5 N/m <sup>2</sup>
Número de mol – n	1
Volume inicial – V1	0,008 m <sup>3</sup>

Sendo: V1; P1 e T1 as condições iniciais de volume, pressão e temperatura do gás;  
 V2; P2 e T1 as condições finais e,

Q ⇒ quantidade de calor trocado pelo gás.

W ⇒ o trabalho realizado ou sofrido pelo gás.

$\Delta U$  ⇒ variação da energia interna do gás.

II – Complete a tabela1 atribuindo valores para o volume final do gás, V2.

Observação: o MODELLUS não reconhece vírgula, por exemplo, no número 2,34 devemos trocar a vírgula por ponto e escrevê-lo assim 2.34. Clique em “JANELA” “ANIMAÇÃO1.

VOLUME FINAL V2 (m <sup>3</sup> )	TEMPERATURA INICIAL T1 kelvin	TEMPERATURA FINAL T2 kelvin	CÁLOR TROCADO Q (joule)	TRABALHO W (joule)	VARIAÇÃO DA ENERGIA $\Delta U$ (joule)
0.002					
0.004					
0.016					
0.024					

III – Utilizando os dados da tabela acima, responda. Use uma calculadora.

Observação: antes de responder você deverá encontrar a razão entre a temperatura final  $T_2$  e a temperatura inicial  $T_1$  ou seja,  $T_2/T_1$ , para cada item.

1 – Mantendo a pressão  $P$  do gás constante, pode-se observar que:

a) ao reduzir o volume  $V_1$  a quarta parte, sua temperatura  $T_2$  ficou .....

b) ao reduzir o volume  $V_1$  à metade, sua temperatura  $T_2$  ficou .....

c) ao dobrar o volume  $V_1$  a sua temperatura  $T_2$  .....

d) ao triplicar o volume  $V_1$  a sua temperatura  $T_2$  .....

2 – De acordo com as respostas dos itens a, b, c e d pode-se concluir que: se a pressão  $P$ , de uma massa de gás for mantida constante durante uma transformação gasosa, seu volume  $V$  é ..... proporcional a sua temperatura  $T$ .

3 – Determine o quociente entre o volume inicial  $V_1$  e a temperatura inicial  $T_1$ .

4 – Determine o quociente entre o volume final  $V_2$  e a temperatura final  $T_2$ , para cada item.

a)	b)	c)	d)
----	----	----	----

5 – Analisando os resultados obtidos em 3 e 4, podemos concluir que a razão entre o volume  $V$  de um gás ideal e sua temperatura  $T$  é sempre uma ....., logo:

$$\frac{V}{T} =$$

6 – Expresse uma relação matemática para uma determinada massa de gás, ocupando o volume  $V_1$ , a uma temperatura  $T_1$  que passa a ocupar o volume  $V_2$  a uma temperatura  $T_2$ , a pressão constante.

7 – A expressão matemática obtida anteriormente define que: em uma transformação isobárica, mantendo a pressão  $P$  constante, o volume  $V$  ocupado por uma dada massa gasosa é ..... proporcional à temperatura  $T$ .

8 – Complete a tabela 2 com os dados obtidos na tabela 1 e responda.

VOLUME FINAL $V_2$ ( $m^3$ )	CALOR TROCADO $Q$ (joule)	TRABALHO $W$ (joule)	VARIAÇÃO DA ENERGIA $\Delta U$ (joule)	$\Delta U + W$	$Q - W$
0,002					
0,004					
0,016					
0,024					

**9** – De acordo com o Princípio da homogeneidade dimensional, em uma equação física, todas as parcelas têm a mesma dimensão. Portanto somente as medidas das grandezas físicas de mesma natureza podem ser comparadas, somadas ou subtraídas.

Se uma equação física não é homogênea dimensionalmente, ela está incorreta. Entretanto, o fato da equação estar dimensionalmente correta não garante sua veracidade. A homogeneidade é uma condição necessária, mas não o suficiente.

As grandezas, quantidade de calor trocado  $Q$ , a variação da energia interna  $\Delta U$  e o trabalho  $W$  estão na mesma unidade (dimensão)? O que representa essas grandezas?

---



---

**10** – Compare os resultados obtidos nas colunas 5 e 6 com os respectivos dados das colunas 2 e 3. Com base nesta observação escreva uma equação que relaciona  $Q$ ,  $W$  e  $\Delta U$ .

**11** – A equação que relaciona as grandezas físicas  $Q$ ,  $W$  e  $\Delta U$ , é conhecida como o primeiro Princípio da Termodinâmica e, é uma aplicação do princípio da ..... . Se um sistema gasoso recebe ..... do meio externo, essa ..... pode ser armazenada no sistema (aumentando sua ..... ), e/ou pode ser utilizada na realização de .....

**12** – O primeiro Princípio da Termodinâmica estabelece o balanço energético entre a quantidade de .....  $Q$  trocada por um sistema termodinâmico com o meio externo, o ..... mecânico  $W$  realizado pelo ou sobre o sistema e a variação de sua .....  $\Delta U$ .



## 13 – Complete

a) Na transformação isobárica (pressão .....), que pode ser uma ..... ( $V_2 > V_1$ ) ou uma ..... ( $V_2 < V_1$ ), tem-se realização de ..... e, simultaneamente, troca de ..... com o meio ambiente.

b) Na expansão isobárica:

O gás ..... calor do meio externo  $Q > 0$ ;

O gás ..... trabalho  $W > 0$ , pois seu volume .....  $V_2 > V_1$ ;

Há um aumento da .....  $\Delta U > 0$  do gás, portanto sua temperatura .....,  $T_2 > T_1$ .

Como as três grandezas, ....., e ....., são positivas, e, de acordo com Primeiro Princípio da Termodinâmica, conclui-se que o ..... fornecido ao gás é maior que o ..... realizado pelo gás.

c) Na compressão isobárica:

O gás ..... calor ao meio externo  $Q < 0$ ;

O ..... é realizado sobre o gás  $W < 0$ , pois seu volume .....,  $V_2 < V_1$ ;

Há diminuição da .....  $\Delta U < 0$  do gás, portanto sua temperatura .....  $T_2 < T_1$ .

Como as três grandezas, ....., e ....., são negativas, e, de acordo com Primeiro Princípio da Termodinâmica, conclui-se que o ..... cedido pelo gás é, em módulo, maior que o ..... recebido por ele.

IV – Utilizando os dados da tabela 2, faça um esboço dos gráficos  $P \times V$  e  $V \times T$ , para cada caso.

Observação: clique “JANELA” “ANIMAÇÃO2” e depois “JANELA” “CONDIÇÕES INICIAIS”

<b>Expansão do gás</b>	<b>Contração do gás</b>
$P = 3,112 \times 10^5 \text{ N/m}^2$	$P = 3,112 \times 10^5 \text{ N/m}^2$
$V_1 = 0.008 \text{ m}^3$	$V_1 = 0.040 \text{ m}^3$
$V_2 = 0.040 \text{ m}^3$	$V_2 = 0.008 \text{ m}^3$

## ANEXO B

TRANSFORMAÇÃO ISOCÓRICA OU ISOVOLUMÉTRICA DE UM GÁS IDEAL  
VERIFICAÇÃO DA LEI DE CHARLES

## ROTEIRO EXPERIMENTAL

I – Atribua as seguintes condições iniciais para o gás. Clique em “JANELA” “CONDIÇÕES INICIAIS”

Volume inicial – V1	0,008 m <sup>3</sup>
Número de mol – n	2
Pressão inicial – P1	3,112E5 N/m <sup>2</sup>

Sendo: **V1**; **P1** e **T1** as condições iniciais de volume, pressão e temperatura, respectivamente, do gás.

**V2**; **P2** e **T2** as condições finais.

**Q** ⇒ quantidade de calor trocado pelo gás.

**W** ⇒ trabalho realizado ou sofrido pelo gás.

$\Delta U$  ⇒ variação da energia interna do gás.

II – Complete a tabela 1 abaixo atribuindo valores para a pressão final do gás, **P2**.

Observação: o MODELLUS não reconhece vírgula, por exemplo, no número 2,34 devemos trocar a vírgula por ponto e escrevê-lo assim 2.34. Clique em “JANELA” “ANIMAÇÃO1”

PRESSÃO FINAL – P2 (N/m <sup>2</sup> )	TEMPERATURA INICIAL – T1 (kelvin)	TEMPERATURA FINAL – T2 (kelvin)	CALOR TROCADO – Q (joule)	TRABALHO W (joule)	VARIAÇÃO DE ENERGIA $\Delta U$ (joule)
7,78E+04					
1,56E+05					
6,22E+05					
9,34E+05					



III – Utilizando os dados da tabela acima, responda. Use uma calculadora.

Observação: antes de responder você deverá encontrar a razão entre a temperatura final T2 e a temperatura inicial T1, ou seja,  $T_2/T_1$ , para cada item.

1 – Mantendo o volume V do gás constante, pode-se observar que:

a) ao reduzir a pressão P1 do gás à quarta parte, isto é, de  $3,112 \times 10^5 \text{ N/m}^2$  para  $7,78 \times 10^4 \text{ N/m}^2$ , sua temperatura final T2 ficou reduzida a .....

b) ao reduzir a pressão P1 do gás à metade, isto é, de  $3,112 \times 10^5 \text{ N/m}^2$  para  $1,556 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ , sua temperatura final T2 ficou reduzida a .....

c) ao dobrar a pressão P1 do gás, isto é, de  $3,112 \times 10^5 \text{ N/m}^2$  para  $6,224 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ , a sua temperatura final T2 .....

d) ao triplicar a pressão P1 do gás, isto é, de  $3,112 \times 10^5 \text{ N/m}^2$  para  $9,336 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ , a sua temperatura final T2 .....

2 – De acordo com as respostas dos itens a, b, c e d pode-se concluir que: se o volume V, de uma massa de gás for mantido constante durante uma transformação gasosa, sua pressão P é ..... proporcional a sua temperatura T.

3 – Determine o quociente entre a pressão inicial P1 e a temperatura inicial T1.

4 – Determine o quociente entre a pressão final P2 e a temperatura final T2, para cada item.

a)	b)	c)	d)
----	----	----	----

Analisando os resultados obtidos em 3 e 4, podemos concluir que a razão entre a pressão  $P$  de um gás ideal e sua temperatura  $T$  é sempre uma ..... , logo:

$$\frac{P}{T} =$$

6 – Expresse uma relação para uma determinada massa de gás, a uma temperatura  $T_1$ , a uma pressão  $P_1$ , que passa a uma temperatura  $T_2$  a uma pressão  $P_2$ , com o volume  $V$  permanecendo constante.

7 – Concluimos que: em uma transformação isovolumétrica, isto é mantendo o volume  $V$  constante, de uma determinada massa de gás, a pressão  $P$  é ..... proporcional à sua temperatura  $T$ . Esta é a lei de Charles.

8 – Em uma transformação isométrica não há ..... de volume. Essa situação ocorre nos recipientes ..... . Embora o gás esteja aplicando forças nas paredes do recipiente, essas forças não realizam ....., pois não ..... o ponto de aplicação

9 – O trabalho  $W$  realizado ou sofrido por um gás depende da variação do seu volume  $\Delta V$ , então, durante uma transformação isovolumétrica (volume constante), o trabalho é sempre ....., como pode ser observado na tabela1.

10 – Quando o gás sofre um decréscimo de temperatura  $T_2 < T_1$ , o calor trocado  $Q$  é .....  $Q < 0$ , então o gás ..... calor ao meio, enquanto que, ao sofrer um acréscimo de temperatura  $T_2 > T_1$ , o calor trocado  $Q$  é .....  $Q > 0$ , então o gás ..... calor do meio.

11 – Calcule cada variação de temperatura ( $\Delta T = T_2 - T_1$ ) e responda.

a) Quando o gás sofre um resfriamento  $\Delta T < 0$ , a variação da energia interna é negativa  $\Delta U < 0$ , logo há diminuição da .....

b) Quando o gás sofre um aquecimento  $\Delta T > 0$ , a variação da energia interna é positiva  $\Delta U > 0$ , logo há aumento da .....

c) Se o gás não sofre variação de temperatura  $\Delta T = 0$ , a variação da energia interna é nula  $\Delta U = 0$ , a energia interna do gás permanece .....

12 – Escreva o primeiro Princípio da Termodinâmica para a transformação isovolumétrica.

13 – Conclui-se que a variação da ..... corresponde à quantidade de ....., cedida ou recebida, durante o processo.

VI – Faça um esboço dos gráficos  $P \times V$  e  $P \times T$ , para cada caso.

Observação: clique “JANELA” “ANIMAÇÃO2” e depois “JANELA” “CONDIÇÕES INICIAIS”

CASO 1	CASO 2
$V = 0,008 \text{ m}^3$	$V = 0,008 \text{ m}^3$
$P_1 = 3,112 \times 10^5 \text{ N/m}^2$	$P_1 = 7,78 \times 10^4 \text{ N/m}^2$
$P_2 = 7,78 \times 10^4 \text{ N/m}^2$	$P_2 = 3,112 \times 10^5 \text{ N/m}^2$

## ANEXO C

## TRANSFORMAÇÃO ISOTÉRMICA

## VERIFICAÇÃO DA LEI DE BOYLE - MARIOTTE

## ROTEIRO EXPERIMENTAL

I – Atribua as seguintes condições iniciais para o gás. Clique em “JANELA” “CONDIÇÕES INICIAIS”

Volume inicial – V1	0,012 m <sup>3</sup>
Número de mols – n	2
Temperatura inicial – T1	400 K

Sendo: V1; P1 e T1 as condições iniciais de volume, pressão e temperatura do gás;

V2; P2 e T2 as condições finais e,

Q ⇒ quantidade de calor trocado pelo gás.

W ⇒ trabalho realizado ou sofrido pelo gás.

$\Delta U$  ⇒ variação da energia interna do gás

II – Complete a tabela1 abaixo atribuindo valores para o volume final do gás, V2.

Observação: o MODELLUS não reconhece vírgula, por exemplo, no número 2,34 devemos trocar a vírgula por ponto e escrevê-lo assim 2.34. Clique em “JANELA” “ANIMAÇÃO1”



VOLUME FINAL (m <sup>3</sup> )	PRESSÃO INICIAL (N/m <sup>2</sup> )	PRESSÃO FINAL (N/m <sup>2</sup> )	CALOR TROCADO - Q (joule)	TRABALHO W (joule)	VARIAÇÃO DE ENERGIA $\Delta U$ (joule)
0.002					
0.004					
0.006					
0.024					
0.036					

III – Utilizando os dados da tabela acima, responda às perguntas a seguir. Use uma calculadora.

Observação: antes de responder você deverá encontrar a razão entre a pressão final P2 e a pressão inicial P1, ou seja,  $P2/P1$ , para cada item.

1 – Mantendo a temperatura T do gás constante, pôde-se observar que:

a) ao reduzir o volume V1 a sexta parte, sua pressão final P2 ficou multiplicada por .....

b) ao reduzir o volume V1 a terça parte, sua pressão final P2 ficou multiplicada por .....

c) ao reduzir o volume V1 a metade, pressão final P2 ficou multiplicada por .....

d) ao dobrar o volume V1, sua pressão final P2 ficou reduzida a .....

e) ao triplicar o volume V1, sua pressão final P2 ficou reduzida a .....



2 – De acordo com as respostas dos itens a, b, c, d e e pode-se concluir que: se a temperatura  $T$ , de uma massa de gás for mantida constante durante uma transformação gasosa, sua pressão  $P$  é .....  
proporcional a sua temperatura  $T$ .

3 – Determine o produto entre a pressão inicial  $P_1$  e o volume inicial  $V_1$ .

4 – Determine o produto entre a pressão final  $P_2$  e o volume final  $V_2$ .

a)	b)	c)	d)	e)
----	----	----	----	----

5 – Analisando os resultados obtidos em 3 e 4, podemos concluir que o produto entre a pressão  $P$  de um gás ideal e o seu volume  $V$  é sempre uma ..... , logo:

$$P \cdot V =$$

6 – Expresse uma relação matemática para uma determinada massa de gás, ocupando o volume  $V_1$ , a pressão  $P_1$  que passa a ocupar o volume  $V_2$  a uma pressão  $P_2$ , mantendo a temperatura  $T$  constante.

7 – Concluímos que: em uma transformação isotérmica, ou seja, mantendo a temperatura  $T$  constante, a pressão  $P$  de uma dada massa de gás é ..... proporcional ao volume  $V$  ocupado pelo gás. Esta é a lei de Boyle – Mariotte.

8 – Durante a contração do volume do gás  $V_2 < V_1$ , ou seja, redução do seu volume, observa-se que o calor trocado  $Q$  e o trabalho  $W$  possuem sinais ..... Neste caso o gás ..... calor e sofreu ..... do ambiente.

9 – Durante a expansão do gás  $V_2 > V_1$ , ou seja, aumento do seu volume, observa-se que o calor trocado  $Q$  e o trabalho  $W$  possuem sinais ..... Neste caso o gás ..... calor e realizou ..... sobre o ambiente.

Observação: antes da próxima resposta analise a tabela 2 e clique em “JANELA” “ANIMAÇÃO1” “CONDIÇÕES INICIAIS” e atribua alguns valores para a temperatura inicial  $T_1$  do gás.

10 – Nota-se que a variação da energia interna  $\Delta U$  do gás é sempre ....., logo a quantidade de energia interna final é ..... quantidade de energia interna inicial. Conclui-se que: em processo isotérmico, como a temperatura permanece ....., não há variação de .....

11 – Para que a energia interna permaneça constante, durante todo o processo isotérmico, têm-se duas situações:

1ª se gás recebe calor, ele deverá simultaneamente, ..... ao meio externo essa mesma quantidade de energia na forma de .....

2ª se o gás cede uma certa quantidade de calor, ele deverá ..... ,  
simultaneamente, essa mesma quantidade de energia na forma de  
..... .

12 – Escreva o Primeiro Princípio da Termodinâmica para a transformação isotérmica.

IV – Utilizando os dados da tabela 2, faça um esboço dos gráficos P x V e P x T, para cada caso.

Observação: clique “JANELA” “ANIMAÇÃO2” e depois “JANELA” “CONDIÇÕES INICIAIS”.

<b>Expansão do gás</b>	<b>Contração do gás</b>
T = 400 K	T = 400 K
V1 = 0.012 m <sup>3</sup>	V1 = 0.060 m <sup>3</sup>
V2 = 0.060 m <sup>3</sup>	V2 = 0.012 m <sup>3</sup>

## ANEXO D

## TRANSFORMAÇÃO ADIABÁTICA

## ROTEIRO EXPERIMENTAL

Sendo:  $V_1$ ;  $P_1$  e  $T_1$  as condições iniciais de volume, pressão e temperatura do gás;

$V_2$ ;  $P_2$  e  $T_2$  as condições finais e,

$Q \Rightarrow$  a quantidade de calor trocado pelo gás.

$W \Rightarrow$  o trabalho realizado ou sofrido pelo gás.

$\Delta U$  variação da energia interna do gás

I – Complete as tabelas abaixo, fixando os valores das condições iniciais do sistema.

Observação: o MODELLUS não reconhece vírgula, por exemplo, no número 2,34 devemos trocar a vírgula por ponto e escrevê-lo assim 2.34. Clique em “JANELA” “ANIMAÇÃO1”

TABELA 1 – EXPANSÃO DO GÁS

P1	T1	V1	P2	T2	V2	W	$\Delta U$	Q
(N/m <sup>2</sup> )	(K)	(m <sup>3</sup> )	(N/m <sup>2</sup> )	(K)	(m <sup>3</sup> )	(joule)	(joule)	(joule)
	450	0,002			0,006			
	450	0,002			0,008			
	450	0,002			0,01			
	450	0,002			0,012			

TABELA 2 – CONTRAÇÃO DO GÁS

P1 (N/m <sup>2</sup> )	T1 (K)	V1 (m <sup>3</sup> )	P2 (N/m <sup>2</sup> )	T2 (K)	V2 (m <sup>3</sup> )	W (joule)	$\Delta U$ (joule)	Q (joule)
	450	0,012			0,004			
	450	0,012			0,006			
	450	0,012			0,008			
	450	0,012			0,01			

II - Utilizando os dados das tabelas, responda.

1 – Em uma transformação adiabática não ocorre troca de .....  
entre o sistema e o ambiente.

2 – Se o gás sofre uma .....adiabática  $V_2 > V_1$ , realiza  
.....,  $W > 0$ , a variação da energia interna é  
.....  $\Delta U < 0$  e, portanto, o gás .....  $T_2 < T_1$ .

3 – Se o gás sofre uma .....adiabática  $V_2 < V_1$ , sofre  
.....,  $W < 0$ , a variação da energia interna é  
.....  $\Delta U > 0$  e, portanto, o gás .....  $T_2 > T_1$ .

4 – É possível aumentar ou diminuir a temperatura de um gás sem fornecer ou retirar calor dele? Justifique sua resposta.

5 – Escreva o Primeiro Princípio da Termodinâmica para a uma expansão adiabática



6 – Escreva o primeiro Princípio da Termodinâmica para a para uma compressão adiabática

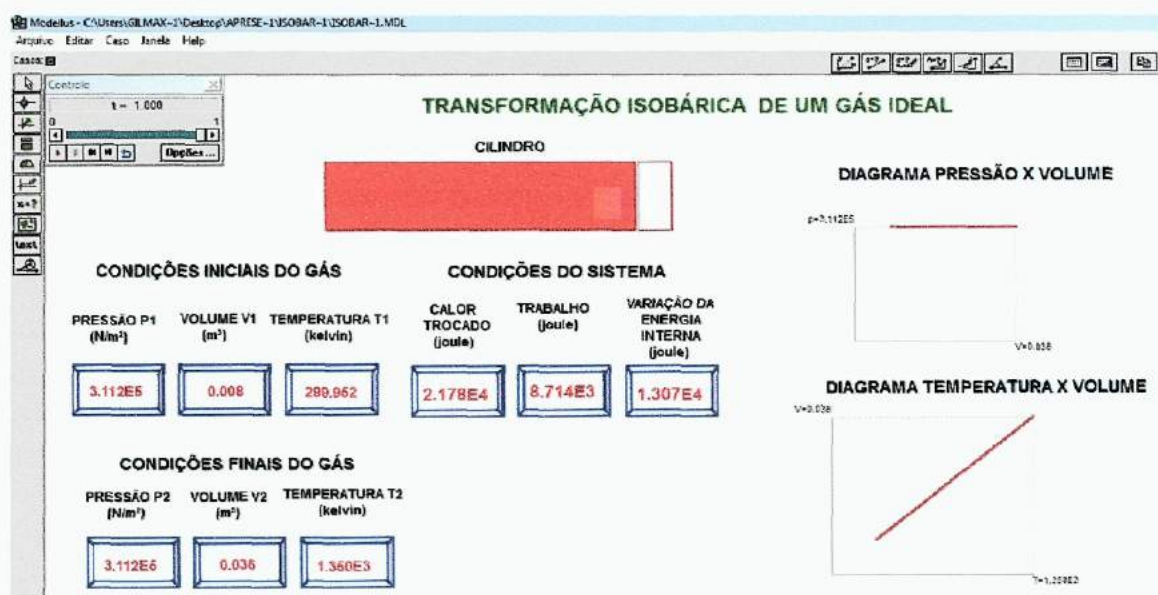
III – Faça um esboço dos gráficos P x V, para cada caso.

Observação: clique “JANELA” “ANIMAÇÃO2” e depois “JANELA” “CONDIÇÕES INICIAIS”

CASO 1 - EXPANSÃO	CASO 2 - CONTRAÇÃO
V1 = 0,002 m <sup>3</sup>	V1 = 0,010m <sup>3</sup>
V2 = 0,010 m <sup>3</sup>	V2 = 0,002 m <sup>3</sup>
T1 = 450 K	T1 = 450 K

## ANEXO E

## SIMULAÇÃO DA TRANSFORMAÇÃO ISOBÁRICA DE UM GÁS IDEAL.



## ANEXO F

## SIMULAÇÃO DA TRANSFORMAÇÃO ISOCÓRICA DE UM GÁS IDEAL.



## ANEXO G

## SIMULAÇÃO DA TRANSFORMAÇÃO ISOTÉRMICA DE UM GÁS IDEAL.



## ANEXO I

## SIMULAÇÃO DA TRANSFORMAÇÃO CÍCLICA DE UM GÁS IDEAL

