

AGITAÇÃO E MISTURA

1 – Mistura de Líquidos – tipos e princípios

Na indústria de processamento de alimentos, muitas operações dependem da agitação e mistura de fluidos. Usualmente a agitação refere-se ao movimento induzido em um fluido por meios mecânicos em um recipiente. O fluido pode circular no recipiente ou apresentar outro padrão de fluxo. A mistura está normalmente relacionada a duas ou mais fases inicialmente separadas que são aleatoriamente distribuídas dentro ou através uma da outra.

Para ilustrar esta diferença temos como exemplo, um tanque contendo água fria que pode ser agitado para trocar calor com uma serpentina, mas não pode ser misturado até que algum outro material seja adicionado a ele como, por exemplo, partículas de algum sólido.

Desta forma, entende-se que os processos de agitação diferem dos processos de mistura, uma vez que ao tratarmos de agitação iremos considerar uma única fase e nos processos de mistura consideraremos que os componentes se apresentam em duas ou mais fases.

Nestes processos a mistura resultante podem ainda ser classificada como:

- Homogênea: gás-gás, líquido-líquido (miscível);
- Heterogênea: sólido-líquido.

A agitação dos fluidos não implica necessariamente numa distribuição homogênea dos fluidos ou partículas, isto é, com agitação, a mistura pode não ser conseguida.

As propriedades mais importantes dos materiais, que podem influenciar a facilidade da mistura para fluidos e sólidos são indicadas a seguir.

Fluidos: viscosidade, massa específica, relação entre as massas específicas e miscibilidade;

Sólidos: finura, massa específica, relação entre as massas específicas, forma, aderência e molhabilidade.

2 - Agitação de Líquidos:

Os líquidos são agitados com vários propósitos, dentre os principais têm-se:

- suspensão de partículas sólidas;
- mistura de líquidos miscíveis (água e álcool metílico);
- dispersão de um gás através de um líquido na forma de pequenas bolhas;

- dispersão de um líquido em um outro imiscível, para a formação de emulsão ou suspensão de gotículas muito finas;
- transferência de calor entre líquido e superfície aquecida, tal como serpentina, camisa de aquecimento, etc.

3 - **Equipamento de Agitação:**

Os líquidos são agitados em tanques ou vasos, geralmente cilíndricos e com um eixo vertical. As proporções do tanque variam muito, dependendo da natureza da agitação.

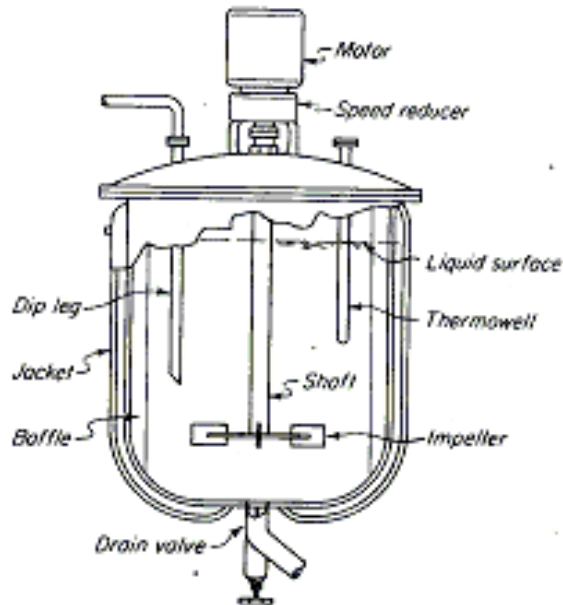


Figura 1 – Vaso típico de um processo de agitação (McCabe, 2001)

- **Características:**

- Tanques cilíndricos verticais, abertos ou fechados para o ar;
- Base do tanque arredondada, para evitar regiões mortas *ou cantos*;
- Altura do líquido = diâmetro do tanque;
- Agitador na parte superior;
- Caixa de engrenagem para redução de velocidade (nem sempre necessária).

- **Acessórios:**

- Local para termômetro;
- Entrada/saída;
- Serpentina ou camisa de aquecimento ou resfriamento;
- Agitadores fazem o líquido circular através do vaso;
- Chicanas são usadas para reduzir o movimento tangencial.

- **Agitadores:**

São divididos em duas classes: fluxo axial e fluxo radial.

- Fluxo axial: correntes paralelas ao eixo do agitador;
- Fluxo radial: correntes tangenciais ou na direção perpendicular ao eixo do agitador.

Os três principais tipos de agitadores para líquidos de viscosidade baixa a moderada são: propulsores, pás e turbinas. Para líquidos muito viscosos, os mais usados são os propulsores tipo hélice e os agitadores âncora.

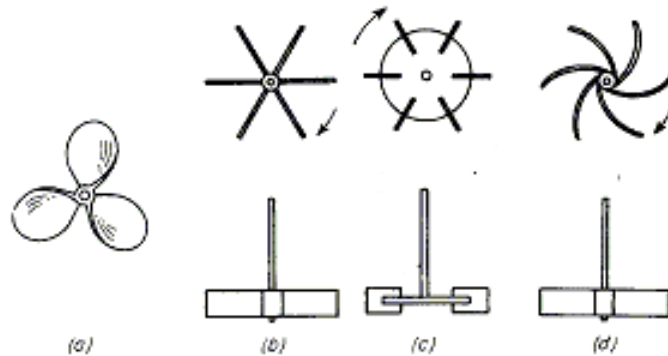


Figura 2 – Propulsores para líquidos. (McCabe, 1985)

(a) Propulsor marinho de três pás, (b) turbina de pá fina aberta, (c) turbina de disco, (d) turbina vertical de pás curvas

- **Agitadores tipo Propulsores (Figura 2-a):**

- Empregado quando se deseja correntes verticais intensas.
- Ex: manter sólidos em suspensão;
- Fluxo axial;
- Agitadores de alta velocidade para líquidos de baixa viscosidade;
- Pequenos: 1150 ou 1750 rpm;
- Grandes: 400 a 800 rpm.
- Este tipo de agitador cisalha o líquido vigorosamente.
- O movimento rotatório dá ao fluido um movimento helicoidal, uma rotação completa move o fluido longitudinalmente a uma distância fixa, dependendo do ângulo das lâminas do propulsor. A razão entre esta distância e o diâmetro do propulsor é chamada *passo do agitador*.
- Passo quadrado: razão igual a 1.
- O agitador mais comum é o propulsor de 6 lâminas e passo quadrado, mas ainda existe o de quatro lâminas e outros casos especiais;
- Diâmetro do propulsor ≤ 18 in, independente do tamanho do tanque;
- Tanques mais profundos podem utilizar dois ou mais propulsores.

- **Agitadores tipo Pás:**

- Podem ser de 2 ou 4 lâminas;
- As lâminas mais comuns são as verticais, mas também podem ser inclinadas;
- Fluxo radial interno próximo as pás, praticamente não gera fluxos verticais;
- Não são utilizados para manter sólidos em suspensão;
- Agitação em tanques profundos requer vários conjuntos de pás;
- Velocidade: 20 a 150 rpm;
- Comprimento das pás: 50 a 80% do diâmetro do tanque;
- Largura das pás: 1/6 a 1/10 do comprimento;
- Se a velocidade de agitação for baixa não há a necessidade de utilizar chicanas, caso contrário, o uso de chicanas é recomendado, senão existirá somente o movimento circular do líquido.

- **Agitadores tipo Turbinas (Figura 2-b,c,d):**

- Parecem algumas vezes agitadores de pás com lâminas curtas;
- As lâminas podem ser: retas, curvadas, inclinadas ou verticais;
- São eficazes para amplo intervalo de viscosidade;
- Velocidades elevadas;
- Produzem fluxos radiais e verticais;
- Bons para mistura de líquidos com aproximadamente a mesma densidade relativa.
- Impulsionam o fluido radialmente contra as paredes e ali a corrente se divide em duas, uma para baixo e outra para cima, e ambas retornam para o centro

- **Tipo de fluxo em tanques agitados:**

A maneira como um líquido se move dentro de um vaso depende de muitas coisas, como:

- Tipo de lâmina, agitador;
 - Características do fluido;
 - Tamanho e proporções do tanque, placas defletoras (chicanas) e agitadores.
- A velocidade do fluido tem três componentes:
 - radial (correntes perpendiculares ao eixo do agitador),
 - axial ou longitudinal (correntes paralelas ao eixo do agitador)
 - tangencial ou rotacional (correntes tangentes ao eixo do agitador; responsável pela formação do vórtice. Deve ser evitada).

• Quando o agitador está disposto no centro a componente tangencial é prejudicial à mistura. O fluxo tangencial segue uma trajetória circular ao redor do eixo e cria vórtices no tanque de agitação.

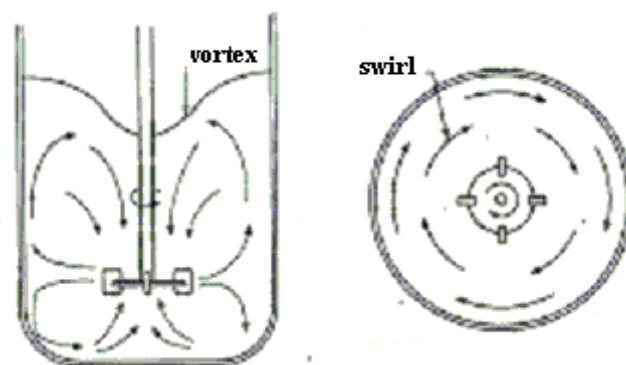


Figura 3 – Padrão de escoamento com uma turbina de escoamento radial em um vaso sem chicanas (McCabe, 2001).

E isso gera alguns problemas, tais como:

- Estratificação permanente em vários níveis. Substâncias sem se misturar, sem fluxo longitudinal de um nível a outro;
- Se houver a presença de sólidos, estes poderão ser lançados à parede e descerem, acumulando-se embaixo do agitador;
- Ao invés de se obter mistura haverá concentração de sólidos;

- Em altas velocidades o vórtice pode ser tão grande que o agitador fica descoberto, introduzindo ar (bolhas) no líquido;
- Oscilação de massa flutuante.
- **Formas de evitar vórtices em tanques agitados:**
 - Em tanques pequenos, o agitador pode ficar descentralizado e/ou inclinado

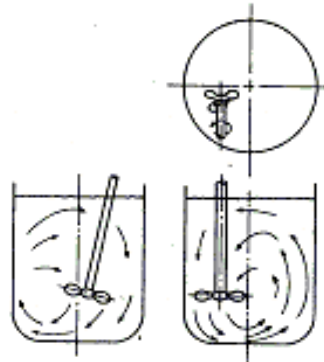


Figura 4 – escoamento padrão com o agitador fora do centro (McCabe, 2001).

- Em tanques largos, o agitador pode ser colocado na lateral horizontalmente.

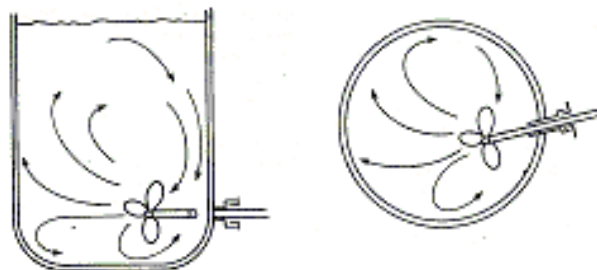


Figura 5 – Tanque com agitador horizontal (McCabe, 1985).

- Se não houver, colocar defletores (chicanas) que impede o escoamento rotacional, sem prejudicar o escoamento radial ou longitudinal.
 - 1 a 3 defletores – tanques pequenos;
 - 4 defletores – tanques grandes.

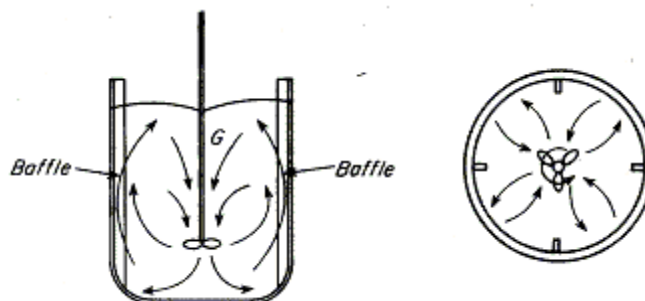


Figura 6 – Escoamento padrão em um tanque com chicanas com um agitador montado no centro (McCabe, 1985)

- Quando há a necessidade de melhorar o fluxo vertical e, quando a direção e a velocidade do escoamento para a sucção do propulsor precisam ser controlados, são usados "draft" tubos

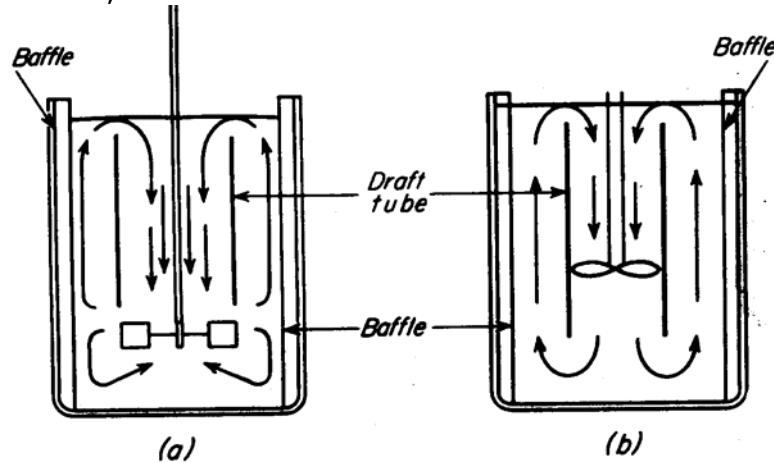


Figura 7 – Tanque com chicanas e "draft" tubos: (a) turbina, (b) propulsor (McCabe, 2001)

Estes equipamentos são úteis quando se deseja grande cisalhamento no agitador, como no caso da fabricação de certas emulsões, ou quando partículas sólidas tendem a flutuar na superfície do líquido.

• **Configurações e dimensões características do tanque padrão:**

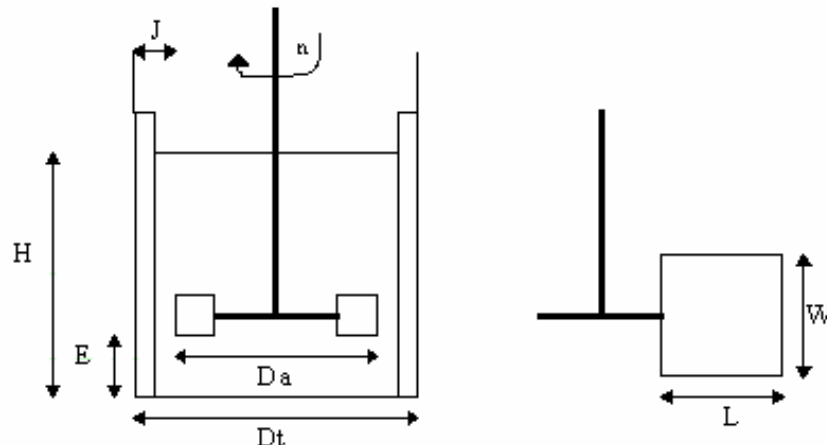


Figura 8 – Tanque padrão (McCabe, 2001).

em que:

- J – largura do defletor;
- n – velocidade de rotação;
- D_t – diâmetro do tanque;
- D_a – diâmetro do agitador;
- H – nível do líquido;
- L – comprimento da lâmina;
- W – altura da lâmina;
- E – distância da lâmina ao fundo.

Segundo McCabe (1985), baseado em um agitador de turbina do tipo apresentado na Figura 8:

$$\frac{D_a}{D_t} = \frac{1}{3} \quad \frac{H}{D_t} = 1 \quad \frac{J}{D_t} = \frac{1}{12} \quad \frac{E}{D_a} = 1 \quad \frac{W}{D_a} = \frac{1}{5} \quad \frac{L}{D_a} = \frac{1}{4}$$

Número de defletores: 4

Número de lâminas: 4 - 16, o mais usual é de 6 - 8

• **Fatores de forma:**

Dimensões lineares do tanque em relações adimensionais.

$$S_1 = \frac{D_a}{D_t} \quad S_2 = \frac{E}{D_a} \quad S_3 = \frac{L}{D_a} \quad S_4 = \frac{W}{D_a} \quad S_5 = \frac{J}{D_t} \quad S_6 = \frac{H}{D_t}$$

Dois misturadores de mesmas proporções geométricas, mas de diferentes tamanhos, serão geometricamente semelhantes tendo seus fatores de forma iguais.

4 - Consumo de potências em tanques agitados

Para estimar a energia necessária para rotacionar um certo agitador e uma certa velocidade, utilizam-se correlações empíricas de potência com outras variáveis do sistema. A forma destas correlações é encontrada através de análise dimensional.

Para um tanque padronizado, os fatores de forma são temporariamente ignorados e o líquido é considerado newtoniano, a potência P é função das seguintes variáveis:

$$P = \psi (n, D_a, \mu, \rho, g)$$

Aplicando análise dimensional:

$$\frac{P}{n^3 \cdot D_a^5 \cdot \rho} = \psi \left(\frac{n \cdot D_a^2 \cdot \rho}{\mu}, \frac{n^2 \cdot D_a}{g} \right) \quad (1)$$

Introduzindo-se os fatores de forma S_1, S_2, \dots, S_6 .

$$\frac{P}{n^3 \cdot D_a^5 \cdot \rho} = \psi \left(\frac{n \cdot D_a^2 \cdot \rho}{\mu}, \frac{n^2 \cdot D_a}{g}, S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6 \right) \quad (2)$$

sendo o número de potência igual a:
$$N_P = \frac{P}{n^3 \cdot D_a^5 \cdot \rho} \quad (2.A)$$

Número de Froude:
$$F_r = \frac{n^2 \cdot D_a}{g}$$

Número de Reynolds:
$$Re = \frac{n \cdot D_a^2 \cdot \rho}{\mu}$$

Assim, a equação (2) fica:

$$N_p = \psi(N_{Re}, N_{Fr}, S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6) \quad (3)$$

Considerando a velocidade na extremidade do agitador:

$$v_e = \pi \cdot D_a \cdot n \quad (4)$$

$$Re = \frac{n \cdot D_a^2 \cdot \rho}{\mu} = \frac{(nD_a)D_a\rho}{\mu} \propto \frac{v_e D_a \rho}{\mu} \quad (5)$$

Este grupo é proporcional ao Número de Reynolds calculado para o diâmetro e a velocidade na extremidade do agitador. Para baixos números de Reynolds ($Re < 10$), escoamento viscoso prevalece no vaso, e para $Re > 10^4$ o escoamento é turbulento.

O Número de Froude é uma medida da razão da força inercial pela força gravitacional por unidade de área agindo no fluido.

O Número de Potência (N_p) é análogo ao coeficiente de arraste ou fator de fricção. N_p é proporcional a razão da força de arraste agindo sobre unidade de área do impulsor e a tensão tangencial.

Utilizam-se os números adimensionais porque suas magnitudes são mais significantes para todo o sistema e produzem correlações empíricas mais simples que as do tipo da equação (1).

- **Correlação de potência para impulsores (impelidores) específicos:**

A relação funcional é utilizada para o cálculo do número de potência:

$$N_p = \psi(Re, F_r, S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6) \quad (6)$$

Para tanques com chicanas a utilização da equação (6) requer o conhecimento do número de chicanas, número de pás no impulsor, e se este for de hélice o número do passo do mesmo.

Para turbinas e agitadores com hélices os resultados desta relação estão mostrados nas figuras abaixo, respectivamente.

A Figura 9 plota N_p vs N_{Re} para tanques com 4 chicanas e agitador do tipo turbina de lâminas planas com 6 lâminas.

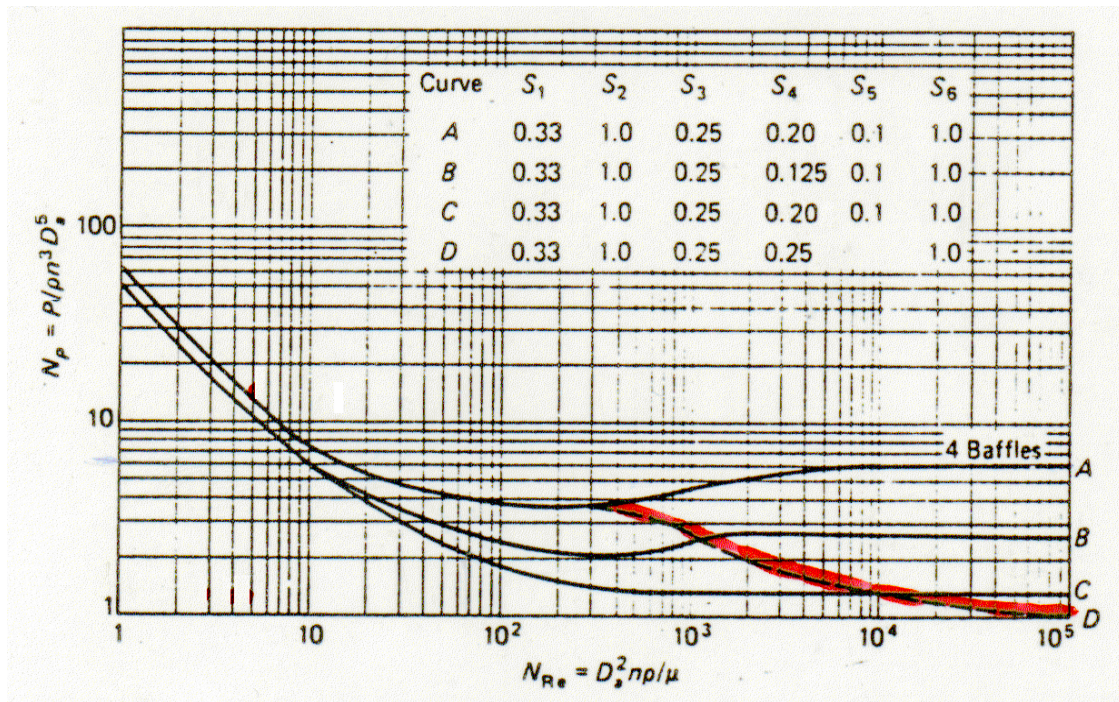


Figura 9 - Número de potência (N_p) vs N_{Re} para turbinas de 6 pás. Na porção em vermelho da curva D, o valor de N_p lido na figura deve ser multiplicado por N_{Fr}^m .
 Curvas (Lâminas): A (Verticais); B (Verticais); C (Inclinadas 45°); D (Verticais - sem chicanas) (McCabe, 1985).

A Figura 10 é utilizada para propulsores com 3 hélices (lâminas). Nela, as curvas B, C e D não apresentam chicanas.

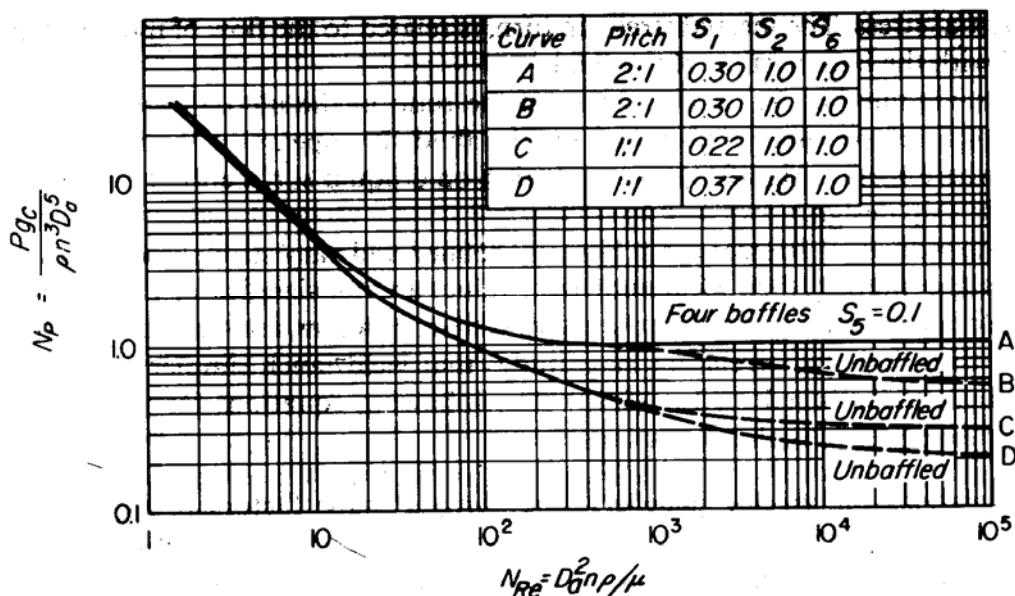


Figura 10 - Número de Potência (N_p) vs N_{Re} para propulsores de 3 lâminas. Com a porção pontilhada das curvas B, C e D, o valor de N_p lido na figura deve ser multiplicado por N_{Fr}^m (McCabe, 1985).

Para baixos números de Reynolds (< 300) ou agitador descentralizado ou tanques com chicanas, o número de potência das curvas para tanques com e sem

chicanas é idêntico. Já para valores de Reynolds mais altos, as curvas divergem. Neste caso, para tanques sem chicanas, ocorre a formação do vórtice e o número de Froude tem efeito e deve-se utilizar a seguinte relação:

$$\frac{N_P}{N_{Fr}^m} = \psi(\text{Re}, S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6) \quad (7)$$

O expoente m da equação (7) é para um dado conjunto de fatores de forma; sendo:

$$m = \frac{(a - \log \text{Re})}{b} \quad (8)$$

sendo que a e b são constantes fornecidas na tabela abaixo.

Tabela 1 – Valores para as constantes a e b

Figura	Linha	a	b
9	D	1,0	40,0
10	B	1,7	18,0
10	C	0	18,0
10	D	2,3	18,0

Fonte: McCabe, 1985.

• **Cálculo do Consumo de Potência:**

Para baixos número de Reynolds ($\text{Re} < 10$), as linhas N_P vs N_{Re} são coincidentes para tanques com ou sem chicanas .

Sob estas condições, o escoamento é laminar e a densidade deixa de ser significativa, e então:

$$N_P N_{\text{Re}} = \frac{P g_c}{n^2 D_a^3 \mu} = K_L = \psi_L(S_1, S_2, \dots, S_6) \quad (9)$$

e desta expressão obtém-se:

$$P = K_L \frac{n^2 D_a^3 \mu}{g_c}, \text{Re} < 10 \quad (10)$$

Em tanques com chicanas, para $\text{Re} > 10000$, o número de potência independe de Re , da viscosidade e de Fr , e tem-se:

$$N_P = K_T = \psi_T(S_1, S_2, \dots, S_6) \quad (11)$$

Partindo desta expressão obtém-se P :

$$P = K_T \frac{n^3 D_a^5 \rho}{g_c} \quad (12)$$

2. Valores de K_T e K_L para vários tipos de impulsores são mostrados na Tabela

Tabela 2 – Valores para as constantes K_L e K_T

Tipo de Impulsor	K_L	K_T
Hélice, passo quadrado, 3 lâminas	41,0	0,32
Hélice, passo 2, 3 lâminas	43,5	1,00
Turbina, 6 lâminas planas	71,0	6,30
Turbina, 6 lâminas curvas	70,0	4,80
Ventilador turbina, 6 lâminas	70,0	1,65
Pás planas, 2 lâminas, $W/D_a=1/5$	36,5	1,70
Turbina, 6 lâminas curvas	97,5	1,08
Turbina com estator e sem chicanas	172,5	1,12

Fonte: McCabe, 1985.

- **Consumo de potência em fluidos não-Newtonianos:**

O número de Potência é definido do mesmo modo para fluido newtonianos e não-newtonianos. O que não é tão facilmente definido é o número de Reynolds, uma vez que a viscosidade aparente do fluido varia com o gradiente de velocidade e este muda de ponto a ponto no tanque.

O número de Reynolds é dado por:

$$Re = \frac{n^2 \cdot D_a^2 \cdot \rho}{\mu_a} \quad (13)$$

sendo que μ_a é a viscosidade aparente, e é dada por:

$$\mu_a = K' \left(\frac{du}{dy} \right)_{\text{médio}}^{n'-1} \quad (14)$$

Para muitos líquidos pseudoplásticos, onde K' é o índice de consistência e a relação du/dy a taxa de deformação que pode ser escrita como:

$$\frac{du}{dy} = 11n, \text{ onde } n \text{ é velocidade}$$

assim:

$$Re = \frac{n^{2-n'} \cdot D_a^2 \cdot \rho}{11^{n'-1} \cdot K'} \quad (15)$$

Fluidos pseudoplásticos (ou não-newtonianos) consomem menos potência que os Newtonianos ($10 < Re < 100$).

Para turbinas com seis lâminas tem-se a Figura 11 que apresenta as curvas para fluidos não-Newtonianos.

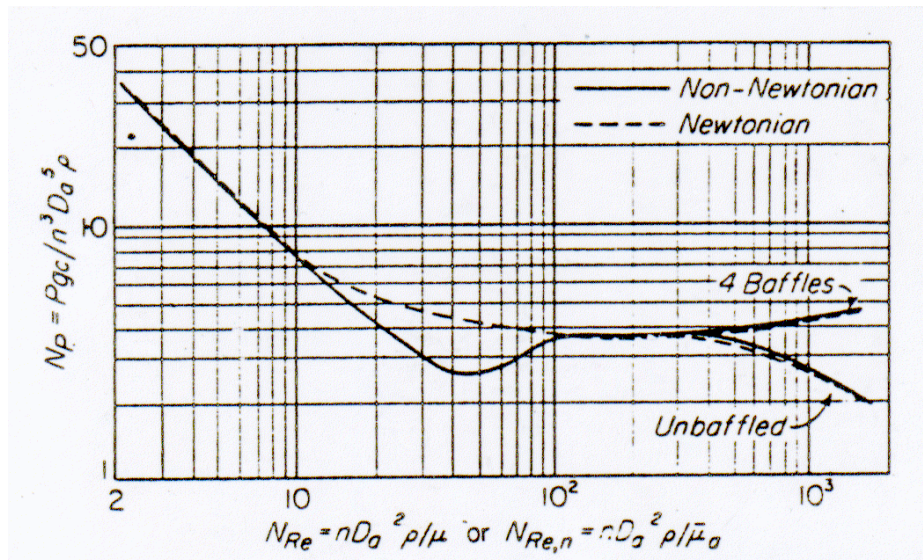


Figura 11 – Correlação de potência para uma turbina de 6 lâminas em líquidos não-Newtonianos. (McCabe, 1985)

Para o consumo de potencia correlacionando os fatores adimensionais, pode-se também utilizar a seguinte correlação:

$$N_p = K(\text{Re})^n \cdot (\text{Fr})^m \quad (16)$$

O número de Froude correlaciona o efeito de forças gravitacionais torna-se significativa somente quando o impulsor causa agitação na superfície do líquido ($\text{Re} > 300$). Desta forma a equação acima, para $\text{Re} < 300$, pode ser simplificada e terá esta forma:

$$N_p = K(\text{Re})^n \quad (17)$$

Curvas experimentais disponíveis podem ser utilizadas para prever os valores de K e n na equação (17). Para impulsores onde a distância do fundo é igual ao diâmetro do agitador temos que $K = 41$ e $n = -1$ (Rushton). Em casos onde não existem dados experimentais disponíveis, a melhor abordagem é a partir das propriedades físicas do material (fluido) e utilizar uma das equações acima.

5 - Ampliação de escala no projeto de agitadores:

Os principais fatores que afetam a seleção de equipamentos são:

- Exigências do processo;
- Propriedades do escoamento do fluido do processo;
- Custo dos equipamentos;
- Propriedades dos materiais de construção dos equipamentos.

O melhor agitador é aquele no qual a mistura ocorre num dado tempo com a menor potência, ou aquele que mistura mais rápido a uma dada potência.

Em muitos casos, o principal objetivo apresentado em um processo de agitação é um dos seguintes: i) igual movimentação de líquido, ii) igual suspensão de sólidos ou iii) taxas de transferência de massa iguais.

- **Procedimento para ampliação de escala**

Um procedimento de ampliação de escala é detalhado a seguir, onde as condições iniciais são as dimensões geométricas Da_1 , DT_1 , H_1 ,e as condições finais são Da_2 , DT_2 , H_2 ,....

Passo 1 : calcule o fator de ampliação de escala R . Considerando o volume do tanque com $D_{t1} = H_1$ temos

$$V_1 = (\pi D_{t1}^2/4) * H_1 \quad (19)$$

Logo a razão de volume é:

$$V_2/V_1 = (D_{t2}^3/D_{t1}^3) \quad (20)$$

Desta forma, o fator de ampliação (R) pode ser determinado:

$$R = (V_2/V_1)^{(1/3)} = (D_{T2}/D_{T1}) \quad (21)$$

Passo 2 : Usando o valor R calcule o valor das novas dimensões. Por exemplo:

$$Da_2 = R Da_1 ; J_2 = R J_1 \dots\dots$$

Passo 3 : A nova velocidade de agitação é calculada pela relação abaixo:

$$N_2 = N_1 (1/R)^n = N_1 (D_{T1}/D_{T2})^n \quad (22)$$

Onde $n = 2$ para igual movimentação de líquido (mesmo número de Reynolds); $n = 3/4$ para igual suspensão de sólidos e, $n = 2/3$ para taxas de transferência de massa iguais.

Passo 4 : Conhecendo-se o novo valor de velocidade de agitação pode-se determinar a potência requerida, utilizando a equação (2.A) e a Figura 9.

Pode-se determinar o novo tempo de mistura caso o sistema de agitação tenha a mesma geometria e a mesma relação de potência/unidade de volume. Para tanto usa-se a equação:

$$t_{T2} / t_{T1} = (Da_2/Da_1)^{(11/18)} \quad (23)$$

Deve-se também considerar que líquidos em escoamento turbulento ou passando por equipamentos, tais como bombas, são vigorosamente misturados. Utilizando estes equipamentos em tubulações ou assegurando o escoamento turbulento, a mistura de líquidos pode em muitos casos ser satisfatória.

6 - Mistura:

A mistura é muito mais difícil de descrever e estudar do que a agitação.

Os tipos de fluxos e a velocidade produzidos pela agitação embora complexos, são razoavelmente definidos e reproduzíveis e a potência pode ser medida prontamente.

Resultados de estudos de mistura são difíceis de reproduzir e dependem muitas vezes de como é definida a mistura pelo experimentador.

Com muita frequência o critério é visual, porém outros métodos são utilizados com objetivos específicos.

Exemplos: pela mudança de cor em uma reação ácido-base com indicador, pode-se medir o tempo de mistura; em misturas sólido-líquido a uniformidade da suspensão é observada visualmente.

- **Mistura de líquidos miscíveis:**

Se o escoamento for turbulento a mistura é bastante rápida.

O agitador produz correntes de altas velocidades e o fluido é misturado melhor próximo ao agitador devido a alta turbulência. Como as correntes se movem na direção das paredes, ocorre uma mistura radial, porém essa mistura é pequena na direção do fluxo. Quando o fluido completa uma volta, ele retorna ao centro do agitador e a mistura intensa ocorre novamente.

Cálculos indicam que para que 99% da mistura ocorra, é necessário circular o conteúdo do tanque 5 vezes.

A Figura 12 apresenta o tempo de mistura nt_T vs n_{Re} .

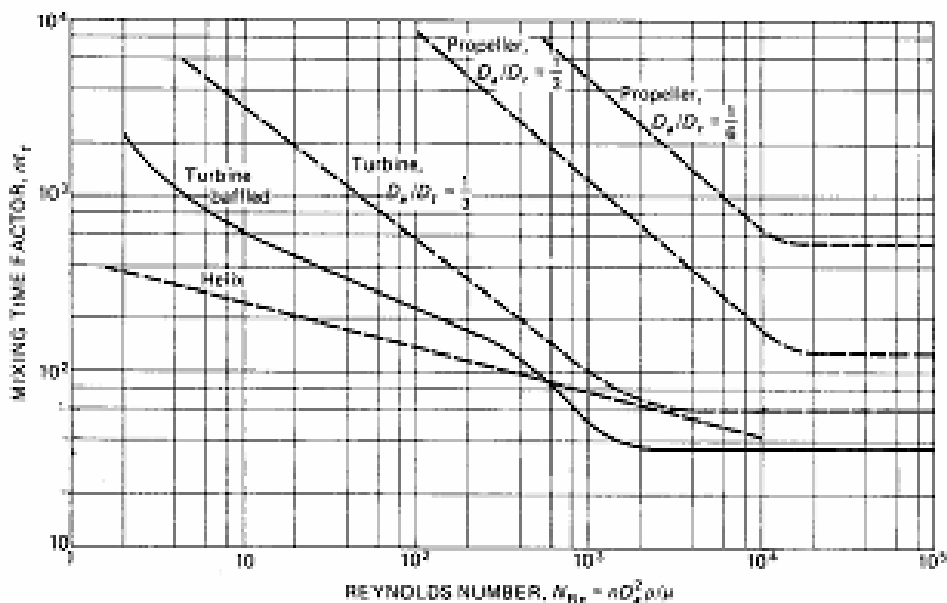


Figura 12 – Tempos de mistura em vasos agitados. Linhas pontilhadas para tanques sem chicanas; linha sólida para tanque com chicana (McCabe, 2001).

Uma correlação mais geral é mostrada na Figura 13.

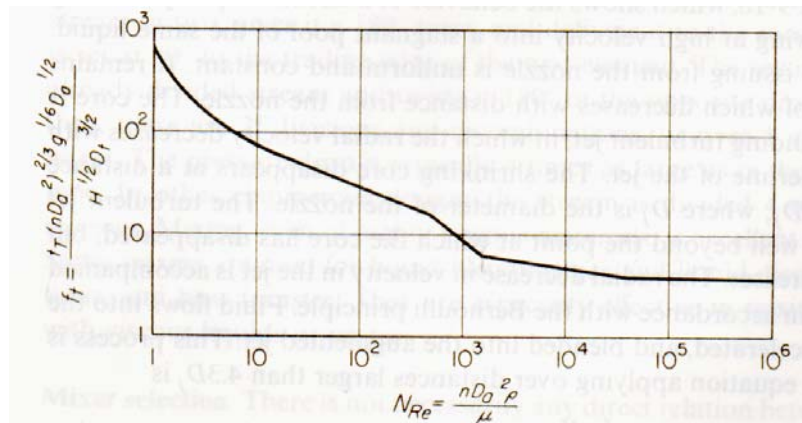


Figura 13 – Correlação para tempos de mistura para líquidos miscíveis em um vaso agitado com turbina e com chicanas (McCabe, 2001).

Outros tipos de agitadores são preferidos para a mistura de certos líquidos. Agitadores com fita helicoidal apresentam menor tempo de mistura para mesma potência quando usado com líquido viscoso, mas são mais vagarosos que turbinas para líquidos menos viscosos.

Agitadores de hélices apresentam tempo de mistura maiores em comparação com turbinas, mas o consumo de potência é menor para a mesma velocidade do agitador.

Quando bolhas de gases, gotas de líquidos, ou partículas sólidas são dispersas num líquido, o tempo de "mistura" para fase contínua é aumentado, mesmo se a comparação é feita com a mesma potência fornecida. O efeito aumenta com a viscosidade, e para líquidos viscosos o tempo pode ser duas vezes o normal, quando o "hold-up" de gás é 10%.

- **Aplicação 1 (Geankoplis)**

Uma turbina é instalada em um tanque com 1,83m de diâmetro. A turbina tem seis laminas e diâmetro de 0,61 m e esta posicionada a 0,61 m do fundo do tanque. As laminas possuem 0,122 m altura. O tanque contém quatro chicanas cuja largura é 0,15 m. A turbina opera a 90 rpm e o líquido no tanque tem viscosidade de 10 cp e densidade de 929 kg/m³. Considere Dt=H. (1cp = 0,001 kg / m.s)

Qual é a potência necessária em kW para movimentar o fluido nas condições estabelecidas. $Re = 5,185 \times 10^4$ $N_p = 6$ $P = 1,6$ kW

Considerando que a solução tem viscosidade de 100.000 cp qual será a potencia necessária? $Re = 5$ $N_p = 14$ $P = 3,7$ kW

- **Aplicação 2 (Earle).**

Um concentrado de vitaminas é misturado em molasses e taxas satisfatórias foram obtidas em um tanque com 0,67 m de diâmetro, 0,75 m de altura com um impulsor de 0,33 m de diâmetro girando a 450 rpm. Se para uma aplicação em maior escala, um tanque com 2 m de diâmetro, determine os valores adequados para a altura de líquido no tanque, diâmetro do impulsor e velocidade de rotação. Considere que devem ser mantidas as mesmas condições de mistura.

Fluido: Molasse - densidade 1520 kg/m³ ; viscosidade 6,6 Nsm⁻².

Determine a potência requerida para o motor que irá movimentar o impulsor.

Utilizando subscritos **p** para o tanque pequeno e **g** para o tanque grande as relações dimensionais devem ser as mesmas nos dois tanques.

Resolução :

Considerando que o tanque é três vezes maior que o modelo temos (ver tópico relativo a ampliação de escala):

$$D_g = 3 * D_p = 3 * 0,67 = 2,01\text{m}$$

$$H_g = 3 * H_p = 3 * 0,75 = 2,25\text{m}$$

Diâmetro do impulsor:

$$D_g = 3 * D_p = 3 * 0,33 = 0,99 \text{ m}$$

Considerado similaridade dinâmica (mesmo número de Reynolds):

$$Re_g = Re_p$$

$$(D^2 n_g \rho / \mu)_g = (D^2 n_p \rho / \mu)_p$$

$$n_g = (1/3)^2 * 450 = 50 \text{ rpm} = 0,83 \text{ rps}$$

$$Re_g = (D^2 n_g \rho / \mu) = (1^2 * 0,83 * 1520) / 6,6 = 191$$

Assumindo $K = 41$ e $n = -1$

$$N_p = (P/D^5 n^3 \rho) = 41 * Re^{-1}$$

$$\text{Logo } P = (41 * 1^5 * 0,83^3 * 1520) / 191 = 186 \text{ W}$$

• Aplicação 3 (Geankoplis)

Utilizando os dados do problema descrito na aplicação 1, determine o tempo de mistura.

Solução:

Do exemplo temos:

$$H = Dt = 1,83 \text{ m}, Da = 0,61\text{m}, n = 90/60 = 1,5 \text{ rps}, \rho = 929 \text{ kg/m}^3, \mu = 0,01 \text{ Pa.s},$$

$$Re = 5,185 \times 10^4$$

Logo a partir da figura 13 temos que para $Re = 5,185 \times 10^4$, $f_t = 4$

$$f_t = 4,0 = \frac{t_T (n_1 D_a^2)^{2/3} g^{1/6} D_a^{1/2}}{H^{1/2} \cdot D_t^{3/2}} = \frac{t_T (1,5 \times 0,61^2)^{2/3} \times 9,8^{1/6} \times 0,61^{1/2}}{1,83^{1/2} \times 1,83^{3/2}} \quad (18)$$

$$t_T = 17,3 \text{ s}$$

Referências consultadas

Earle, R. L. e Earle, M. D. Unit operations in food processing

Gomide, R. Operações unitárias

Geankoplis, C. J. Transport Processes and Separation Process Principles

Mc Cabe. Unit operations, 1985.

Mc Cabe. Unit operations, 2001.