

Experimento 1 – 2º Semestre de 2023

BOMBEAMENTO DE UMA CÂMARA DE VÁCUO

1. Objetivos

- a. Analisar as curvas de queda de pressão de uma câmara em função do tempo quando bombeada por uma bomba rotativa de palhetas.
- b. Deduzir a velocidade de bombeamento na boca da câmara a partir das curvas para diferentes intervalos de pressão.

2. Fundamentos

Se numa câmara hermética é produzido vácuo por uma bomba, a pressão, P , decai com o tempo conforme a relação

$$P = P_0 \exp[-(S/V)t] + P_{eq} \quad (1)$$

onde S e V são, respectivamente, a velocidade de bombeamento na boca da câmara e o volume da câmara, t o tempo, P_0 a pressão na câmara em $t = 0$, e P_{eq} é a *pressão final de equilíbrio* na câmara, também chamada de *pressão residual*.

Importante lembrar que a Eq. 1 é deduzida para S constante (independente da pressão).

Se um fluxo constante de gás é admitido numa câmara hermética e isolada da bomba, a pressão sobe linearmente com o tempo conforme a equação

$$P = P_i + (Q/V) t \quad (2)$$

onde Q é o fluxo de gás (geralmente denominado de *corrente molecular*), V é o volume da câmara e P_i é a pressão em $t = 0$. As Eqs. 1 e 2 são empregadas neste experimento para determinar a velocidade de bombeamento.

3. Sistemas experimentais

Encontram-se representados esquematicamente nas Figs. 1 e 2.

O sistema de vácuo, representado na Fig. 1, destina-se à calibração de manômetros. O manômetro de membrana capacitivo (MC) é calibrado em função do manômetro Pirani (MP), tomado como padrão. O bombeamento é feito por uma bomba turbomolecular acoplada a uma bomba rotativa de palhetas. A válvula agulha (VA) possibilita a admissão de pequenos fluxos de ar no sistema de modo que a pressão na árvore dos manômetros possa ser continuamente ajustada. A válvula de alívio, VB, quando aberta (e VG fechada), possibilita que a pressão na árvore dos manômetros fique igual à pressão atmosférica e possa ser aberta.

No sistema da Fig. 2 são feitos os ensaios de dependência da pressão em função do tempo. A câmara é bombeada através da válvula solenoide V_S e sua pressão é medida pelo manômetro capacitivo. O fluxômetro representado na figura tem por função injetar uma corrente molecular de ar na câmara controlada pela válvula agulha V_A e lida no próprio fluxômetro.

A válvula V_C , válvula de alívio, tem a mesma função da válvula de mesmo nome no sistema anterior.

Um multímetro tipo *data logger*, conectado à saída do controle do manômetro capacitivo é empregado para a aquisição de dados de pressão na câmara em função do tempo.

Importante: Trabalhe com P em Torr, Q (corrente molecular) em Torr litro/s, V em litro, S em litro/s, t em segundos. A escala do manômetro capacitivo é calibrada em mbar e a do fluxômetro em sccm (centímetro cúbico normal por minuto). Lembrar que $1 \text{ Torr} = 1,33 \text{ mbar}$ e $1 \text{ sccm} = 1,27 \times 10^{-2} \text{ Torr litro s}^{-1}$.

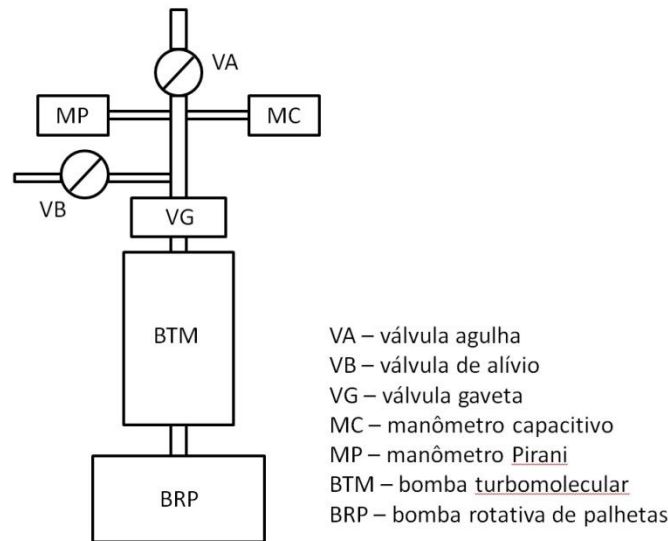


Figura 1. Sistema de vácuo para calibração de manômetros.

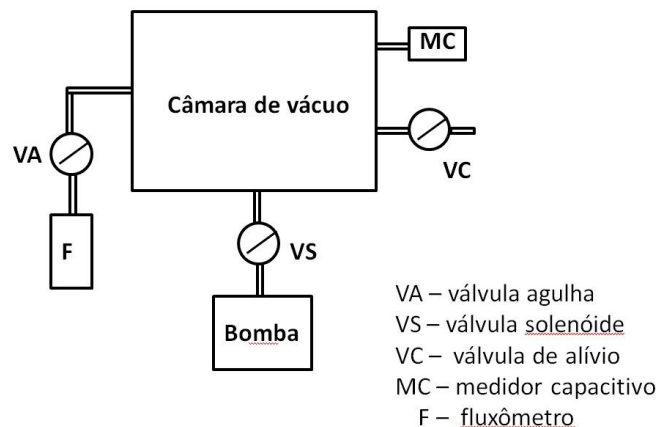


Figura 2. Sistema de vácuo para medidas de pressão em função do tempo.

4. Procedimento experimental

Consiste de três etapas, conforme explicado abaixo

Etapa 1. Calibração do manômetro capacitivo

O manômetro de membrana capacitiva será empregado nas medidas de pressão em função do tempo, e deverá ser calibrado no sistema da Fig.1 conforme comentado acima. Dê partida na bomba, abra a válvula gaveta e, mantendo as bombas em funcionamento, admita ar no sistema com a válvula agulha fazendo variar a pressão entre 1×10^{-3} e cerca de 6 Torr ($6 \text{ Torr} = 7,98 \text{ mbar}$) aproximadamente. Chame de P e P_P as pressões nos manômetros

capacitivo e Pirani respectivamente, e tome pares de valores (P, P_p) suficientes para se ter uma curva de calibração com uma alta densidade de pontos de modo a corrigir efetivamente as leituras do manômetro capacitivo.

Etapa 2. Medidas $P \times t$ enquanto ar é admitido na câmara

Com VC e VA fechadas, ligue a bomba, fazendo vácuo na câmara através de VS até a uma pressão de alguns (1 ou 2) Torr. Feche VS, isolando a câmara da bomba e, abrindo cuidadosamente a válvula agulha VA, admita ar na câmara através do fluxômetro. Estabeleça uma corrente molecular fixa (algum valor entre 10 e 20 sccm, mas sem ultrapassar 20 sccm, que é o valor máximo que pode ser medido com confiabilidade pelo aparelho). Inicie em seguida a aquisição de dados $P \times t$ com o *data logger*. Interrompa a aquisição e feche VA antes que a pressão chegue a 10 mbar. Não ultrapassar 10 mbar que é o valor máximo de pressão capaz de ser medido pelo manômetro capacitivo.

Etapa 3. Medidas $P \times t$ durante o bombeamento da câmara

Para esta etapa, torna-se mais prático desconectar o fluxômetro da válvula agulha e admitir ar na câmara diretamente através dessa válvula.

Siga os seguintes passos:

1. Com VC e VA fechadas, faça vácuo na câmara até a pressão se estabilizar.
2. Abra cuidadosamente VA admitindo ar na câmara até a pressão chegar a um valor inicial P_i , fechando VA em seguida.
3. Abra VS, que é uma válvula tipo solenoide de abertura muito rápida. A pressão vai cair enquanto o *data logger* registra os valores de P e t .
4. Feche a seguir VS.
5. Repita os passos 1 a 4 para três valores de P_i (5 mbar, 1 mbar, 0,5 mbar, digamos).

5. Tratamento de dados

Com os valores de P e t salvos no *data logger* para a segunda etapa, construa um gráfico $P \times t$ (gráfico 1).

Construa também gráficos $\log(P - P_{eq}) \times t$ com os dados do *data logger* obtidos na terceira etapa (gráficos 2, 3 e 4).

Importante: Como as pressões que deve ter medido são muito maiores que a pressão de equilíbrio na câmara, P_{eq} , (verifique!) esta última pode ser desprezada na Eq. 1.

Determine o volume da câmara, V , a partir do coeficiente angular do gráfico 1 (ver Eq. 2). (Lembre-se que o valor da corrente molecular Q deve ser mantido constante na obtenção dos dados para este gráfico).

A seguir, para os trechos retilíneos dos gráficos 2, 3 e 4, determine S conforme a Eq. 1, empregando o valor de V anteriormente obtido. (É provável que você encontre valores distintos de S para cada gráfico).

6. Para o relatório

1. Apresente a tabela de calibração dos manômetros.
2. Apresente uma tabela com três colunas [uma para cada gráfico $\log(P - P_{eq}) \times t$] colocando em cada coluna o valor de S calculado para cada trecho retilíneo e seu correspondente intervalo de pressão.
3. Os seguintes gráficos devem ser incluídos:
 - gráfico de calibração do manômetro capacitivo;

- gráfico $P \times t$ para a determinação de V ;
 - gráficos $\log(P - P_{eq}) \times t$ para as determinações de S .
4. Explique *claramente* o procedimento que usou nas suas determinações de V e S , indicando os cálculos. Provavelmente, os gráficos $\log(P - P_{eq}) \times t$ que obteve não são retilíneos em todo intervalo de pressão embora você tenha utilizado os trechos retilíneos para determinar S . Como você justifica (caso ocorra) a falta de linearidade de trechos de seus gráficos?
5. Deve ser lembrado que a velocidade de bombeamento na boca da bomba de seu experimento não é necessariamente a mesma que a velocidade de bombeamento na boca da câmara. Explique porquê. Explique também em que condições essas velocidades seriam iguais.

BIBLIOGRAFIA

Texto de F-640 de Vácuo, [(<http://sites.ifi.unicamp.br/labvacrio>), tag "Textos de F-640"] Cap. V, p. 60.

G. Lewin, *Fundamentals of Vacuum Science and Technology*, (McGraw-Hill, 1965) pp. 126-127.

C. M. Van Atta, *Vacuum Science and Engineering*, (McGraw-Hill, 1965), pp. 169 – 177.