

# MODELAGEM FÍSICO-MATEMÁTICA COM PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS NA DETECÇÃO DE VAZAMENTO EM SISTEMA DE VÁCUO

Thiago Ricardo Braga Silva  
Fatec São Paulo - thiago.silva440@fatec.sp.gov.br

Francisco Tadeu Degasperi  
Fatec São Paulo - ftd@fatecsp.com

## 1. Introdução

A detecção de vazamentos é uma parte crucial da tecnologia do vácuo, possuindo amplas aplicações em indústrias e pesquisas que necessitam estarem em vácuo para garantir a qualidade de seus processos, como também é importante em sistemas de altas pressões, onde os vazamentos podem contaminar o ambiente ao redor com substâncias nocivas. Além disso, a crescente demanda por inovações tecnológicas proporciona a tecnologia do vácuo se aperfeiçoar e buscar padrões mais precisos.

Desta forma, se faz necessária a criação de novos métodos e meios de validação para a detecção de vazamentos. Com isso, buscamos em nosso projeto a calibração de medidores de vazamento com precisão na ordem de  $(10^{-5}$  a  $10^{-6})$  mbar·L/s, baseando este trabalho fortemente na teoria e na utilização de diversos métodos matemáticos para a determinação das curvas experimentais, realizados no Laboratório de Tecnologia do Vácuo – LTV da FATEC-SP.

## 2. Metodologia e Materiais

Por meio da teoria da tecnologia do vácuo, modelara-se o *throughput* (Q) de um capilar da *Leybold TL-4*, que por meio do efeito de blocagem, gera um vazamento contínuo no sistema de vácuo, este pré-determinado pelo fabricante. Analisando a pressão em duas câmaras e com o capilar *TL-4* entre elas, haverá uma diferença de pressão que aumentará com o tempo. Desta forma, plota-se um gráfico da pressão no domínio do tempo. Como o *throughput* (Q) é determinado pelo fabricante, conseguirá calcular a condutância (C) pela seguinte relação [1]:

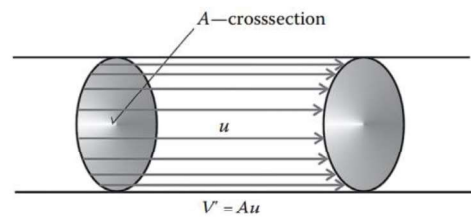
$$C = \frac{Q}{\Delta p} \text{ [Eq. 1]}$$

O *throughput* (Q), traduzido como taxa de transferência de gás, é uma grandeza especial da tecnologia do vácuo que representa a quantidade de gás que passa por uma seção transversal bem definida e em uma temperatura constante por um período e baseando no comportamento ideal dos gases, portanto definimos como (2):

$$Q = \frac{pV}{t} \text{ [Eq. 2]}$$

Sendo expresso nas unidades mbar.L.s<sup>-1</sup>, Pa.m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> ou J/s, esta é uma grandeza sofisticada que considera o comportamento ideal de um gás, pois o gás sofre expansão ao transitar de uma região de pressão menor.

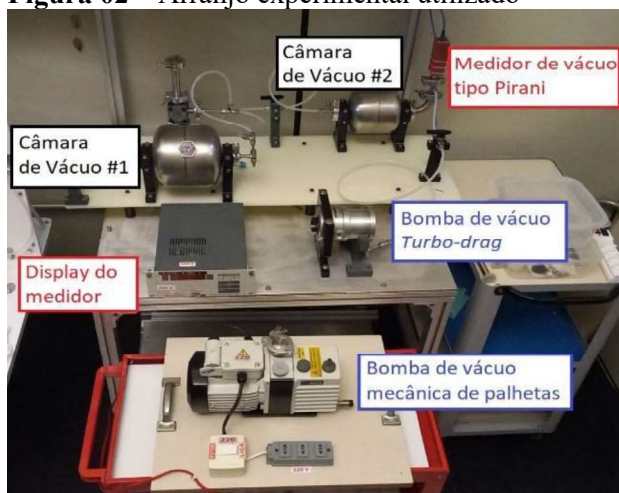
Figura 01 – Exemplo de seção transversal



Fonte: Bello, I. (2018) [3].

Inicialmente, determinara-se o *throughput* (Q) apenas para o gás hélio (He), porém se calibrara o *TL-4* para diversos outros gases, como N<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>, e o programa *Scilab* será utilizado para realizar a modelagem matemática do sistema. A montagem foi feita com 2 câmaras de vácuo (à esquerda câmara de vácuo #1 e à direita câmara de vácuo #2), representadas na Figura 2. A fabricação dos suportes foi feita no LTV, em material PLA, um polímero utilizado em manufatura aditiva 3D, os tubos de poliestireno foram escolhidos para dar conexões mais flexíveis, tendo assim mais liberdade para alterações no arranjo. Foram usadas duas bombas de vácuo para este arranjo experimental, sendo uma a bomba mecânica de palhetas e outra bomba *turbo-drag*.

**Figura 02 – Arranjo experimental utilizado**



Fonte: Alves, H, M. e Silva, T, R, B. (2023) [1].

Utilizando o Inventor AutoCad, foi modelado um adaptador para utilizar o TL-4, mostrado na Figura 03, para uma nova montagem no sistema, visando ampliar o uso do capilar para pressões diferentes da atmosférica, a qual ele foi projetado, portando como mostrado nas Figuras 04 e 05, a construção desta próxima etapa está em andamento.

**Figura 03 – Capilar TL-4.**



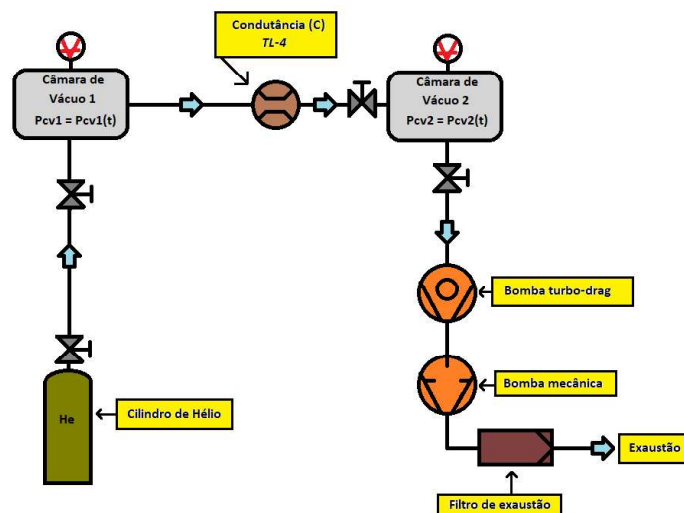
Fonte: Alves, H, M. e Silva, T, R, B. (2023).

**Figura 04 – Protótipo do adaptador para o TL-4 em PLA.**



Fonte: Alves, H, M. e Silva, T, R, B. (2023).

**Figura 05 – Esquemático do sistema de vácuo**

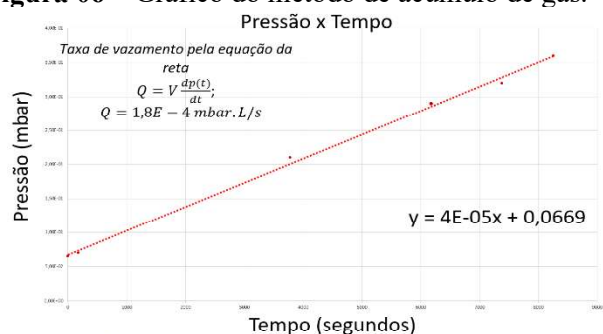


Fonte: Alves, H, M. e Silva, T, R, B. (2023).

### 3. Resultados e Discussões

Utilizando o método de acúmulo de gás, o qual desliga-se o sistema de bombeamento e se espera a pressão do sistema aumentar por um grande período, é possível calcular a taxa de vazamento intrínseca do sistema [2] e testar o método mais simples de detecção de vazamento, como mostrado no gráfico obtido plotando a pressão no domínio do tempo representado na Figura 06. Analisa-se que há linearidade, o que permite calcular o coeficiente linear da reta e assim consiga calcular o vazamento real do nosso sistema de vácuo.

**Figura 06 – Gráfico do método de acúmulo de gás.**



Fonte: Alves, H, M. e Silva, T, R, B. (2023).

### 5. Conclusões

Com o arranjo atual, é possível atingir uma taxa de transferência de gases na ordem de  $1,8 \times 10^{-4}$  mbar·L/s, este valor é satisfatório para se prosseguir o desenvolvimento da metodologia. Pretende-se utilizar um espectrômetro de massa especializado em detecção de hélio para a próxima etapa do projeto, testando novos métodos de detecção de vazamento disponíveis no mercado da tecnologia de vácuo. Com este trabalho pode-se alcançar um padrão confiável de vazamento

para a calibração de detectores de vazamento.

### *. Referências*

- [1] Pfeiffer, The Vacuum Technology Book, Pfeiffer Vacuum GmbH, 2018.
- [2] A. Roth, Vacuum Technology, 3rd ed., Elsevier Science, 1990.

- [3] I. Bello, Vacuum and Ultravacuum Physics and Technology, CRC Press, 2018.

### *Agradecimentos*

À instituição CNPq pela bolsa concedida.