

APLICAÇÕES DE DIFERENTES TIPOS DE ESCOAMENTO PARA DETERMINAR O NÚMERO DE REYNOLDS

César de Almeida Rodrigues (1); Raul José Alves Felisardo (2); Gabriela Menezes Silva (3); Natália Barbosa Santos Souza (4)

(1), (2), (3), (4) Universidade Tiradentes/Engenharia de petróleo; Avenida Murilo Dantas, 300; 49032-490; Aracaju; Sergipe; Brasil

(1) cesaralmeidar@gmail.com; (2) rauljose1234@gmail.com; (3) gabi.menezes.silva@hotmail.com; (4) natthbarbosa@hotmail.com

Resumo: Em experiências, Reynolds demonstrou a existência de dois tipos de escoamento, a partir de um número adimensional usado para o cálculo do regime de escoamento de um fluido sobre determinada superfície e a depender do valor do módulo de velocidade do fluido, o regime pode ser classificado em três tipos distintos. Regime Laminar, Transiente e Turbulento. Partindo desse conceito o trabalho tem como objetivo a determinação do número adimensional de Reynolds e visualização do padrão de escoamento da água através de um caixa de vidro, com o auxílio de corantes. Durante a análise obteve-se valores de Reynolds para regime laminar de 609,2 e para regime turbulento de 5902,9 e 10966,1, como não se obteve valores para região de transição foram elaborados cálculos para encontrar a velocidade de escoamento ideal para um número de Reynolds em regime transiente, que foi $0,105 < v < 0,053$. E esse estudo aplicado a situações reais, são cada vez mais utilizados para aprimoramento tecnológico como, na Aerodinâmica (carro, avião e etc.) e em processos de escoamento de um fluido característico (petróleo) por um determinado duto, necessitando conhecer o regime, que se deve a velocidade de escoamento.

Palavras-chave: Escoamento; regime; Reynolds.

Introdução

De acordo com ÇENGEL (2007), quando duas camadas fluidas se movem uma em relação à outra, desenvolve-se uma força de atrito entre elas e a camada mais lenta tenta reduzir a velocidade da camada mais rápida. Tal resistência interna ao escoamento é quantificada pela propriedade do fluido chamada de viscosidade.

Ainda segundo ÇENGEL (2007), os escoamentos em que os efeitos do atrito são significativos, chamam-se escoamentos viscosos. Entretanto em alguns escoamentos há regiões onde as forças viscosas são desprezíveis quando comparadas as forças de inércia e pressão.

Em 1880, Osborne Reynolds, engenheiro britânico, estudou a transição entre os regimes laminar e turbulento num tubo. Ele correlacionou os parâmetros e encontrou um critério pelo qual o regime pode ser classificado, que corresponde ao número de Reynolds, razão entre as forças de inércia e as forças viscosas (FOX & MCDONALD, 2006).

O número de Reynolds é um número adimensional utilizado para calcular o regime de escoamento dos fluidos sobre uma superfície. No experimento de Reynolds é possível evidenciar o comportamento desse escoamento nos regimes laminar, transiente e turbulento, isto porque com o aumento da vazão percebe-se a mudança de regime em um certo tempo. Nota-se que, quando o fluxo de fluido é baixo as partículas (azul de metileno, no experimento) movem-se com uma trajetória definida e ordenada, formando um filete que não se mistura ao líquido (água) ao longo de todo o tubo caracterizando assim o regime laminar ($Re \leq 2000$) (FALKOVICH, 2011).

O regime é denominado transiente ($2000 < Re < 4000$) quando em presença de um pequeno aumento de vazão, faz-se visível uma pequena perturbação nas partículas que deslocam-se, agora, de maneira um pouco desordenada. Segundo OLIVEIRA & LOPES (2010), a fase intermediária, designada por transição de regime, corresponde a um valor do número de Reynolds dito crítico, acima do qual uma perturbação tem tendência a ser amplificada e a degenerar em turbulência.

No regime turbulento ($Re \geq 4000$) percebe-se que as partículas se movimentam de maneira desordenada e irregular, tendo uma trajetória aleatória que se “mistura” ao líquido.

TAITEL & DUKLER (1980), estudaram as transições dos padrões de escoamento durante o fluxo de uma mistura gás-líquido no interior de um duto, baseando-se em mecanismos físicos estabelecidos para cada transição, ao longo de seu escoamento a mistura pode desenvolver vários padrões de fluxo trazendo consigo a necessidade de, primeiramente, definir alguns termos básicos referentes ao escoamento. Por isso, é de suma importância na produção de petróleo, uma vez que os reservatórios petrolíferos produzem óleo e gás simultaneamente, e estes devem fluir até a superfície submarina através de poços, e destes até a plataforma de produção através de dutos verticais (risers) no mar.

A prática objetiva visualizar os diferentes tipos de escoamento do fluido e determinar o número de Reynolds em diferentes regimes de escoamento: laminar, de transição e turbulento e determinar o número de Reynolds para a zona laminar, de transição entre o escoamento laminar e turbulento e por fim o regime turbulento do fluido água escoando em uma tubulação.

Metodologia

- **Materiais**

Foram utilizados os seguintes materiais, o equipamento para experimento de Reynolds, água adicionado azul de metileno para melhorar a visualização dos regimes, e um cronometro para indicar o tempo de escoamento, que posteriormente foi utilizado para realização dos cálculos descritos durante o presente relatório.

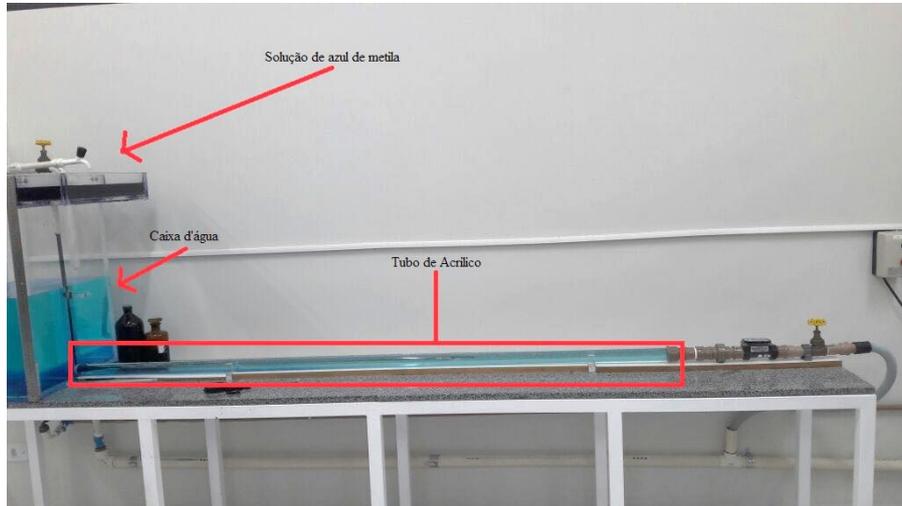


Figura 1: Equipamentos para experimento de Reynolds

- **Procedimentos**

Foi obtido a dimensão da caixa e o diâmetro da tubulação por onde a água escoou, e também aferida a temperatura da água com um termômetro para posteriormente cálculo do volume da caixa (V) e da área do tubo (A_t).

$$V = A * l \qquad A_t = \frac{\pi * D^2}{4}$$

Foi aberta a válvula cuidadosamente para visualizar o regime estabelecido determinando o tempo de escoamento e seu volume para cálculo da vazão (Q). De acordo com a vazão que escoou na caixa, determinou-se a velocidade no tubo (v_t) em m/s. Através da temperatura, foi comparado com os valores obtidos na literatura e calculado por meio de interpolação o valor da viscosidade cinemática.

$$Q_{caixa} = \frac{V}{T} \qquad v_{tubo} = \frac{Q_{caixa}}{A_t}$$

Logo após, calculou-se os números de Reynolds (Re) correspondentes aos escoamentos laminar, transição e turbulento, ou seja, realizou-se o experimento 3 vezes para encontrar os 3 regimes de escoamento.

$$Re = \frac{v * D}{\nu}$$

Sabendo que o volume da caixa está descrito como V , área da caixa como A , comprimento do escoamento como l , área do tubo como A_t , diâmetro como D , Reynolds como Re , vazão como Q_{caixa} e velocidade como V_{tubo} , viscosidade cinemática como ϑ e π é igual a 3,14.

Resultados e Discussão

Os resultados apresentados na tabela 1, são referentes aos cálculos elaborados para o experimento de Reynolds.

Tabela 1: Resultados obtidos para as 3 etapas do experimento.

	Volume (m ³)	Tempo (s)	Vazão (m ³ /s)	Velocidade (m/s)	Reynolds
Esc 1	$1,9425 * 10^{-3}$	127,089	$1,53 * 10^{-5}$	0,015	609,2
Esc 2	$1,9425 * 10^{-3}$	13,025	$1,49 * 10^{-4}$	0,155	5902,9
Esc 3	$1,9425 * 10^{-3}$	7,015	$2,77 * 10^{-4}$	0,288	10966,1

As etapas descritas abaixo são para a realização dos cálculos durante o desenvolvimento do estudo.

Etapa 1: Cálculos referente ao volume da caixa e área do tubo.

$$V = 0,3 * 0,5 * 0,01295 \gg V = 1,9425 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$A = \frac{\pi * (35 * 10^{-3})^2}{4} \gg A = 9,62 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

Etapa 2: Cálculos referente as vazões da caixa.

$$Q_{caixa1} = \frac{1,9425 * 10^{-3}}{127,089} \rightarrow Q_{caixa1} = 1,53 * 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q_{caixa2} = \frac{1,9425 * 10^{-3}}{13,025} \rightarrow Q_{caixa2} = 1,49 * 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q_{caixa3} = \frac{1,9425 * 10^{-3}}{7,015} \rightarrow Q_{caixa3} = 2,77 * 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Etapa 3: Cálculos referente as velocidades de escoamento.

$$v_{tubo1} = \frac{1,53 * 10^{-5}}{9,62 * 10^{-4}} \rightarrow v_{tubo1} = 0,015 \frac{m}{s}$$

$$v_{tubo2} = \frac{1,49 * 10^{-4}}{9,62 * 10^{-4}} \rightarrow v_{tubo2} = 0,155 \frac{m}{s}$$

$$v_{tubo3} = \frac{2,77 * 10^{-4}}{9,62 * 10^{-4}} \rightarrow v_{tubo3} = 0,288 \frac{m}{s}$$

Etapa 4: Cálculo referente a interpolação numérica para obter o valor da viscosidade cinemática através da temperatura, no qual não está disponível na literatura.

Tabela 2: Valores de viscosidade obtida na literatura para respectivas temperaturas.

T°C	$\nu \left(\frac{m^2}{s}\right)$
X1=20	Y1=1,02*10 ⁻⁶
X=24	Y=?
X2=25	Y2=8,94*10 ⁻⁷

$$\frac{X2 - X1}{Y2 - Y1} = \frac{X - X1}{Y - Y1}$$

$$\frac{25 - 20}{8,94 * 10^{-7} - 1,02 * 10^{-6}} = \frac{24 - 20}{Y - 1,02 * 10^{-6}} \rightarrow Y = 9,192 * 10^{-7} \frac{m^2}{s}$$

Etapa 5: Cálculos referente ao número de Reynolds.

$$Re1 = \frac{0,016 * 35 * 10^{-3}}{9,192 * 10^{-7}} \rightarrow Re1 = 609,2$$

$$Re2 = \frac{0,155 * 35 * 10^{-3}}{9,192 * 10^{-7}} \rightarrow Re2 = 5902,9$$

$$Re3 = \frac{0,288 * 35 * 10^{-3}}{9,192 * 10^{-7}} \rightarrow Re3 = 10966,1$$

Analisando os resultados obtidos foi elaborado o seguinte figura 1.

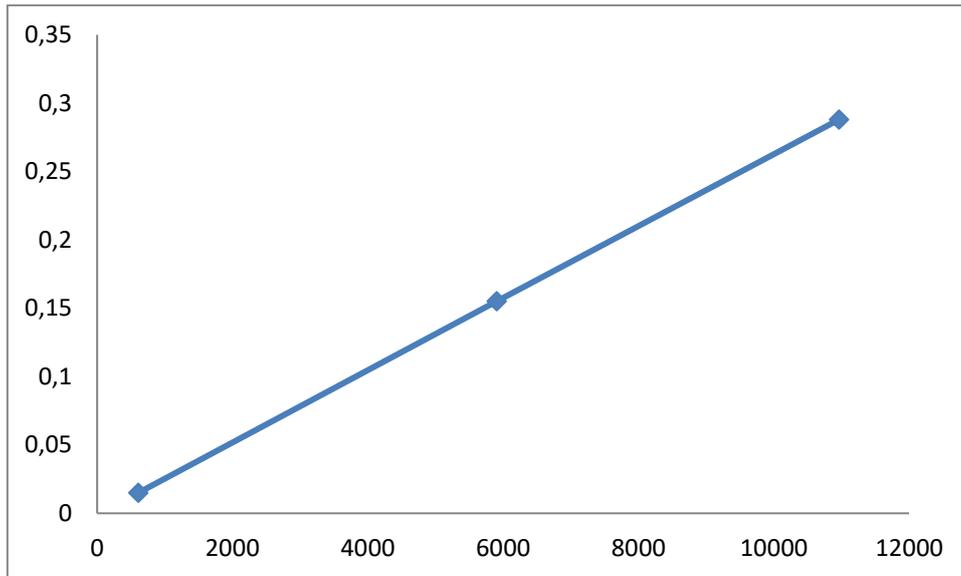


Figura 1: Gráfico velocidade em função número de Reynolds

Durante o presente estudo percebeu-se que o mesmo não possuiu um regime transiente pois, de acordo com BAPTISTA & COELHO, (2010), os regimes são determinados de acordo com os números de Reynolds. Laminar $Re < 2000$; Transição $2000 < Re < 4000$ e Turbulento $Re > 4000$. Foi observado que o ensaio de Reynolds realizado não apresentou valores para o regime de transição.

Por este motivo calculou-se qual seria a velocidade de escoamento, para que ao decorrer do experimento obtivesse um regime de transição.

$$4000 < \frac{v * 35 * 10^{-3}}{9,192 * 10^{-7}} \rightarrow v < 0,105 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad 2000 < \frac{v * 35 * 10^{-3}}{9,192 * 10^{-7}} \rightarrow v > 0,053 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Está descrito acima que o valor ideal de velocidade para o experimento apresentar um regime de transição é $0,105 < v < 0,053$. Sendo assim foi sugerido um valor de velocidade de 0,080 para calcular o número de Reynolds em regime transiente.

$$Re = \frac{0,080 * 35 * 10^{-3}}{9,192 * 10^{-7}} \rightarrow Re = 3046,1$$

Elaborou-se a figura 2 para analisar o regime de transição se estivesse sido obtido durante o experimento, com um valor estipulado de 0,080 de velocidade de escoamento.

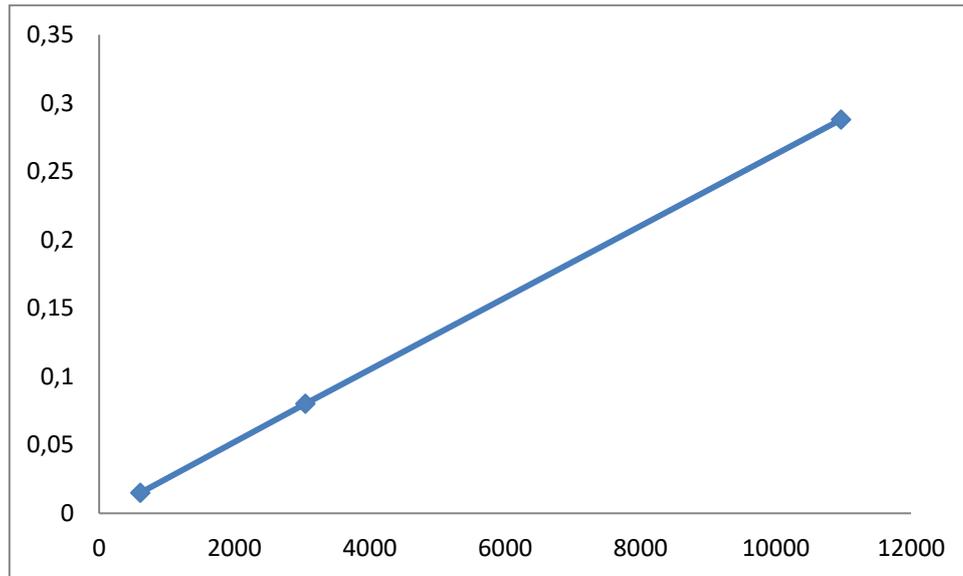


Figura 2: Gráfico velocidade *versus* número de Reynolds, incluso o regime de transição.

De acordo com HOLLINGSHEAD et al., (2011), a utilização de água em testes de laboratório para simular o comportamento de fluidos viscosos escoando com pequenos números de Reynolds é uma evidência da imprecisão de resultados quando comparados a diferentes fluidos (newtonianos, pseudoplásticos, viscoplástico e etc.) já que não possuem um valor único para limitar o regime laminar, devido à forte dependência do número de Reynolds em relação ao índice de comportamento do escoamento. Em geral, têm influência a medida em que as forças viscosas dominam o padrão do escoamento de um fluido, existindo uma maior tendência do regime a ter característica laminar.

Conclusões

De acordo com os resultados, identificou-se os diferentes tipos de escoamento podendo determinar o número de Reynolds para os regimes de escoamento: laminar, de transição ou turbulento. Durante o experimento obteve-se valores para regime laminar de 609,2 e para regime turbulento de 5902,9 e 10966,1, comparando os valores experimentais com a literatura esses regimes citados apresentaram excelentes resultados, pode-se notar o comportamento das partículas dos fluidos frente às condições expostas, como não se deteve valores para região de transição foram elaborados cálculos para encontrar a velocidade de escoamento que foi $0,105 < v < 0,053$, estipulando um número de Reynolds em regime transiente. E a partir desse conceito aplicado a situações reais destacasse a importância na utilização em projetos de tubulações industriais, asas de aviões, carros de Fórmula1, entre outros.

Referências

BAPTISTA, M. B. & COELHO, M. L. P. **Fundamentos da Engenharia Hidráulica**, 3ªed. Ver. E ampl. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010.

ÇENGEL, Y. A.; CIMBALA, J. M. **Mecânica dos fluidos: fundamentos e aplicações**. São Paulo: McGraw-Hill, 2007.

FALKOVICH, G. **Fluid Mechanics**. Cambridge University Press. 2011.

FOX, ROBERT W.; MCDONALD, ALAN T. **Introdução à mecânica dos fluidos**. 6ª. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos, 2006, 798 p.

HOLLINGSHEAD, Colter L; JOHNSON, M. C.; BARFUSS, S. L., SPALL, R. E. **Discharge Coefficient Performance of Venturi. Standard Concentric Orifice Plate. V- Cone. and Wedge Flow Meters at Small Reynolds Numbers**. Journal of Petroleum Science and Engineering. V. 78. p. 559-566. Set. 2011.

OLIVEIRA, L. A. & LOPES, A. G. **Mecânica dos Fluidos**. 3ª ed. Lisboa: Lidel, 2010.

TAITEL, Y., BARNEA, D., DUCKLER, A. E.: “**Modeling Flow Pattern Transitions fro Steady Upward Gás-liquid Flow in Vertical Tubes**”, AIChE Journal, 1980, vol. 26, pp. 345-354.