* 1. **Introdução:** Nesta aula prática, propriedades reológicas de vários materiais serão determinadas pelos estudantes usando-se diferentes métodos ou aparelhos comercialmente conhecidos. Com isto, pretende-se, além de iniciar o aluno nas medidas de viscosidade e reologia, mostrar que há uma interação inevitável do resultado obtido na medida com o tipo de aparelho usado. Desta maneira, cada grupo realizará determinações reológicas em 4 diferentes tipos de viscosímetros ou reômetros, podendo analisar criticamente os métodos empregados. Os valores aqui apresentados como experimentais são fictícios (não reais), apenas para demonstração dos cálculos envolvidos.
  2. **VISCOSÍMETRO DE HAGEN-POISEUILLE**

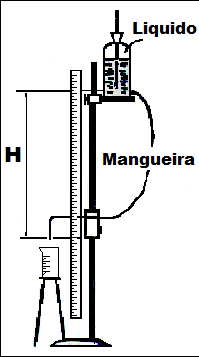
Seja um tubo circular horizontal de comprimento L e raio interior R através do qual se produz um escoamento laminar isotérmico em regime permanente. Para fluidos Newtonianos a viscosidade é dada pela expressão de Hagen-Poiseuille

Onde: D: diâmetro; L: comprimento do tudo; Q: vazão

ΔP: queda de pressão; σ: tensão de cisalhamento; *γ*: taxa de deformação; *μ*: viscosidade.

Enquanto que para fluidos dependentes do cisalhamento, a equação (1) pode ser modificada:



 **(1)**





***Experimental:***

Material: Aparelho mostrado na **figura,** proveta graduada, cronômetro e termômetro. Procedimento: Medir em triplicata a vazão Q (**cronometrar um volume de 10 ml**) em 7 alturas H (**de 7 em 7 cm**), para a solução de CMC. Cálculos e resultados: Montar curva σ contra *γ* e determinar parâmetros reológicos do fluido para a Lei das Potências. Compare a influência da concentração de polímero sobre o comportamento reológico do material.

Volume medido: \_2\_ ml Diâmetro do capilar: \_2\_ mm Comprimento do capilar: \_1,5\_ m

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1.  Altura  H (cm) | 2. Tempo (min) | 3.  Vazão Q  (cm3/min) | 4.  Tensão | 5.  Taxa | 6.  CORREÇÃO | 7.  Viscosidade  σ / *γ* |
| 5 |  | 0,1 |  |  |  |  |
| 13 |  | 0,2 |  |  |  |  |
| 20 |  | 0,4 |  |  |  |  |
| 27 |  | 0,7 |  |  |  |  |
| 34 |  | 0,8 |  |  |  |  |
| 41 |  | 0,9 |  |  |  |  |
| 48 |  | 1,0 |  |  |  |  |

Obs.: Use todas as unidades no CGS, assim obterá viscosidades em Poise. Cálculo “2” é a média da triplicata das medidas de vazão. Após concluir cálculos até “4”, construa um gráfico de “3” (tensão”) em função de “4” (taxa). Se o gráfico for uma reta (linear) calcule “6” (a viscosidade média das 7 alturas H). Caso não seja uma reta, o valor de “4” passa a ser recalculado com a expressão “5”. Refaça o gráfico e recalcule as viscosidades aparentes.

* 1. **VISCOSÍMETRO DE OSTWALD**



Onde: μ rel – viscosidade relativa, μ1 – viscosidade desconhecida, μ2 – viscosidade do fluido referência, t1 – tempo de escoamento do fluido de viscosidade desconhecida, e t2 – tempo de escoamento do fluido referência.

A viscosidade de um fluido Newtoniano pode ser determinada através do tempo decorrido para seu escoamento num tubo capilar vertical de diâmetro fino e comprimento determinado. O tempo decorrido para escoamento do material a ser avaliado deve ser comparado com o de um fluido cuja viscosidade seja conhecida, fornecendo a viscosidade relativa ou absoluta. A equação que nos fornece a viscosidade relativa é dada por:



Tipo: d= 200 d= 400 d=600

Fluido padrão: 1. água 2. Glicerina

**Densidade da amostra (cmc) T= 25oC**

Massa do picnômetro vazio: \_\_5,10\_\_\_ (g)

Massa do picnômetro + água: \_\_25,22\_\_\_(g)

Massa do picnômetro + amostra\_1) 24,32; 2) 25,21; 3) 24,74 (g)

1. \_\_\_\_\_\_\_\_ g/cm3
2. \_\_\_\_\_\_\_\_ g/cm3
3. \_\_\_\_\_\_\_\_ g/cm3

Média: \_\_\_\_\_\_\_\_ g/cm3

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| MATERIAL | TEMPOS (s) | | | MÉDIA TEMPO | μrel | VISCOSIDADE |
| ÁGUA | T2= 4,56 | T2=4,35 | T2=4,72 |  | μH2O/ μCMC= | μCMC= |
| GLICERINA | T2= 35,5 | T2=37,4 | T2=36,8 |  | ΜGlic/ μCMC= | μCMC= |
| CMC | T1=17,6 | T1=15,2 | T1=15,4 |  |  |  |

Obs.: Procurar valores das viscosidades de água e glicerina a 25 oC na literatura, para referência. (Exemplos de fontes: Merck Index, Handbook of Physics and Chemistry, Handbook of Pharmaceutical Excipients).

* 1. **VISCOSÍMETRO DE QUEDA DE ESFERA (HOPPLER):**

A técnica consiste em determinar a velocidade de queda de uma esfera no interior do material. Sabendo-se que, segundo A Lei de Stokes, a viscosidade pode ser dada por:



onde: d: diâmetro da esfera, g: aceleração gravitacional, V: velocidade terminal de

queda, *ρ*esf: densidade da esfera e *ρ*l:densidade do material

Meça: 1. Diâmetro da esfera com paquímetro, massa da esfera na balança e calcule a densidade da esfera. 2. Com um picnômetro meça a densidade do líquido.

Massa da esfera: \_2,2\_\_ g

Diâmetro da esfera: \_9\_ mm

Raio da esfera: \_\_4,5\_\_ mm

Distância entre os 2 meniscos: \_15\_ cm

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| TEMPO  t (s) | VELOCIDADE  L/t (cm/s) | VISCOSIDADE | TEMPO  t (s) | VELOCIDADE  L/t (cm/s) | VISCOSIDADE |
| 1 | 4,2 |  | 1 |  |  |
| 2 | 4,7 |  | 2 |  |  |
| 3 | 4,3 |  | 3 |  |  |

* 1. **REÔMETRO PLACA E CONE (BROOKSFIELD):**

O **Reômetro placa-cone Brookfield R/S-CPS modelo RS PLUS**, é acoplado a um computador contendo **software RHEO 2000-V2.8** onde é permitido traçar o reograma da amostra a ser analisada. O **software RHEO 2000-V2.8** possui ferramentas para cáculos de **índice de fluxo**, **índice de conscistência**, **viscosidade** aparente na maior taxa de cisalhamento, **tixotropia** (por área de histerese) e **também ajusta o reograma a modelos matemáticos mais conhecidos para comportamentos reológicos**.

Os dados do comportamento reológico são importantes para determinar a funcionalidade de ingredientes no desenvolvimento de produtos, controle de qualidade de produtos finais ou intermediários, determinação de tempo de prateleira entre outros. O reômetro é utilizado na indústria e também em pesquisas devido a pequenos volumes de amostra necessário para as análises.

O **Reômetro** está acoplado a um controlador de temperatura Peltier PTR-I, o bloco Peltier fica localizado na base da placa do Reômetro permitindo assim ajustes de temperaturas entre 0 e 135°C.

Para determinar a reologia de um fluido primeiramente precisamos escolher as várias condições de uso do aparelho.

Neste tipo de Reômetro a amostra é cisalhada entre as paredes da **placa** e a do cone ou “**spindle”.** A **placa** do Reômetro é onde colocamos a amostra a ser analisada.

**“Spindle”** é um acessório do equipamento que tem que ser testado para cada amostra a ser estuda, temos **4 “spindles”: P50; C50; P25 e C25**, onde **P** é superfície plana, chamada de prato e **C** a superfície que apresenta uma angulatura e chamamos de **cone**.

Um outro valor a ser determinada é o “**Gap”,** que é a distância em **mm**  entre a placa onde se coloca a amostra e o “spindle”, essa medida é regulada no **anel do micrômetro** que fica localizado na parte superior do Reômetro, esta distância precisa ser testada para cada amostra. Normalmente é utilizado o valor de 0,05 mm, dependendo do reograma há necessidade de testar outros valores.

Neste tipo de reômetro a amostra é cisalhada entre as paredes da placa e a do cone. Para determinar a reologia de um fluido é preciso primeiramente escolher as condições de uso do aparelho. Estas condições influenciam no resultado obtido (características do reograma). Neste experimento o instrumento a ser usado é da marca Brooksfield, modelo RS III Plus com controle de temperatura por Peltier. Para traçar o reograma, iniciam-se as medidas com a menor velocidade de rotação do aparelho e passo a passo aumenta-se esta velocidade. O software possui ferramentas para cálculos de índice de fluxo, índice de consistência, viscosidade aparente na maior taxa de cisalhamento, tixotropia (por área de histerese), bem como ajusta os modelos mais conhecidos para comportamentos reológicos. Análise: Carboxi Metil Celulose 3%, Spindle: P50, gap (distância prato-spindle: M - 0,05 mm, temperatura 25°, controle da velocidade de cisalhamento [CSR –D(s-1)] por 120 seg.

***Procedimento operacional:*** Acompanhados pela técnica Áurea.

* 1. **VISCOSÍMETRO DO TIPO COPO-FORD:**

O custo e a facilidade de operação são algumas vantagens desse aparelho voltado para medida de viscosidade cinemática, e é específico para fluidos Newtonianos. ***Procedimento operacional:*** 1) Colocar o viscosímetro em uma superfície plana, 2) Tapar o orifício inferior, 3) Preencher o recipiente central com material a ser analisado até que o mesmo transborde, 4) Colocar sobre o viscosímetro a placa (P) para acertar o nível de líquido, 5) Retirar a placa, 6) Desobstrua o orifício e, ao mesmo tempo acione o cronômetro, e 6) Pare o cronômetro quando surgir a primeira gota.

Do ábaco para o número do Copo Ford que você está usando, extraia o valor da viscosidade cinemática,

η = η = η =

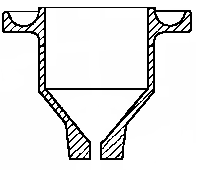
η média=\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

e com a densidade desta amonstra calcule e viscosidade dinâmica.

μ = μ = μ =

μ média = \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_





Diâmetro do furo: \_4\_ mm

Tempo: 1. \_59,3\_\_

2. \_61,7\_\_

3. \_60,1\_\_

Média: \_\_\_\_\_\_\_\_

***Obs.:*** Os valores aqui apresentados como experimentais são fictícios (não reais), apenas para demonstração dos cálculos envolvidos.

***FIM !!***