Impacto da Temperatura na Incerteza da Medição de Massa Volúmica por dois métodos

Diana Meireles[1,2], G. Vilão[1,2], C.A. Ramos[1,2]
1000470@isep.ipp.pt gmr@isep.ipp.pt car@isep.ipp.pt

[1]Departamento de Física, ISEP, Politécnico do Porto, Rua Dr. António Bernardino de Almeida 431, 4249-015 Porto, Portugal
[2] CIETI/NBIN, ISEP, Politécnico do Porto, Rua Dr. António Bernardino de Almeida 431, 4249-015 Porto, Portugal

Resumo

Dada a importância da determinação da incerteza nos processos clínicos e laboratoriais, como por exemplo, a determinação da massa volúmica de fluidos com nanopartículas, usados para diagnósticos e terapias na área da saúde, é relevante saber qual dos métodos mais se adequa para estes processos. No presente trabalho utilizamos dois métodos para medir a massa volúmica: um densímetro digital que usa o princípio de oscilação do tubo em U e o método do picnómetro, baseado na medição precisa de massa e volume. O estudo comparou a eficiência desses métodos em várias temperaturas de trabalho, usando neste caso o etilenoglicol como substância de referência. Os resultados mostraram que a incerteza das medições aumenta com a temperatura de trabalho. Comparativamente, o picnómetro apresentou menores desvios dos valores experimentais com os valores de referência em temperaturas mais baixas, tornando-se a melhor escolha para medir a massa volúmica destes fluidos, sob estas condições. A avaliação das incertezas seguiu rigorosos procedimentos matemáticos, garantindo a confiabilidade dos resultados, garantido assim que o picnómetro pode ser usado para a determinação da massa volúmica de fluidos com nanopartículas em suspensão. O densímetro digital ainda apresentou o limitação do tubo capilar ser muito pequeno e de difícil limpeza dificultando assim medidas de fluidos que tenham nanopartículas incorporadas.

Introdução

A determinação da incerteza nos processos clínicos é um aspeto essencial para a validação e fiabilidade dos exames médicos. Nos contextos laboratoriais e de diagnóstico, a incerteza refere-se à variação e imprecisão inerentes a qualquer medição. Compreender e quantificar essa incerteza é crucial, pois permite que médicos e outros profissionais de saúde avaliem a precisão e a exatidão dos resultados dos exames. Isto, por sua vez, assegura que as decisões clínicas sejam fundamentadas em dados fiáveis e reproduzíveis, minimizando o risco de diagnósticos incorretos e tratamentos inadequados. A avaliação rigorosa da incerteza é também fundamental para o cumprimento de normas e regulamentações, garantindo que os laboratórios mantenham elevados padrões de qualidade[1].

O calculo de incertezas é uma ferramenta matemática de análise dos dados experimentais garantindo que as medições obtidas pelos equipamentos sejam os mais exatos e próximos dos reais possíveis.

Neste trabalho analisaremos a incerteza associada ao processo da medição da massa volúmica por dois métodos diferentes e a sua variação com a temperatura de trabalho, com o objetivo de definir o melhor método para estudar a densidade de nanofluidos aplicados em diagnósticos e terapias na área da saúde.

Metodologia

Foram utilizados dois métodos para obter a massa volúmica de cada solução: um densímetro digital, que usa o princípio de oscilação do tubo em U e o método do picnómetro que se baseia principalmente na da medição precisa de massa e volume.

Na medição da massa volúmica com o densímetro digital seguimos o procedimento que se encontra descrito na figura 1, e para a determinação da incertezas associado a este processo analisou-se quais as grandezas físicas que têm uma causa direta na incerteza de medição.

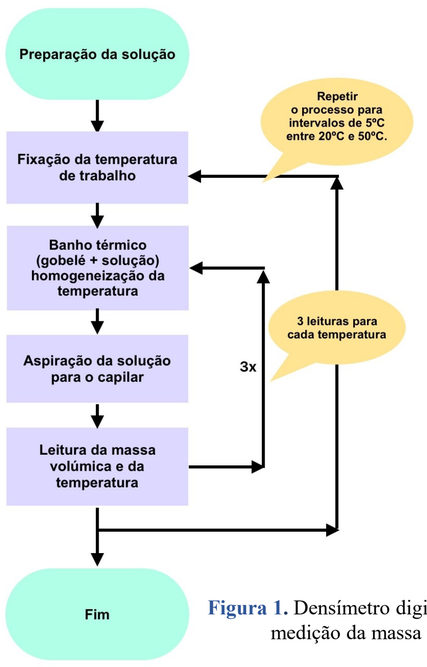

Figura 1. Densímetro digital – processo de medição da massa volúmica

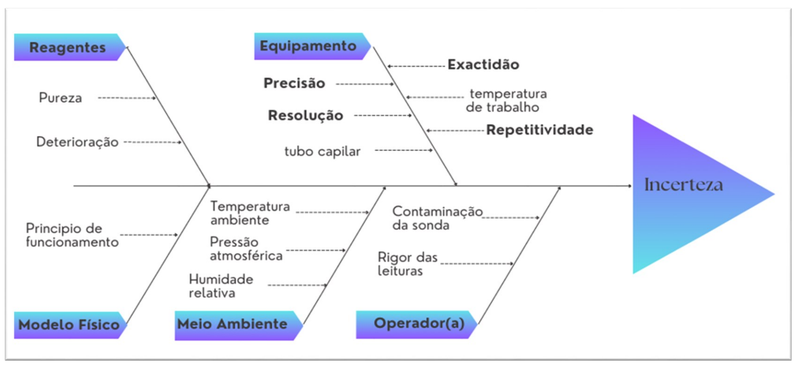

Figura 2. Diagrama causa e efeito de Ishikawa para o densímetro digital

Para a determinação da massa volúmica pelo método do picnómetro, mediu-se primeiro a massa do picnómetro com água destilada para as diferentes temperaturas de trabalho e repetiu-se o processo para a solução que se pretendia medir, obtendo-se assim a densidade desta solução pela divisão das massas dos dois líquidos, para determinar a massa volúmica da solução multiplicou-se pela massa volúmica da água a essa temperatura, figura 3. Na figura 4 temos a analise das grandezas físicas que influenciam a incerteza para este método [2]. Temos então que o primeiro processo é uma medição direta e o segundo processo uma medição indireta.

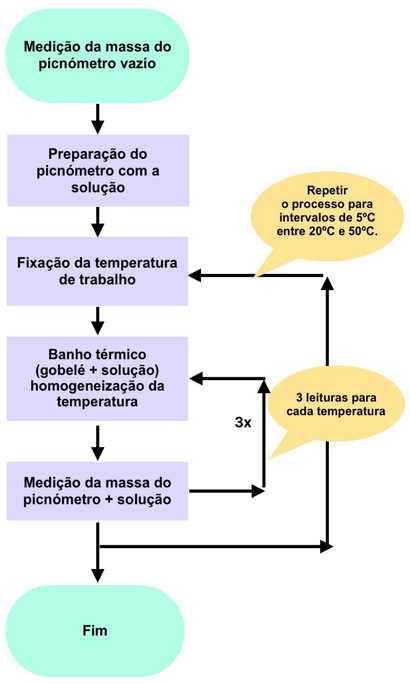

Figura 3. Picnómetro – processo de medição da densidade de um nanofluido.

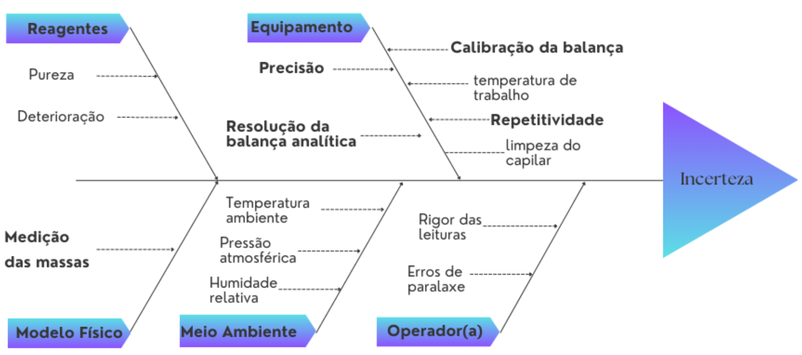

Figura 4. Diagrama causa e efeito de Ishikawa para o picnómetro

O cálculo da incerteza para o primeiro método baseou-se na definição de incerteza de leitura direta (eq. 1), onde u_A é a incerteza tipo A (eq. 2), determinada pelo desvio padrão das *n* leituras realizadas para uma mesma temperatura de trabalho (eq. 3), e u_B é a incerteza tipo B, referente à resolução, exatidão, repetibilidade e calibração do equipamento (eq. 4) [3].

$$u^2(\rho) = u_A^2 + u_B^2 \quad \text{eq.1}$$

$$u_A = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad \text{eq.2}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x}_i)^2}{(n-1)}} \quad \text{eq.3}$$

$$u_B = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} u_i^2} \quad \text{eq.4}$$

O cálculo da incerteza para o segundo método baseou-se na expansão de Taylor, para se determinar a incerteza combinada das várias medições (eq. 5), onde c_i são os coeficientes de sensibilidade determinados pela eq. 6.

$$u(X_i) = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} c_i^2 * u_i^2\,(\delta X_i)} \quad \text{eq.5}$$

$$c_i = \frac{\partial \rho}{\partial x_i} \quad \text{eq.6}$$

Análise e Discussão

Foram realizadas medidas de massa volúmica de várias soluções base dos nanofluidos que se pretendem estudar, nomeadamente glicerina, glicerina + água e etilenoglicol, neste contexto apresentamos o estudo do etilenoglicol para várias temperaturas de trabalho. Na figura 5, apresentam-se os valores obtidos pelas medidas diretas realizadas com um densímetro digital, em que se observa que os valores experimentais desviam-se dos valores de referência da massa volúmica do etilenoglicol, a barra apresentada no pontos experimentais é a incerteza associada à leitura direta, na figura 6, representa-se a incerteza dos valores obtidos em função da temperatura. Pode-se assim constatar que a incerteza aumenta com o aumento da temperatura de trabalho, existindo um maior desvio padrão nas leituras realizadas.

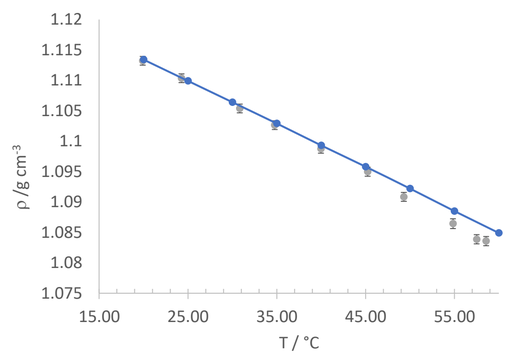

Figura 5. Massa volúmica do etilenoglicol por leitura direta a diferentes temperaturas

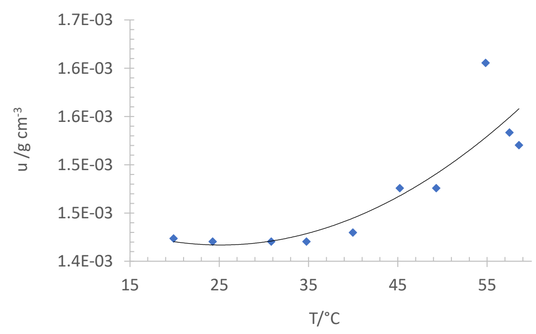

Figura 6. Incertezas da massa volúmica do etilenoglicol a diferentes temperaturas

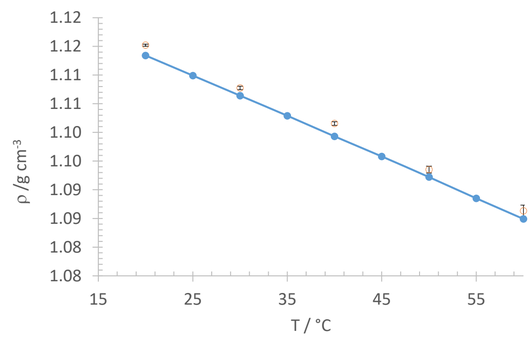

Figura 7. Massa volúmica do etilenoglicol usando o picnómetro a diferentes temperaturas

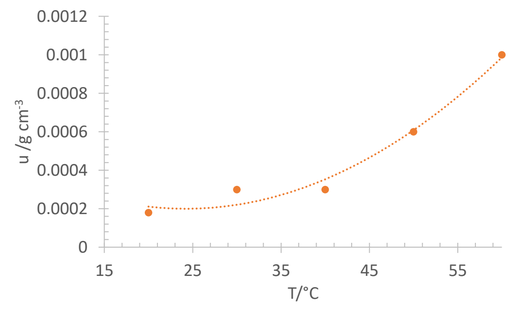

Figura 8. Incertezas da massa volúmica do etilenoglicol a diferentes temperaturas (picnómetro)

A massa volúmica determinada usando o picnómetro é representada na figura 7, verificando que os valores experimentais desviam-se menos dos valores de referencia. Na figura 8, representa-se o valor da incerteza da massa volúmica face à temperatura verificando que para temperaturas de trabalho mais elevadas a incerteza aumenta. Verifica-se também que pelo método do picnómetro a temperaturas mais baixas a incerteza é menor do que a incerteza determinada para o densímetro digital.

Conclusão

Após a análise dos dados experimentais verifica-se que o uso do picnómetro para determinar a massa volúmica de um nanofluido seria a melhor escolha face às dificuldades apresentadas pelo densímetro digital, para temperaturas superiores à temperatura ambiente. Constatou-se que o tempo necessário para o densímetro atingir o equilíbrio térmico e poder registar-se o valor da massa volúmica, era maior do que o do picnómetro, facto que se reflete nos valores da incerteza determinada. Outra grandeza física que se observou ser relevante neste processo foi a viscosidade do fluido. No caso da glicerina, que também foi estudada, as incertezas obtidas foram superiores as incertezas do etilenoglicol para o densímetro digital. Concluindo-se assim, que o método indireto da determinação da massa volúmicas é o que mais se adequado para o estudo da massa volúmica dos nanofluidos para diferentes temperaturas de trabalho.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer o apoio da Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), através das bolsas UIDB/04730/2020 e UIDP/04730/2020.

Referências

[1] JCGM, "Guide for the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM)" (2008).
[2] C.A. Ramos, E. Nogueira, G. Vilão, "*Determinação da densidade de um nanofluido pelo método do picnómetro*" Guia prático de DDT – Dep. ISEP(2020)
[3] P.E. Baru, N.M. Roman, and C. Rusu, "*Risk Analysis and Measurement Uncertainty in the Manufacturing Process of Medical Devices*", XIII Mediterranean Conference on Medical and Biological Engineering and Computing 2013, IFMBE Proceedings 41,1567, DOI: 10.1007/978-3-319-00846-2_387, © Springer International Publishing Switzerland 2014