



DESEMPENHO MECÂNICO DE UM REATOR DA INDÚSTRIA DE FERTILIZANTE LÍQUIDO.

J. C. PEREIRA¹, J. R. D. FINZER¹, F. M. G. PORTO²

¹ Universidade de Uberaba, Departamento de Engenharia Química

² Universidade Federal de Uberlândia, Departamento de Pós-graduação em Engenharia Química

O uso de fertilizantes tem como função aumentar a disponibilidade de recursos nutritivos para as plantas que são cultivadas, principalmente em áreas de cultivo que possuem solos pobres em nutrientes. Para ter um crescimento saudável, as plantas precisam de diversos nutrientes. Os elementos químicos presentes nos fertilizantes, conforme a quantidade ou proporção podem ser divididas em duas categorias: macronutrientes e micronutrientes. Podendo ser aplicados diretamente no solo ou sobre os tecidos vegetais. Quanto as suas naturezas podem ser encontradas na forma líquida, em pó, sólido ou granulado e farelado. Os fertilizantes líquidos são geralmente aplicados por irrigação ou aplicação foliar e oferecem ao cultivo nutrientes indispensáveis, como nitrogênio, fósforo e potássio, além de aminoácidos e extratos com propriedades indutoras do desenvolvimento. Uma das operações unitárias de uma indústria de fertilizante líquido é a de agitação e mistura de fluidos. O movimento do fluido é usado para acelerar os processos lentos de difusão e condução para trazer uniformidade de concentração e temperatura, misturar materiais, facilitar reações químicas e provocar o contato íntimo de várias fases.

1. INTRODUÇÃO

O setor de fertilizantes (adubos) é de grande importância para Brasil, sobretudo em função da relevância que o agronegócio tem na economia brasileira. O faturamento - do mercado de Fertilizantes Especiais em 2019 está em R\$ 7,098 bilhões, e apresentou um crescimento médio de 7,7% em relação ao ano de 2018. O maior crescimento foi registrado na categoria de fertilizantes organominerais com 19,5% de crescimento em relação a 2018, seguidos pelos fertilizantes foliares – 6% e pelos fertilizantes orgânicos – 2,9% (ABISOLO, 2020).

Os fertilizantes estão definidos na legislação brasileira (Decreto 86.955, de 18 de fevereiro de 1982) como “substâncias minerais ou orgânicas, naturais ou sintéticas, fornecedoras de um ou mais nutrientes das plantas”. Têm como função repor ao solo os elementos retirados em cada colheita, com a finalidade de manter ou mesmo ampliar o seu potencial produtivo. Sua participação é fundamental para o aumento do rendimento físico da agricultura, isto é, sua produtividade. Os elementos químicos presentes nos fertilizantes, conforme a quantidade ou proporção, podem ser divididos em duas categorias: macronutrientes (carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre) e micronutrientes (boro, cloro, cobre, ferro, manganês, molibdênio, zinco, sódio, silício e cobalto (BNDES, 2006).

Quanto as suas naturezas físicas encontram-se em fase líquida, pó, sólido (granulado) e farelado. Podem ser classificados em mineral simples oriundo da natureza fundamentalmente mineral,



natural ou sintético. Organomineral que é a mistura de compostos orgânicos com a complementação de fontes minerais. Orgânico de natureza orgânica e mineral misto produto resultante da mistura física de dois ou mais fertilizantes minerais e os biofertilizantes que é um produto líquido gerado por meio da metabolização de matéria orgânica e apresenta um grande poder de fertilização.

Os fertilizantes podem ser aplicados diretamente no solo, através de irrigação ou pulverizado (fertilizantes líquidos) sobre os tecidos vegetais (normalmente nas folhas).

Existem basicamente dois processos produção de fertilizantes fluídos, os quais são utilizados tanto para a fabricação de soluções quanto para a fabricação de suspensões, que são conhecidos como processo de mistura a quente (“*hot-mix*”) e processo de mistura a frio (“*cold-mix*”).

No geral, as unidades operam na produção por batelada e são extremamente simples no seu controle de operação (CEKINSKI, 1990).

Os reatores em batelada é o termo genérico para um tipo de vaso largamente usado em processos industriais. O reator é basicamente um tanque agitado convencional e que em sua parte superior são colocadas as matérias-primas. O fundo cônico permite um melhor escoamento do produto. A agitação e mistura das matérias-primas para produção do fertilizante está cargo de um agitador de pás e do reciclo da bomba centrífuga situada na saída do reator. Esta bomba injeta o produto tangencialmente à parede do reator e em sentido contrário à rotação das pás, de forma a provocar uma região de alta tensão de cisalhamento (CEKINSKI,1990).

O movimento do fluído é usado para acelerar os processos lentos de difusão e condução para trazer uniformidade de concentração e temperatura, misturar materiais, facilitar reações químicas e provocar o contato íntimo de várias fases (PERRY’S, 2008).

2. OBJETIVO

Estudar o desempenho mecânico de um reator da indústria de fertilizante líquido.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Número de potência

O número de potência (N_p) é uma variável adimensional que correlaciona a potência do impelidor com alguns parâmetros de operação, como a densidade da mistura (ρ), a velocidade de agitação (N) e o diâmetro do agitador (D), conforme mostrado na Equação (1): DICKEY (2004).

$$N_p = \frac{P}{N^3 \cdot D^5 \cdot \rho} \quad (1)$$

Na Figura (1) são fornecidos valores de números de potência em regime turbulento variando com a geometria do impelidor.



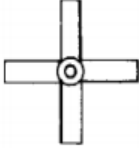
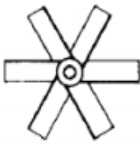



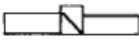




				
				
W/D = 1/5	W/D = 1/5	W/D = 1/6	W/D = 1/6	W/D = 1/5
Pitched-blade (P-4) $N_p = 1.37$	Pitched-blade (P-6) $N_p = 1.70$	Straight-blade (S-4) $N_p = 2.96$	Straight-blade (S-6) $N_p = 3.86$	Disc-type (D-6) $N_p = 5.46$

Figura 1 Números de potência

3.2 Número de Reynolds

O comportamento do fluido no tanque pode ser verificado usando o adimensional número de Reynolds (N_{Re}). Apesar de existir uma analogia entre o N_{Re} de impelidor com o N_{Re} de escoamento em tubulações, os valores para as condições em escoamento turbulento e laminar são diferentes. Em agitação, valores de $N_{Re} < 10$ são para condições laminares e $N_{Re} > 20000$ são para condições turbulentas (DICKEY, 2004).

Então, o N_{Re} para agitação pode ser calculado através da Equação (2), sendo μ é a viscosidade da mistura:

$$N_{Re} = \frac{\rho \cdot D^2 \cdot N}{\mu} \quad (2)$$

3.3 Número de bombeamento

O número de bombeamento (N_Q) é também uma variável adimensional que correlaciona a taxa de bombeamento (Q), velocidade de agitação (N) e o diâmetro do impelidor (D), conforme é mostrado na Equação (3): DICKEY (2004).

$$N_Q = \frac{Q}{N \cdot D^3} \quad (3)$$

Pode ser selecionado por meio da Figura (2), sendo N_Q em função do N_{Re} , e D/T a relação entre o diâmetro do impelidor (D) e o diâmetro do tanque (T).

3.4 Sistema de agitação

No dimensionamento de um sistema de agitação, deve-se buscar uma combinação eficiente entre o impulsor e o tanque em termos mecânicos e de processamento. Então algumas relações



geométricas devem ser levadas em consideração:

D- diâmetro do impelidor;

T- diâmetro do tanque;

Z- altura do fluido no interior do tanque;

F- borda livre;

C- distância do impelidor inferior até o fundo do tanque;

S- espaçamento entre os impelidores;

h- distância do impulsor superior até o fundo do tanque;

H- altura total;

J- largura dos defletores (chicanas, *baffles*);

E- distância dos refletores até o costado do tanque;

Para cálculo dessas relações baseou-se na Tabela (1) de dimensionamento de sistema agitado.

Tabela 01 Relações geométricas para dimensionamento de sistemas agitados

Relações geométricas	Faixa de variação	Valor usual
D/T	0,25 a 0,68	0,33 a 0,50
Z/T	0,50 a 3,00	1
J/T	1/14 a 1/8	1/12
C/D	0,50 a 1,00	1
S/D	0,70 a 2,20	1
h/D	0,40 a 1,80	1
F/Z	0,10 a 0,50	0,15
E/J	0,20 a 0,30	0,2

Fonte: Silva,2000.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para dimensionamento do reator do processo cujo o volume do tanque é dado por 5.000 L, e diâmetro (T) 1700 mm, as relações foram calculadas de acordo com a variável T e a Tabela (1), os



respectivos valores estão representados na tabela (2).

Tabela 2 Relações geométricas

Relações geométricas	Valores (mm)
D- Diâmetro do impelidor	680
T- Diâmetro do tanque	1700
Z- Altura do fluído no interior do tanque	1700
F- Borda livre	255
C- Distância do impelidor inferior até o fundo do tanque	680
S- espaçamento entre os impelidores	680
h- Distância do impulsor superior até o fundo do tanque	680
J- largura dos defletores (<i>chicanas, baffles</i>)	141,6
E- distância dos refletores até o costado do tanque	28,32

Para cálculo do número de potência utilizou-se o impelidor do tipo *Pitched-blade* (P-4) com $N_p=1,37$, velocidade de agitação (N) de 1750 rpm e densidade do fluido de 1340 kg/m^3 . O diâmetro do impelidor utilizado foi de 680 mm como mostra na tabela 02.

$$N=1750 \text{ rpm para (S) } 29,16 \text{ rps com uma redução de } 3,25=8,97 \text{ rps}$$

$$P=1,37 \cdot 1340 \cdot 722,08 \cdot 0,145$$

$$P=261 \text{ CV}$$

O número de Reynolds foi calculado baseado na Equação (2). Então tem-se:

$$Re = \frac{8,97 \cdot 0,462 \cdot 1340}{80}$$

$$Re=5553,4$$

O número de bombeamento pode ser obtido em função do número de Reynolds de acordo com a Figura (2). Com $D/T = 0,4$ o valor de N_q é de 0,65. Para encontrar o número de bombeamento a partir do número de Reynolds é necessário traçar uma reta horizontal no eixo x até a curva D/T relacionada e então traçar uma curva vertical até o eixo y.

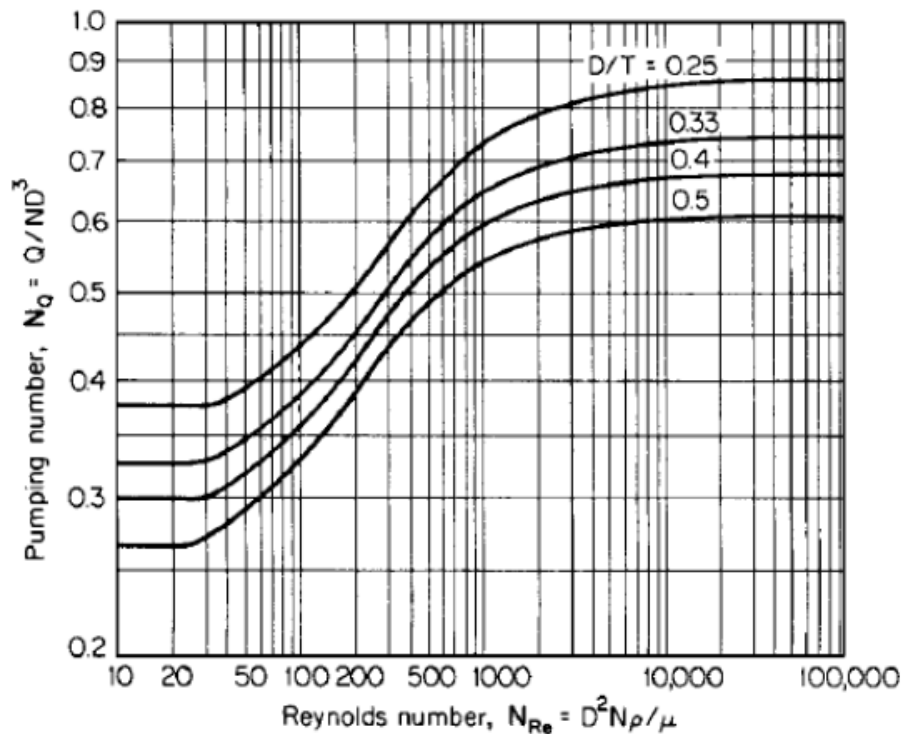


Figura 2 Relação do número de Reynolds com o número de bombeamento.

A potência foi comparada a de um impelidor denominado *Hydrofoil impeller* com o número de potência de 0,214, então:

$$P = (0,214 \cdot 1340 \cdot 722,08 \cdot 0,145)$$

$$P = 40,81 \text{ CV}$$

Assim o número de bombeamento e número de Reynolds é igual à do impelidor *Pitched-blade*, pois os diâmetros são de valores em comum com $D = 0,680 \text{ mm}$.

Foi analisado o reator instalado na indústria de fertilizante líquido onde suas relações geométricas estão representadas na tabela (3)



Tabela 3 Relações geométricas do reator instalado

Relações geométricas	Valores (mm)
D- Diâmetro do impelidor	425
T- Diâmetro do tanque	1700
Z- Altura do fluido no interior do tanque	1700
F- Borda livre	255
C- Distância do impelidor inferior até o fundo do tanque	425
S- espaçamento entre os impelidores	425
h- Distância do impulsor superior até o fundo do tanque	425
J- largura dos defletores (<i>chicanas, baffles</i>)	141,6
E- distância dos refletores até o costado do tanque	28,32

Para calcular o número de Reynolds para o reator instalado utilizou-se a equação (2) portanto:

$$Re = \frac{1340 \cdot 0,425^2 \cdot 722,78}{80}$$
$$Re = 2186,74$$

O número de potência (N_p) foi calculado a partir da equação (2) e o valor de potência (P) é de 30cv, diâmetro do impelidor (D) 0,425, viscosidade do fluido (ρ) 1340 kg/m³ e velocidade de agitação (N) 8,97 rps.

$$N_p = \frac{30}{0,013 \cdot 722,78 \cdot 1340}$$
$$N_p = 0,16$$

As relações geométricas são utilizadas para se obter informações sobre parâmetros importantes como tempo de mistura, consumo de energia e a capacidade de bombeamento. A taxa de circulação em tanques com agitação é definida pelo fluido deslocado por um rotor pela unidade de tempo. Quando existe mais de um impulsor no eixo a distância entre eles é dada pela distância entre o fundo do reator até o agitador inferior.

A comparação entre valores de número de bombeamento, número de Reynolds e potência é de grande importância para avaliar a eficiência da mistura e a escala do impelidor para otimizar o tempo de mistura e conversão do produto. Assim, pode-se relacionar qual impelidor irá ser mais eficiente em termos de processo.

Assim, foi realizado um comparativo com um reator instalado na indústria de fertilizante líquido e dois impelidores projetados a um reator de 5.000L. Na tabela (4) tem-se os comparativos, nota-se



que a potência do impelidor 4PBT-45 apresentou-se um valor relativamente alto ao hidrofólio e o instalado, um estudo aprofundando será realizado para verificação deste valor.

Tabela 4 Comparativo dos impelidores

	4 PBT-45	HIDROFÓLIO	INSTALADO
P (Potência)	261	40,81	30
Re (Reynolds)	5553,4	5553,4	2186,74
NQ (número de bombeamento)	0,65	0,65	0,8
NP (número de potência)	1,37	0,214	0,16

5. CONCLUSÃO

Os impelidores são os responsáveis pelos padrões de escoamento dos vasos e são classificados de acordo com seu regime de mistura. Seus diâmetros e outras características geométricas são responsáveis pela caracterização do escoamento gerado e capacidade de mistura. Dependendo do objetivo do processo de mistura é necessário dar prioridade ao bombeamento que é definido como a quantidade de material descarregado por um impelidor rotativo. A previsão da potência consumida é etapa fundamental do dimensionamento de tanques com agitação mecânica, pois, a depender das condições operacionais e da escala envolvida, o consumo energético pode inviabilizar a sua aplicação.

6. REFERÊNCIAS

Anuário Brasileiro de tecnologia e nutrição vegetal. Revista Abisolo. Disponível em: <<https://www.abisolo.com.br/wp-content/uploads/2020/09/Anuario-Abisolo-2020.pdf>. > Acesso em: 23 de outubro 2020.

BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 24, p. 97-138, set. 2006.

CEKINSKI, E. **Tecnologia de produção de fertilizantes.** São Paulo: Instituto de pesquisas tecnológicas, 1990.

DICKEY, D. S. **Liquid Agitation.** In: Handbook of Chemical Engineering Calculations. Chohey, N. P., Hichs, T. G. New York, McGraw-Hill, 1984. p: 12-1 a 12-20.

SILVA, R.M. **Projeto de Reatores de Ácido Fosfórico.** Tecplan – Consultoria e Planejamento, 2000.

Perry's **Chemical engineers handbook** 8ª edição James n tilton 2008.