ROTEIRO - EXPERIÊNCIA 1: LEI DE BOYLE-MARIOTTE

1. OBJETIVO

Este experimento tem como objetivos ilustrar, discutir e analisar:

- a relação entre pressão e volume de um gás ideal em sistema fechado isotérmico
- propagação de incertezas no tratamento de dados experimentais

2. MATERIAL E EQUIPAMENTOS

Este experimento consiste no estudo de processos de compressão e expansão de um gás em sistema fechado.

- ✓ Equipamentos: cilindro graduado com êmbolo.
- ✓ Instrumentos: termômetro, manômetro, barômetro.

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O procedimento deve ser realizado usando óculos de segurança e sob supervisão do técnico ou professor.

a) Registre a temperatura do ar ambiente e a pressão atmosférica (barométrica).
b) Abrir a válvula do cilindro graduado e ajustar o êmbolo para o volume especificado pelo professor. Diâmetro interno: 3,40 cm. Escala linear em centímetros.
c) Fechar a válvula e anotar a pressão relativa indicada no manômetro (P_{rel}).
d) Iniciar a compressão do gás acionando a rosca do êmbolo até atingir o volume desejado. Aguardar que a temperatura estabilize e registrar a nova pressão.
e) Repetir o processo até que não seja mais possível ler a pressão no manômetro. Não deixe que o ponteiro saia da escala, pois isso descalibra o instrumento.

Conversão de unidades:

P: 1,000 kgf/cm² = 14,22 psi = 98,07 kPa = 0,9807 bar = 0,9678 atm = 735,6 mmHg

R: 8,314 J/mol.K = 0,08206 L.atm/mol.K = 62,36 mmHg.L/mol.K = 1,987 cal/mol.K

T: 0,00 °C = 273,15 K

Produto PV como energia: Pa.m^3 = (N/m^2).m^3 = N.m = (kg.m/s^2).m = kg.m^2.s^2 = J

Massa molecular média do ar seco: MM_{ar} = 28,96 g/mol.

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1. Lei de Boyle-Mariotte

A Lei de Boyle-Mariotte (1662, 1676) enuncia que o produto entre pressão absoluta (P) e volume (V) de um gás ideal em um sistema fechado isotérmico resulta em uma constante que depende da temperatura:

$$P.V = k$$

A Lei dos Gases Ideais de Clapeyron (1834) aprimora esta relação definindo $k = N.R.T$, em que N é a quantidade de gás em número de mols, R é a constante universal dos gases e T é a temperatura absoluta em Kelvin.

A equação da Lei de Boyle-Mariotte tem duas variáveis (P e V) e pode ser linearizada (convertida em uma equação de reta do tipo $y = a + b.x$) de duas formas:

	Variáveis		Parâmetros (constantes)	
Equação linearizada	y	x	a	b
$P = k.\left({}^{1}/_{V}\right)$	P	${}^{1}/_{V}$	0	k
$\log(P) = \log(k) - \log(V)$	$\log(P)$	$\log(V)$	$\log(k)$	-1

Qual a vantagem da linearização da equação? Ao fazer um gráfico com dados experimentais de y em função de x pode-se traçar uma reta média usando uma régua e determinar os parâmetros a e b graficamente que, consequentemente, fornecem k. Já um gráfico de P em função de V resulta uma curva na qual é difícil determinar k.

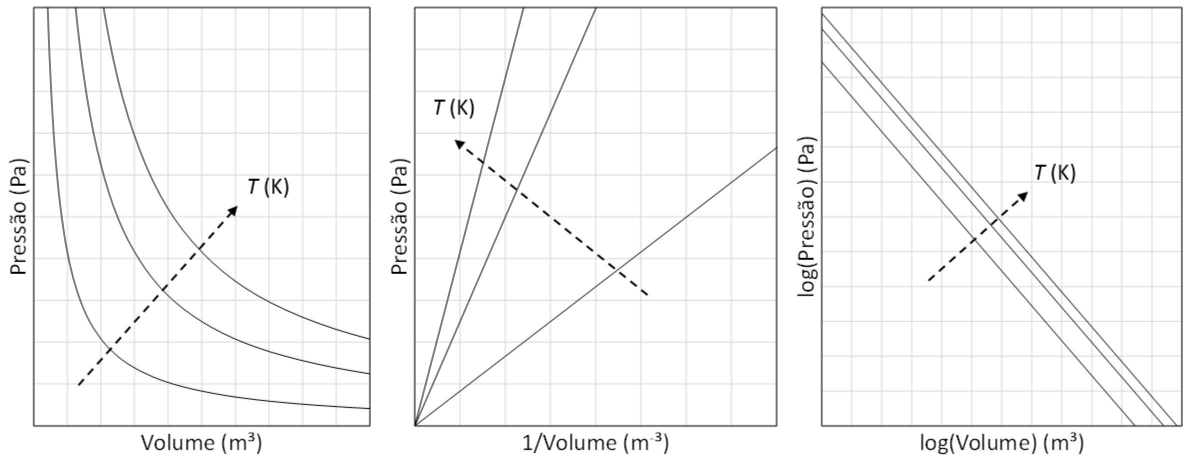

Figura 1: Diagramas PV de um gás ideal em diferentes temperaturas

4.2 Imprecisão na leitura de um instrumento

Quando se faz a uma leitura de uma grandeza em um instrumento analógico, deve-se reportar o valor de acordo com a imprecisão na leitura. Geralmente considera-se que a imprecisão seja igual à metade da menor divisão da escala.

No exemplo que segue, um manômetro registra a pressão na unidade 'bar'. A menor divisão da escala é de 0,1 bar, portanto, a imprecisão na leitura é de 0,05 bar. Isso significa que o instrumento pode fornecer precisão de até um centésimo de bar (0,01 na escala). O ponteiro está entre 1,6 e 1,7 bar, mas mais próximo de 1,7 bar. Pelas proporções da escala, pode-se estimar uma leitura de aproximadamente 1,68 bar, mas o valor exato não é claro para o observador. Reporta-se então a leitura como 1,68 bar ou na forma 1,68±0,05 bar. Isso indica que a incerteza está no dígito 8 (centésimo de bar, 0,01).

Caso o observador tenha dúvida quanto à leitura por alguma dificuldade (vibração do ponteiro, instrumento muito afastado, ângulo de leitura incorreto, risco da escala muito grosso etc), a leitura pode ser reportada usando o valor da menor divisão da escala como imprecisão, ou seja, 1,7±0,1 bar, o que indica que a incerteza está no dígito 7 (décimo de bar, 0,1). O importante é que a pessoa que faça a leitura expresse sua confiança no valor que está reportando.

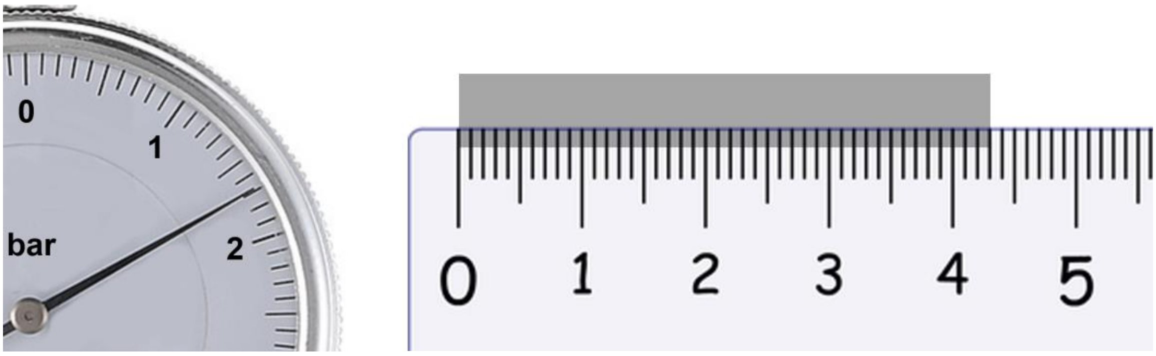

Figura 2: Exemplo de leitura de grandezas em escala: pressão e comprimento

A mesma regra se aplica à leitura do comprimento do retângulo com uma régua na figura acima. Como a menor divisão da régua é 0,1 cm, a imprecisão na leitura é de 0,05 cm. Pela observação, o comprimento é 4,30 cm com uma incerteza de 0,05 cm. O observador reporta então 4,30 cm ou 4,30±0,05 cm.

Há diferença se o observador reportar o comprimento como 4,3 cm em vez de 4,30 cm? Sim, há! O valor 4,3 tem apenas dois algarismos significativos, sendo que o último algarismo indica o nível de incerteza (décimo de centímetro: 0,1 cm). Já o valor 4,30 tem três algarismos significativos e a incerteza está no centésimo de centímetro (0,01 cm). Isso faz diferença nos cálculos como explicado no próximo item.

4.3 Regras práticas para propagação da incerteza nos cálculos

Ao fazer cálculos usando medições de grandezas feitas com instrumentos, deve-se "carregar" a incerteza para o resultado final.

No caso de somas e subtrações, a maior incerteza prevalece. Por exemplo:

13,56	incerteza na 2ª casa após a vírgula (0,01)
+ 0,2685	incerteza na 4ª casa após a vírgula (0,0001)
13,8285	resultado "na calculadora"

Tendo-se 0,01 e 0,0001, a maior incerteza está na 2ª casa após a vírgula. Portanto:

`13,56 + 0,2685 = 13,83` é o resultado da soma

No caso de **multiplicações e divisões**, prevalece o menor número de algarismos significativos. Por exemplo:

a = 283,0	4 algarismos significativos ($\underline{2,830}\times10^{2}$)
b = 342	3 algarismos significativos ($\underline{3,42}\times10^{2}$)
c = 0,0052	2 algarismos significativos ($\underline{5,2}\times10^{-3}$)
d = (a.b)/c = 18612692	resultado "na calculadora"

O menor número de algarismos significativos é 2, portando a resposta é

d = (a.b)/c = $1,9\times10^{7}$

No caso de **logaritmos**, seu valor resultante deve ter tanto decimais quantos forem os algarismos significativos do número a que eles correspondem. Por exemplo:

log(4,9) = 0,69	2 algarismos significativos → 2 decimais
log(49) = 1,69	2 algarismos significativos → 2 decimais
log(0,004900) = -2,3098	4 algarismos significativos → 4 decimais

4.4. Tratamento de dados experimentais

Estudar os textos "5. RECOMENDAÇÕES PARA CONFECÇÃO DE GRÁFICOS" e "6. EXATIDÃO E PRECISÃO: ANÁLISE DE ERROS DE EXPERIMENTOS" da apostila de informações gerais do curso.

5. BIBLIOGRAFIA

Atkins, P.; Jones, L. *Princípios de Química: Questionando a vida moderna e o meio ambiente*. 2ª ed., Porto Alegre: Bookman, 2001.

Atkins, P.; Paula, J. *Físico-Química*, v.1, 9ª ed., Rio de Janeiro: LTC, 2012.

Helene, O.A.M.; Vanin, V.R. *Tratamento estatístico de dados em física experimental*. 2ª ed., São Paulo: Edgar Blucher, 1991.