



ESTUDO DO DESEMPENHO DOS IMPELIDORES ÂNCORA, FITA HELICOIDAL E PARAFUSO NUMA OPERAÇÃO DE MISTURA

Neusa Maria Pavão Battaglini

Universidade Estadual Paulista - Unesp, Departamento de Física, Faculdade de Ciências, Av. Luiz Edmundo Carrijo Coube, S/N, Bauru, Brasil, neusapb@fc.unesp.br.

Paulo César Razuk

Universidade Estadual Paulista - Unesp, Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia, Bauru, Brasil.

***Resumo.** Este trabalho teve como objetivo avaliar qual impelidor utiliza da forma mais adequada a energia entregue ao sistema durante uma operação de mistura. Os impelidores âncora, parafuso e fita helicoidal foram usados para produzir a mistura de açúcar em água em um tanque cilíndrico de fundo toro esférico e sem defletores. Durante a operação determinou-se o tempo e a potência requeridos para se obter uma mistura a 40 e 60^o Brix correspondentes as massas específicas de 1,176 10³ e de 1,286 10³ kgm⁻³. O estudo do desempenho dos impelidores foi feito pela análise da energia requerida durante a operação, a partir da relação entre a potência consumida e o tempo de mistura. O impelidor âncora teve um melhor desempenho devido ao tipo de fluxo desenvolvido no fluido, atingindo a mistura desejada nos tempos: 95 s para o xarope a 40^o Brix e 260 s para o xarope a 60^o Brix. O impelidor tipo parafuso não atingiu a mistura desejada num intervalo que satisfizesse as condições práticas de operação não sendo, portanto, sua aplicação indicada nas condições previstas nos ensaios.*

Palavras-chave: mistura, potência, energia

1. INTRODUÇÃO

Vários tipos de impelidores podem ser usados para produzir agitação ou mistura em fluidos, fornecendo energia por meio da rotação. O impelidor imprime ao fluido um movimento circular cujo modelo de fluxo resultante depende do tipo de impelidor utilizado, das características do fluido, das dimensões do tanque, da relação entre as dimensões do tanque e do impelidor e da existência ou não, no costado do tanque, dos defletores de corrente.

Como a velocidade do fluido no interior do tanque admite três componentes: uma radial, que atua perpendicular ao eixo do impelidor; uma longitudinal atuando na direção paralela ao eixo do impelidor e uma tangencial ou rotacional, que atua na direção tangente à circunferência com centro no eixo, o modelo de fluxo resultante fica determinado pela variação dessas componentes de ponto a ponto. No caso geral em que o eixo do impelidor é vertical, a componente longitudinal é vertical e as componentes radiais e tangenciais estão contidas em planos horizontais. (Nagata, 1975).

As componentes longitudinais e radiais são responsáveis pela manutenção do fluxo necessário à ação de mistura. A componente tangencial é geralmente inconveniente e prejudicial, pois como provoca um movimento circular ao redor do eixo pode criar um vórtice na superfície do fluido, produzindo uma

circulação de fluxo laminar sob forma de camadas superpostas em vários níveis sem, contudo, produzir fluxo entre elas. Caso existam partículas de sólidos nessas correntes circulatórias, as forças centrífugas tendem a lançá-las contra as paredes do tanque onde elas se movem para baixo em direção ao fundo e ao centro do tanque. O resultado é a concentração das partículas ao invés de mistura.

Quando um líquido de baixa viscosidade é movimentado, em tanques, por um impelidor introduzido verticalmente, existe a tendência ao desenvolvimento do modelo de fluxo tangencial em redemoinho isto é, com formação do vórtice que desaparece com a introdução de defletores no costado (Razuk, 1992). Na presença do vórtice o conteúdo do tanque gira sem produzir quase nenhuma mistura, além disso, com o aumento da rotação do impelidor, há um maior consumo de potência e o vórtice torna-se mais profundo podendo alcançar o impelidor.

Quando isso acontece, parte do impelidor gira fora do fluido e a potência transferida ao fluido diminui. Existe, então, um limite para o aproveitamento da energia transferida ao fluido e isso constitui um inconveniente não só do ponto de vista econômico como também para eficiência da operação. No caso de uma operação onde o objetivo é a mistura, o produto da potência consumida pelo tempo de mistura, isto é, a energia é que deve ser considerada no desempenho do sistema de agitação.

Os impelidores especiais como âncora, fita helicoidal e parafuso são freqüentemente usados na mistura e agitação de fluidos altamente viscosos. A aplicação na mistura de fluidos de baixa viscosidade não é prevista na literatura, mas, atualmente, eles têm sido utilizados quando o produto de viscosidade relativamente baixa, exigir uma âncora ou fita helicoidal para raspar a superfície de troca térmica e diminuir a resistência convectiva interna aumentando a transferência de calor. O parafuso especificado por necessidade imperiosa em decorrência das características do produto em sua fase final de processamento, pode encontrar, na maior parte do tempo, um fluido de baixa viscosidade. A prática atual em se utilizar esses impelidores em condições diferentes daquelas normalmente empregadas e a ausência de informações quantitativas e qualitativas que mostrem a viabilidade do seu emprego foram os fatores que motivaram este estudo. Neste trabalho procurou-se avaliar qual impelidor utiliza da forma mais adequada a energia entregue ao sistema sem comprometer a qualidade do produto final.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais

Os ensaios foram realizados em um recipiente (tanque) de vidro transparente, cilíndrico, com fundo toro esférico, sem defletor, com diâmetro 0,130 m e com capacidade de 2,360 L. Os impelidores foram construídos em aço inoxidável e sustentados por eixos maciços de comprimento 0,255 m. O eixo-árvore foi introduzido verticalmente de modo a posicionar os impelidores centralizados no interior do tanque. Em todos os ensaios, a altura do nível do fluido foi fixada como sendo igual ao diâmetro do tanque. Os diagramas esquemáticos dos impelidores estão mostrados na Fig. (1) e as relações entre as dimensões do tanque e dos impelidores estão na Tab. (1).

O motor utilizado para movimentar os impelidores foi de corrente contínua de excitação independente com potência 220,5 W, corrente 1,4 A e tensão nominal 180VC. O controle da rotação dos impelidores foi feito por um variador eletrônico de velocidade acoplado ao sistema de acionamento. A potência total requerida na agitação foi calculada indiretamente pelos valores de tensão e corrente lidos em multímetros digitais. As medidas de tempo e da rotação dos impelidores foram feitas, respectivamente, por um cronômetro e por um tacômetro digital

Tabela 1. Relações entre as dimensões dos sistemas de agitação.

impelidor	d/D	W/D	h/D	s/d	H/D
âncora	0,90	0,10	0,90		1
parafuso	0,50		0,90	0,60	1
fita helicoidal	0,95		1,00	0,50	1

D: diâmetro de tanque; d: diâmetro do impelidor; H: altura do fluido no tanque; h: altura do impelidor s: passo do parafuso; w: largura da pá.

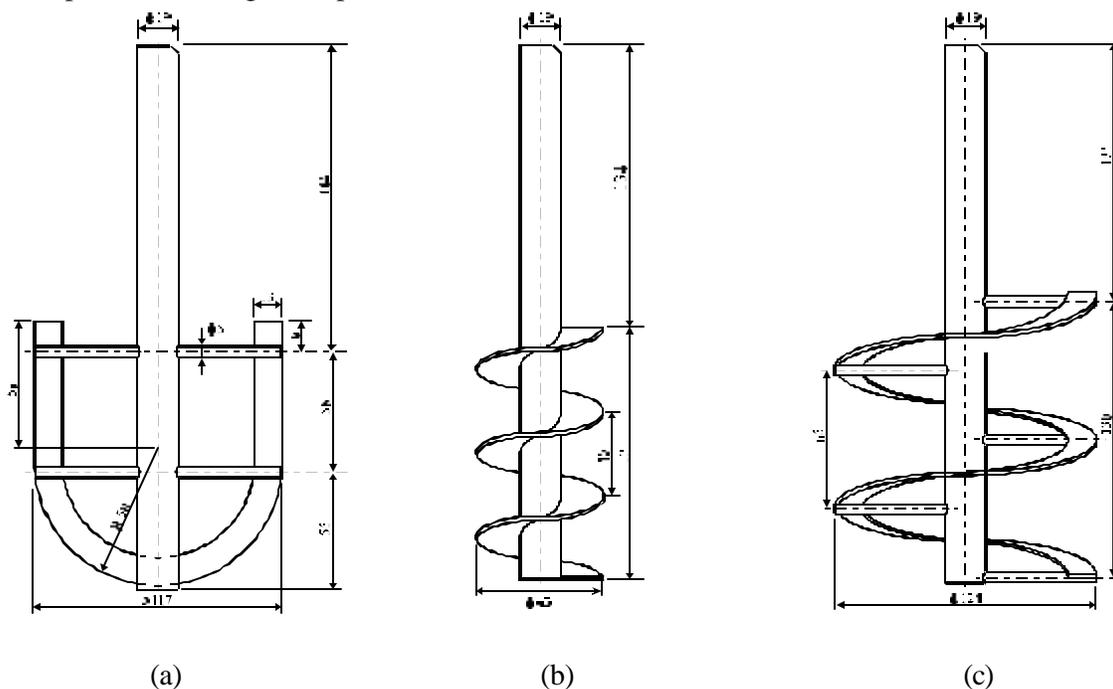


Figura 1. Diagramas esquemáticos dos impelidores: (a) âncora; (b) parafuso; (c) fita helicoidal. (dimensões em milímetros)

Nos ensaios foi usado o açúcar do tipo cristal, do mesmo lote de fabricação, e água deionizada. A Tab.(2) indica as quantidades de açúcar e água correspondentes às respectivas 40 e 60^o Brix

Tabela 2. Massas de açúcar e água usadas na mistura.

xarope (^o Brix)	açúcar (10 ⁻³ kg)	água (10 ⁻³ kg)
40	940	1412
60	1544	1020

2.2. Métodos

Em cada ensaio, as massas de açúcar foram colocadas no tanque e, então, com o auxílio de um sifão colocado próximo à parede do tanque, foi adicionada, lentamente, a água. Esse cuidado foi tomado para garantir que a mistura ocorresse somente em função do misturador, ou seja, para evitar a mistura da água com o açúcar antes da operação de agitação. Somente depois desse procedimento é que os impelidores foram acionados a uma rotação de 180 rpm.

Durante a operação de agitação era retirada da mesma posição do tanque, em intervalos de 5s, uma amostra com volume de 0,070 L verificada a quantidade de açúcar dissolvida utilizando-se a balança de Mhor-Westphall e então calculada a energia requerida na operação pela Eq. (1):

$$E = P_U q \quad (1)$$

onde:

E : energia requerida, J;

P_U : potencia útil, W e

q : tempo de operação, s

Os dados obtidos pela Eq. (1) foram colocados num sistema de coordenadas retangulares, em escala linear, na forma da relação:

$$r = f(P_U q) \quad (2)$$

onde:

r : densidade, kg.m^{-3}

Foi estabelecido um valor limite para o tempo de operação. Esse valor correspondeu ao tempo necessário para que a massa específica da mistura atingisse os valores $1,176 \times 10^3$ e $1,286 \times 10^3 \text{ kgm}^{-3}$ correspondentes a 40 e 60^o Brix respectivamente. O tempo gasto para atingir esses valores de massa específica foi considerado como tempo de mistura.

A potência útil, que representa a potência elétrica convertida em mecânica pelo motor de acionamento, foi calculada pela relação apresentada por Gray-Wallace (1967):

$$UI = E'I + RI^2 \quad (3)$$

onde:

UI : potência total, W;

$E'I$: potência útil, W;

RI^2 : potência elétrica dissipada em calor, W e

R : resistência interna do motor, Ω

A potência total requerida na agitação, P , (W) foi calculada pelas medidas de tensão aplicada, U , (V) e da correspondente intensidade de corrente elétrica circulando pelos terminais da armadura do motor, I , (A) segundo a Eq.(4)

$$P = U I \quad (4)$$

A resistência interna do motor foi calculada pela relação (5). Essa equação é uma simplificação da Eq (3) quando o motor é bloqueado. Uma vez que nos motores elétricos, em geral, a potência mecânica é obtida pela rotação do eixo, impedindo-se sua rotação, ou seja, com o motor bloqueado, não há transformação de potência elétrica em mecânica, a força contra-eletromotriz é nula e a Eq.(3) se reduz:

$$R = \frac{U}{I} \quad (5)$$

Com o valor da resistência interna do motor calculou-se a potência elétrica dissipada em calor, RI^2 , e a potência útil usando a Eq. 3.

Quando a mistura atingiu o valor da massa específica correspondente a 40 e 60 °Brix, calculou-se a energia total consumida na operação de agitação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A energia requerida durante a mistura foi analisada num gráfico de coordenadas retangulares, em escala linear, na forma da relação (2) A Figura (2) representa o comportamento dos impelidores âncora e fita helicoidal.

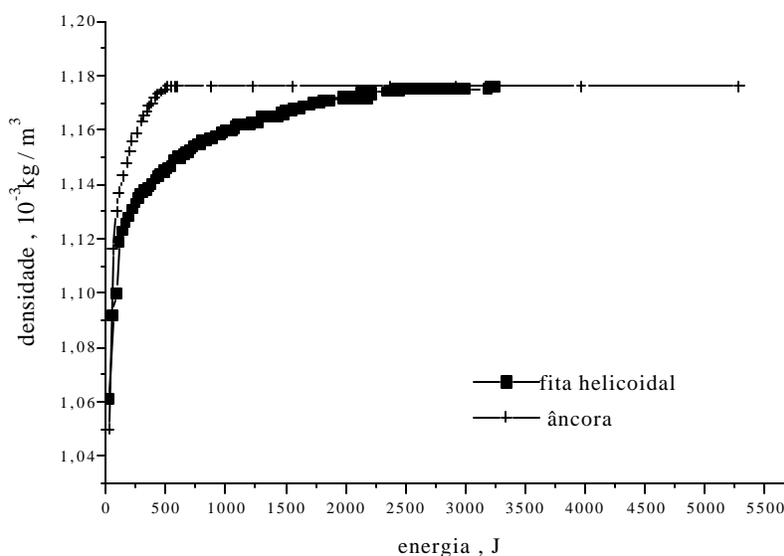


Figura 2. Comparação do desempenho dos impelidores âncora e fita helicoidal operando em vaso com fundo toro esférico - 40° Brix.

Os valores do tempo de mistura, da potência e da energia consumidos para a obtenção de uma mistura a 40° Brix estão reunidos na Tab.(3). O rendimento (h) do sistema foi calculado pela relação entre a potência útil entregue ao eixo e a potência total retirada da linha pelo motor de acionamento.

Tabela 3. Comparação do desempenho dos impelidores numa solução de açúcar e água a 40° Brix.

impelidor	potência total (W)	potência útil (W)	tempo (s)	energia (J)	rendimento h
âncora	5,78	5,43	95	516	93,95
fita helicoidal	6,12	5,73	560	3208	93,63

As pequenas variações ocorridas na potência total introduzida pelo motor ao sistema de agitação mostradas na Tab.(3) são decorrentes das diferentes formas geométricas dos impelidores, uma vez que para manter os impelidores com a mesma rotação, as tensões aplicadas aos terminais do motor eram ajustadas automaticamente pelo variador de rotação. Essas variações não são significativas se comparadas com o tempo gasto para a obtenção dos efeitos de mistura nos diversos ensaios. Como se pode observar

na Tab.(3), embora os rendimentos do motor operando com os dois tipos de impelidores sejam praticamente os mesmos, o tempo gasto para obtenção dos efeitos de mistura desejados foi maior com a fita helicoidal, tendo, portanto um consumo maior de energia.

Verificou-se que, quando se utilizava o parafuso a quantidade de açúcar dissolvida na água em cada ensaio era muito pequena se comparada com as operações em que se empregava o âncora num mesmo intervalo de tempo. Nesse caso, para se obter a mistura desejada o tempo de operação foi muito grande, conseqüentemente um consumo maior de energia em relação aos outros impelidores. A Tabela (4) fornece os dados da massa específica e da energia consumida em três instantes. Observa-se que, o sistema mesmo em operação por um intervalo de tempo muito superior ao da âncora e com um consumo maior de energia não se obteve o valor $1,176 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$ para a massa específica o que indica que a quantidade de açúcar não foi totalmente dissolvida.

Tabela 4. Valores da massa específica e do consumo de energia quando a agitação é feita com o impelidor parafuso - Xarope 40° Brix.

tanque	tempo (s)	massa específica (10^3 kg m^{-3})	energia (J)
	235	1,144	1268
fundo toroesférico	305	1,144	1651
	565	1,171	3174

O ensaio com o parafuso foi repetido mantendo-o acionado continuamente e a solução a 40° Brix foi obtida após 660 s (11 min) com um consumo de 3534 J sendo também maior que o obtido, no processo descontínuo, com o impelidor fita helicoidal.

As observações feitas durante a operação e as conclusões sobre o desempenho do parafuso para a obtenção da mistura à 40° Brix orientaram os procedimentos dos ensaios com o xarope à 60° Brix. Neste caso, as medidas da massa específica foram tomadas acionando o impelidor sem interrupções e o grau Brix foi atingido após 2580 s (43 min) com consumo de 13939 J.

A mistura com concentração 60° Brix foi obtida num tempo de 260 s e com consumo de 1551 J com o impelidor âncora acionado conforme previsto na metodologia.

A dissolução do açúcar na água para se obter uma mistura com concentração 60° Brix foi atingida num tempo de 660 s (11 min) com consumo de 4114 J com o impelidor fita helicoidal acionado continuamente. Todos os ensaios foram repetidos com os impelidores acionados continuamente e a mistura do açúcar foi obtida num tempo maior ao do processo descontínuo e o resíduo na base do tanque foi maior, se comparado, ao da agitação descontínua no mesmo intervalo de tempo. Entre os três tipos de impelidores estudados o âncora foi o que atingiu mais rapidamente a mistura do açúcar e o que consumiu menor energia.

Os diferentes modelos de fluxo produzidos pelos vários impelidores ajudam a explicar as diferenças no tempo de mistura. O parafuso, não é, geralmente, um dispositivo ideal para produzir a mistura em fluidos de baixa viscosidade, já que o seu movimento provoca a formação de redemoinhos. Além do que, a velocidade da massa líquida diminui à medida que se afasta do centro do tanque e para regiões mais afastadas o movimento torna-se praticamente nulo. Nessa região há pouca ação de mistura.

O movimento da âncora produziu no produto um movimento de circulação predominantemente tangencial responsável pelo movimento da massa do produto ao redor do eixo. O melhor resultado com a utilização da âncora é decorrente de um perfil mais adequado ao fundo do tanque utilizado, o que promove por conta disso uma função de raspagem com o fundo do tanque o que não acontece com a fita helicoidal.

A fita helicoidal produziu o movimento da massa no sentido do topo para a base do tanque através de caminhos tortuosos com pouca ação de mistura.

3. CONCLUSÕES

Com base nas observações feitas e nas medidas obtidas nos ensaios realizados, pode-se concluir:

a) O impelidor tipo âncora teve melhor desempenho no tempo de mistura entre os três tipos estudados em razão do modelo de fluxo desenvolvido. O tempo de mistura encontrado para cada impelidor foi:

Âncora:

$q = 95$ s; para xarope 40° Brix em vaso de fundo toro esférico.

$q = 260$ s; para xarope 60° Brix em vaso com fundo toro esférico.

Fita helicoidal:

$q = 560$ s; para xarope 40° Brix em vaso de fundo toro esférico.

b) A mistura desejada não foi alcançada com o impelidor tipo parafuso num intervalo de tempo que satisfizesse as condições práticas de operação não sendo, portanto, útil na mistura de fluidos nas condições previstas nos ensaios.

4. REFERÊNCIAS

Gray, A, Wallace, G. A., 1967, “Eletrotécnica – Princípios e Aplicações”, Ao Livro Técnico S. A, Rio de Janeiro, Brasil, pp.169-77.

Hoogendoorn, C. J., Hartog, A. P., 1967, “Model Studies on Mixers in the Viscous Flow Region” Amsterdam, pp 1689-99.

Nagata, S., 1975, “Mixing – Principles and Applications” Halsted, New York, USA, 452p.

Razuk, P. C., 1992, “Um estudo sobre as operações unitárias de agitação, troca de calor em tanque e mistura de pó. Tese submetida à banca em concurso de Livre Docência - Universidade Estadual Paulista”.

THE STUDY OF THE PERFORMANCE OF THE IMPELLERS ANCHOR, HELICOIDAL RIBBON AND SCREW IN THE MIXTURE

Summary. This work had as objective to evaluate which impeller uses in the most appropriate way the energy he given to the system during a mixture operation. The impellers anchor, screw and helicoidally ribbon were used to produce the mixture of sugar in water in a cylindrical tank of straight bottoms. During the operation was determined the time and the power required to obtain a mixture to 40 and 60°Brix corresponding the specific masses of 1,176 103 and of 1,286 103 kgm⁻³. The study of the performance of the impellers was made by the analysis of the energy required during the operation, starting from the relationship between the consumed power and the time of mixture. The impeller anchor had a better performance because the flow pattern developed in the fluid, reached the mixture desired in the times: 95 s for scrup to 40° Brix and 260 s for scrup to 60° Brix. The impeller type screw did not reach the mixture desired at an interval of time that could satisfy the practical conditions of the operation, therefore, its use is not indicated to the conditions foreseen in the experimental practices.

KEYWORDS: mixture, power, energy