

METROLOGIA NA TECNOLOGIA DO VÁCUO A PARTIR DO MÉTODO DA EXPANSÃO ESTÁTICA

Alicia Fernanda Rubio Pinheiro¹

Alicia.pinheiro@fatec.sp.gov.br
Faculdade de Tecnologia de São Paulo

Francisco Tadeu Degasperi

ftd@fatec.sp.br
Faculdade de Tecnologia de São Paulo

1. Introdução

A metrologia é uma ciência essencial para o desenvolvimento de diversas áreas tecnológicas e industriais, pois proporciona padrões e métodos que garantem a precisão e a confiabilidade das medições. A evolução dos instrumentos de medição tem permitido grandes avanços científicos, especialmente em setores que demandam alto rigor técnico, como o controle de vácuo. Nesse contexto, a criação de um padrão primário de vácuo torna-se indispensável para assegurar que as medições realizadas no Brasil sejam feitas com a exatidão requerida, promovendo maior competitividade e autonomia tecnológica no país.

Este projeto tem como objetivo desenvolver um padrão primário de vácuo utilizando o método da expansão estática, em parceria com o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). O trabalho envolve a comparação entre pressões calculadas teoricamente e as pressões medidas experimentalmente, por meio da coleta de dados em condições controladas. A partir da análise detalhada desses dados, pretende-se validar o arranjo experimental e alcançar um padrão metrológico de qualidade reconhecida, capaz de atender às demandas das indústrias nacionais.

2. Metodologia

O método da expansão estática, utilizado na metrologia de vácuo, baseia-se na lei dos gases ideais, mais especificamente na equação de Boyle-Mariotte. Essa equação relaciona a pressão, volume e temperatura de um gás em um sistema fechado, permitindo calcular mudanças de pressão durante a expansão de um gás. O comportamento dos gases ideais em condições de baixa pressão torna esse método eficiente para criar padrões metrológicos precisos,

essenciais para o controle e validação de medições em sistemas de vácuo.

A equação dos gases ideais, expressa como:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad (1)$$

Onde p é a pressão do sistema, V é o volume, n o número de moles, R a constante dos gases ideais e T a temperatura em Kelvin.

A equação pode ser simplificada durante a expansão de um gás ideal em um sistema de vácuo. Como o número de mols (n) e a constante dos gases (R) permanecem constantes, a relação entre as pressões e volumes antes e depois da expansão pode ser descrita por:

$$\frac{p_i \cdot V_i}{T_i} = \frac{p_f \cdot V_f}{T_f} \quad (2)$$

Onde p_i e V_i são a pressão e o volume iniciais, e p_f e V_f são a pressão e o volume final após a expansão.

Esse cálculo permite comparar as pressões teóricas e experimentais, validando a precisão dos instrumentos de medição.

No projeto, utiliza-se nitrogênio como gás ideal, e a medição de pressão é realizada com medidores calibrados fornecidos pelo INMETRO, garantindo a

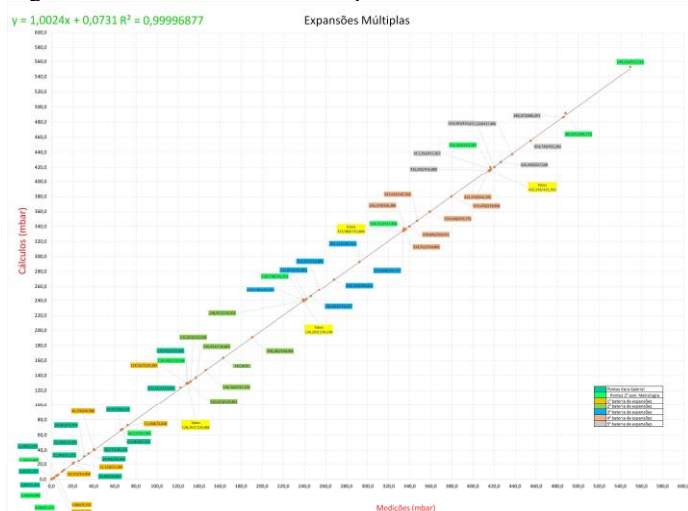
confiabilidade dos resultados. A equação mencionada é fundamental para a criação de padrões primários de vácuo, contribuindo diretamente para o avanço da metrologia de vácuo no Brasil.

3. Resultados e Discussões

Analisando a figura 1 e figura 2, que traz uma média entre os valores aferidos pelos medidores, verifica-se que os pontos apresentam uma boa colinearidade, que pode ser confirmada ao se verificar a equação da reta presente no canto superior esquerdo, onde o valor acompanhado de X deve ser mais próximo

de 1, e o valor seguinte deve ser mais próximo de 0, para que a linha de tendência esteja exatamente a 45°, demonstrando que os pontos experimentais estão próximos dos valores esperados teoricamente.

Figura 1 - Gráfico com todos os pontos



Fonte: próprio autor.

Os gráficos gerados a partir dos dados experimentais indicam uma boa concordância entre os valores medidos e os calculados, validando o arranjo experimental. A análise da reta de tendência confirma que os pontos experimentais estão próximos dos valores teóricos, o que sugere a eficácia do método utilizado. Nas Figuras 1 e 2, observou-se que a linha de tendência se aproxima de um valor ideal, com coeficiente angular próximo de 1 e intercepto próximo de 0, o que indica que os medidores apresentam resultados consistentes com os cálculos teóricos.

A Tabela 1 (Apêndice A – Resultados das medições) resume a média das pressões finais medidas e calculadas, contendo medidas feitas por outros 2 ex-alunos que utilizaram o arranjo experimental, Kaio e Gabriel [2], os pontos tomados na segunda semana da metrologia, e por fim os pontos coletados na última experiência realizada no dia 26 de maio de 2024, reforçando a precisão obtida nas medições e confirmando a validade do arranjo experimental utilizado. Esses resultados mostram que o método da expansão estática, quando adequadamente aplicado, pode fornecer medições precisas e confiáveis, essenciais para a criação de um padrão primário de vácuo no Brasil.

4. Conclusões

Os resultados obtidos a partir das expansões realizadas utilizando o método da expansão estática demonstraram uma alta precisão nas medições de pressão, validando a qualidade do arranjo experimental. A proximidade entre os valores teóricos e os experimentais, observada nas análises gráficas, reforça a eficácia do método e a confiabilidade dos medidores de pressão utilizados, especialmente aqueles fornecidos pelo INMETRO. A reta de tendência próxima de 45° confirma a colinearidade esperada, validando o comportamento previsto pela equação de BoyleMariotte.

Embora as medições tenham sido consistentes, algumas discrepâncias foram notadas entre o medidor do LTV e os medidores do INMETRO, indicando a necessidade de investigar possíveis erros sistemáticos no equipamento do LTV. Esse ajuste será essencial para garantir a total confiabilidade do sistema experimental.

No geral, o estudo comprova que o método de expansão estática é uma ferramenta eficaz para a metrologia de vácuo, sendo um passo importante para a criação de um padrão primário de vácuo no Brasil. A

implementação desse padrão permitirá maior precisão e confiabilidade em medições de baixa pressão, impulsionando o desenvolvimento tecnológico em áreas que dependem da tecnologia de vácuo.

Referências

- ARAKAWA, Rodrigo. CARACTERIZAÇÃO DO PADRÃO PRIMÁRIO DE VÁCUO PELO MÉTODO DE EXPANSÃO ESTÁTICA. Fatec São Paulo, São Paulo, 2013.
- DANTAS, Gabriel; CESAR, Kaio. Criação do padrão primário de Vácuo no Brasil pelo método de Expansão Estática. 2022.– Fatec São Paulo, São Paulo, 2022.

Agradecimentos

À instituição CNPq pela bolsa de iniciação científica e ao Professor Francisco Tadeu Degasperi a todo apoio o que nos possibilitou construir este projeto e a todos os alunos e ex-alunos do Laboratório de Tecnologia do Vácuo.

¹ Alicia Fernanda Rubio Pinheiro de IC com bolsa CNPq (Iniciação Científica).

Câmara	Pressão inicial (inHg)	Pressão Inicial (Pi)	Pressão Pós Exp (Pf - Calculada)	Pressão Pré Exp	Pf medida (mbar)
C1	27,4728	930,3389	1,936	3,00E-06	2,399
C1+C2	27,4728	930,3389	4,702		4,866
C1+C2+C3	27,4728	930,3389	10,458		10,331
C1+C2+C3+C4	27,4728	930,3389	22,28		21,128
C1+C2+C3+C4+C5	27,4728	930,3389	40,988		40,19
C1+C2+C3+C4+C5+C6	27,4728	930,3389	72,818		72,048
C1+C2+C3+C4+C5+C6+C7	27,4728	930,3389	129,383		128,567
Tubos	27,4641	930,0443	129,008		128,767
C1	27,4641	930,0443	129,993		130,033
C1+C2	27,4641	930,0443	132,018		132,033
C1+C2+C3	27,4641	930,0443	136,865		136,831
C1+C2+C3+C4	27,4641	930,0443	147,134		146,362
C1+C2+C3+C4+C5	27,4641	930,0443	163,48		162,825
C1+C2+C3+C4+C5+C6	27,4641	930,0443	190,946		190,285
C1+C2+C3+C4+C5+C6+C7	27,4641	930,0443	239,702		238,937
Tubos	27,4587	929,8614	239,318		239,205
C1	27,4587	929,8614	240,262		240,138
C1+C2	27,4587	929,8614	241,85		241,871
C1+C2+C3	27,4587	929,8614	246,037		246,003
C1+C2+C3+C4	27,4587	929,8614	254,885		254,267
C1+C2+C3+C4+C5	27,4587	929,8614	269,024		268,264
C1+C2+C3+C4+C5+C6	27,4587	929,8614	292,514		292,125
C1+C2+C3+C4+C5+C6+C7	27,4587	929,8614	334,727		333,846
Tubos	27,4548	929,7293	333,846		333,98
C1	27,4548	929,7293	334,892		334,913
C1+C2	27,4548	929,7293	336,389		336,379
C1+C2+C3	27,4548	929,7293	339,972		339,845
C1+C2+C3+C4	27,4548	929,7293	347,506		347,043
C1+C2+C3+C4+C5	27,4548	929,7293	359,77		359,04
C1+C2+C3+C4+C5+C6	27,4548	929,7293	379,958		379,435
C1+C2+C3+C4+C5+C6+C7	27,4548	929,7293	416,195		415,359
Tubos	27,4604	929,919	415,359		415,293
C1	27,4604	929,919	416,08		416,092
C1+C2	27,4604	929,919	417,367		417,292
C1+C2+C3	27,4604	929,919	420,396		420,491
C1+C2+C3+C4	27,4604	929,919	427,108		426,49
C1+C2+C3+C4+C5	27,4604	929,919	437,486		437,22
C1+C2+C3+C4+C5+C6	27,4604	929,919	455,28		454,749
C1+C2+C3+C4+C5+C6+C7	27,4604	929,919	486,491		486,073
C7	27,5455	932,8002	67,3255	66,915	67,0485
C7	27,559	933,2573	67,3585	66,915	
C7	27,6241	935,4614	67,5175	67,582	
C7	27,6282	935,6003	67,5276	66,782	

C6	27,6304	935,6747	35,8423	34,925	34,9915
C6	27,649	936,3045	35,8664	34,925	
C6	27,6473	936,2469	35,8642	35,058	
C6	27,5871	934,2087	35,7861	35,058	
C5	27,5627	933,3825	20,8666	20,528	20,4837
C5	27,5603	933,3013	20,8648	20,528	
C5	27,5608	933,3182	20,8652	20,395	
C4	27,5601	933,2945	12,2505	11,967	11,9427
C4	27,5635	933,4096	12,252	11,864	
C4	27,5678	933,5552	12,254	11,997	
C3	27,5689	933,5925	5,6791	6,398	6,296
C3	27,5742	933,7719	5,6802	6,398	
C3	27,576	933,8329	5,6806	6,398	
C3	27,4973	931,1682	5,6643	5,99	
C2	27,5014	931,307	2,3166	3,066	3,0217
C2	27,509	931,5644	2,3173	2,933	
C2	27,5067	931,4865	2,3171	3,066	
C1	27,577	933,8667	1,4306	2,266	2,0665
C1	27,6067	934,8723	1,4321	2	
C1	27,6343	935,8068	1,4336	2	
C1	27,4538	929,6954	1,4242	2	
C5 e C3	27,4477	929,4888	25,7001	25,594	25,594
C5 e C3	27,4479	929,4956	25,7003	25,594	
C5 e C3	27,4469	929,4618	25,6994	25,594	
C5 e C4	27,4541	929,7055	31,974	30,972	30,9533
C5 e C4	27,4524	929,648	31,972	30,962	
C5 e C4	27,4585	929,8545	31,9791	30,926	
C6 e C3	27,4186	928,5036	40,3242	40,523	40,523
C6 e C3	27,4251	928,7237	40,3338	40,523	
C6 e C3	27,4279	928,8185	40,3379	40,523	
C6 + C5 + C4 + C2	27,4466	929,4516	66,3223	65,85	65,9168
C6 + C5 + C4 + C2	27,4499	929,5633	66,3303	65,85	
C6 + C5 + C4 + C2	27,4503	929,5769	66,3313	65,85	
C6 + C5 + C4 + C2	27,6503	936,3485	66,8145	66,117	
C7 + C6 + C5 + C4	27,6546	936,4941	123,6611	122,501	122,4123
C7 + C6 + C5 + C4	27,653	936,4399	123,6539	122,368	
C7 + C6 + C5 + C4	27,6538	936,467	123,6575	122,368	
Todas as câmaras	27,6485	936,2876	129,5811	129,433	129,433
Todas as câmaras	27,6431	936,1047	129,5558	129,433	
Todas as câmaras	27,6411	936,037	129,5464	129,433	
Limite Inferior C7 Inicio	27,601	934,6793	67,4611		66,517
LI - 2º Exp	1,9642	66,517	4,8009		5,199
LI - 3º Exp	0,1535	5,199	0,3752		0
LI - Final Exp	0	0	0		0,4
Limite Superior - C1+...+C7	27,652	936,4061	129,5975		128,1
Limite Superior - C1+...+C7	27,6513	936,3824	241,2556		238,738
Limite Superior - C1+...+C7	27,6509	936,3688	337,4584		334,312

Limite Superior - C1+...+C7	27,6513	936,3824	420,3488		416,4
Limite Superior - C1+...+C7	27,6532	936,4467	491,7762		487,873