
DINÂMICA DE PARTÍCULAS DE APATITA EM SISTEMA AGITADO

F.G. M. PORTO^{1*}, J. R. D. FINZER², R. M. SILVA³

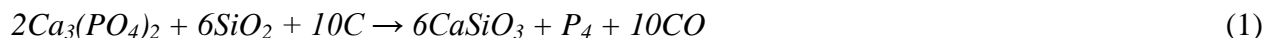
^{1,2} Universidade de Uberaba, Departamento de Engenharia Química

³Tecplan Consultoria e Planejamento

RESUMO - O ácido fosfórico é um produto extremamente importante para a sociedade, uma vez que está inserido no mercado alimentício, agrícola, farmacêutico e químico. A sua produção é por meio das rochas fosfáticas, e o principal processo ocorre com a lixiviação e reação química do fósforo com ácido sulfúrico, formando H_3PO_4 e $CaSO_4$. Este trabalho tem como objetivo avaliar a dinâmica de partículas de um reator para produção de ácido fosfórico. Foi utilizado um sistema de agitação com um impelidor do tipo 4-PBT45 num meio de ácido fosfórico, sulfúrico e apatita. Avaliando os resultados obtidos nos experimentos, concluiu-se que a dinâmica das partículas foi favorável à ocorrência de mistura, consistindo numa velocidade de ascensão do meio 50% maior que a velocidade terminal das partículas.

1. INTRODUÇÃO

A rocha fosfática tem como composição $Ca_3(PO_4)_2$ que pode ser processada para obtenção do fósforo elementar, como é demonstrado na Equação (1), reação da rocha com dióxido de silício e carbono:



Esse mineral se apresenta de forma abundante na crosta terrestre, formado por diversos compostos, geralmente, na forma de sais, conhecidos como fosfatos. Por ser o fósforo muito reativo, não é encontrado livre na natureza e, devido às funções que o mesmo desempenha, se torna imprescindível para produção vegetal. O fósforo apresenta diversas aplicações, mas é na agricultura, sob a forma de fertilizantes (adubos), que ele desempenha papel fundamental (SOUZA; FONSECA, 2008).

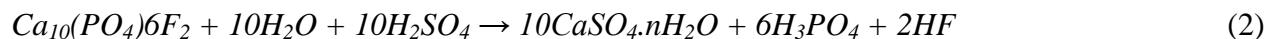


Os concentrados fosfáticos são comumente expressos em função do percentual de pentóxido de fósforo (P_2O_5), principalmente nos meios técnicos e científicos. No comércio e na indústria, porém, é muito comum expressá-lo em F.T.C – fosfato tricálcico $Ca_3(PO_4)$. Em função da origem pode-se citar as rochas fosfáticas de origem sedimentar que são muito reativas no solo, denominados por fosfatos naturais ou reativos. A rocha fosfática é a única fonte economicamente viável de fósforo, sendo obtida nos depósitos de origens sedimentares (em torno de 85% da oferta mundial), ígneas (próximo a 15%) e biogenéticas (SOUZA; FONSECA, 2008).

A produção de ácido fosfórico, proveniente das rochas fosfáticas, pode ocorrer de duas formas: o processo hidrometalúrgico (via úmida), onde predomina o ataque com ácido sulfúrico, e o processo térmico, no qual o concentrado é reduzido até obter a forma elementar de fósforo, que depois é hidratado e posteriormente oxidado, formando assim o ácido. A fabricação pela via úmida ocorre com a adição de concentrado apatítico ao reator, utilizando um transportador helicoidal. Simultaneamente é bombeado ácido sulfúrico e a reação ocorre rapidamente. A polpa (ácido e sulfato de cálcio), composta por cerca de 40% de sólidos, é recalçada para um filtro rotativo, onde o ácido é separado do gesso, que por sua vez ainda passa por um sistema de lavagem em dois estágios. O filtrado obtido na lavagem é utilizado como reciclo no reator de produção, enquanto o produto inicial é estocado para posterior clarificação e concentração (ver Figura 01). O sulfato de cálcio produzido é retirado por outra helicóide e transportado para uma bacia de rejeito. Existe ainda a presença de um sistema de exaustão e lavagem, projetado para evitar a emissão de poluentes na atmosfera, além de controlar a temperatura do reator. Nessas condições de operação, é produzido ácido fosfórico com teor entre 27%-30% de P_2O_5 e sulfato de cálcio dihidratado, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, a uma proporção de 1 t de P_2O_5 /5 t $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ (LOUREIRO et al., 2008).

A clarificação do produto é realizada decantando os sólidos que não foram separados na filtração. Após isso, o mesmo é enviado para estocagem, seguindo a concentração, que é realizada via trocadores de calor antes de entrar alimentar um evaporador a vácuo, no qual o ácido é separado da água que contém resíduos de flúor. O vapor gerado é enviado para uma torre de absorção, onde é formado ácido fluorsilícico que é retirado juntamente com outras impurezas, em um condensador barométrico (LOUREIRO et al., 2008).

O processo por via úmida tem como objetivo destruir a estrutura cristalina dos constituintes da rocha, possibilitando que o radical fosfato esteja em solução na forma de ácido fosfórico. Baseado em uma reação química heterogênea, o resultado é uma polpa reacional composta por cristais de sulfato de cálcio, ácido fosfórico e ácido fluorídrico, conforme a Equação (2) (SILVA, 2000).



sendo de ordem $n = 2, \frac{1}{2}$ ou 0.

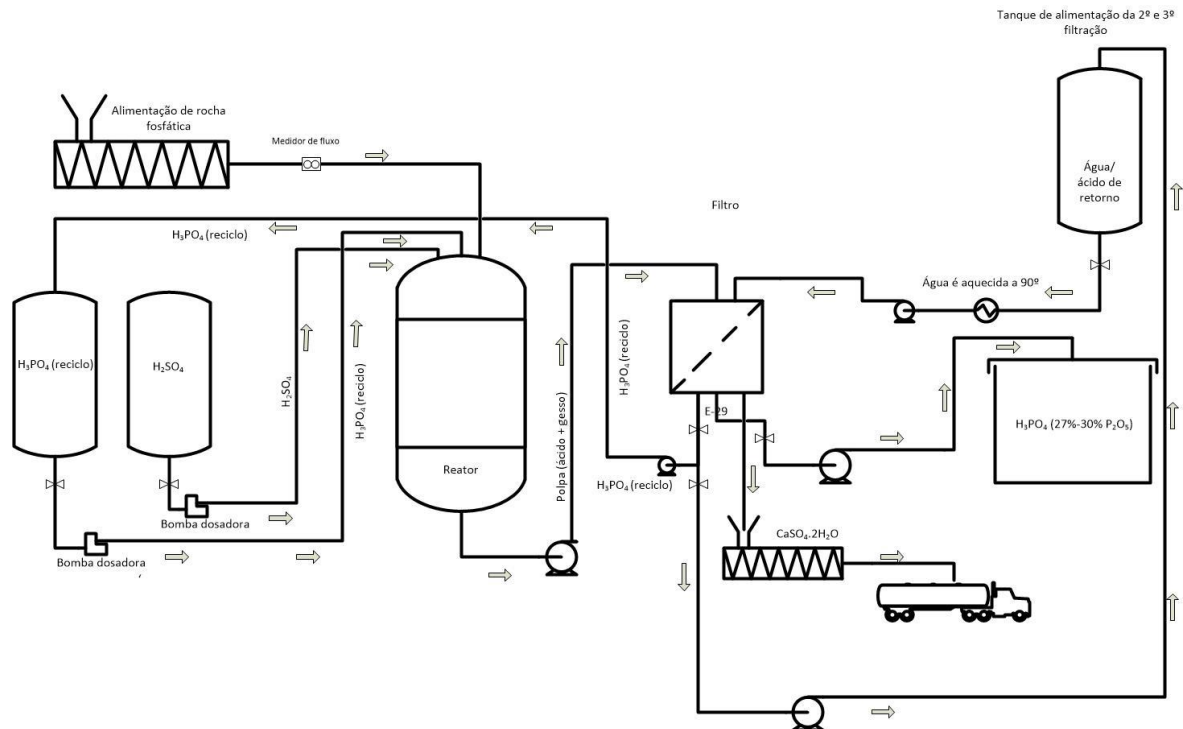


Figura 1 – Fluxograma de produção de ácido fosfórico por via úmida.

O sulfato de cálcio formado no meio fosfórico pode ter diferentes níveis de hidratação, que depende exclusivamente da concentração de P_2O_5 e temperatura de reação, conforme mostrado na Figura 2. As condições de solubilização da rocha fosfática favorecem a formação predominante de cálcio nas seguintes fases cristalinas (SILVA, 2000):

1. Anidrita – $CaSO_4$
2. Hemidrato – $CaSO_4 \cdot \frac{1}{2}H_2O$
3. Dihidrato – $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ (fosfogesso)

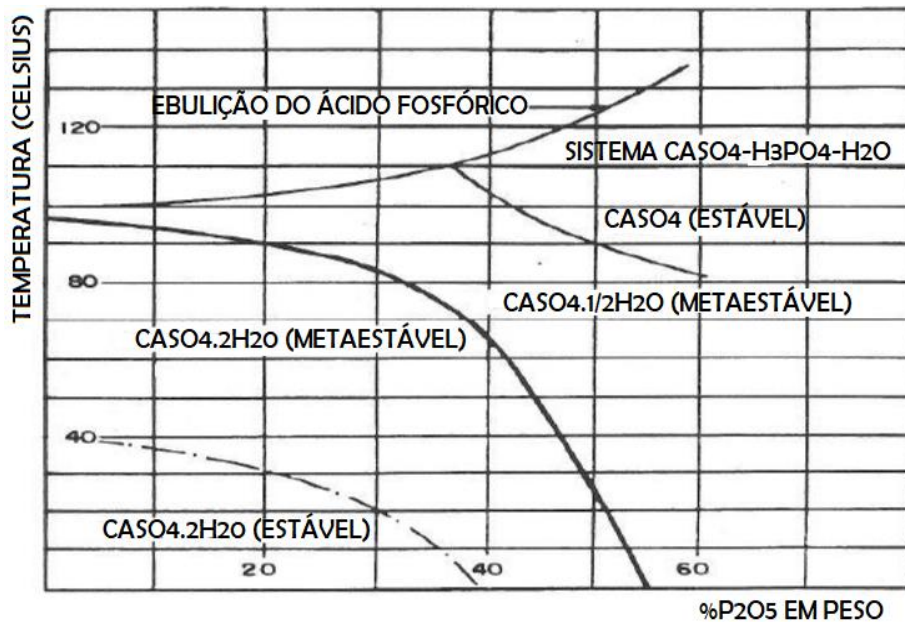


Figura 2 - Diagrama de estabilidade de fases para o sistema $\text{CaSO}_4 - \text{H}_3\text{PO}_4 - \text{H}_2\text{O}$.

O objetivo deste trabalho foi estudar a dinâmica de partículas de uma mistura ácida de ácido fosfórico e sulfúrico contendo apatita para produção de ácido fosfórico.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Execução do ensaio

Em béquer de 1000 mL, diâmetro de 100 mm, adicionar 500 mL de solução ácida (35% de ácido fosfórico em mistura com 2,9% de ácido sulfúrico), aquecer até 70°C (temperatura ideal para formação de gesso dihidrato) e manter agitação constante em 575rpm (velocidade determinada com testes práticos e pelo modelo de impelidor utilizado), nesta condição, adicionar 20 g do fosfato (apatita).

Equipamentos utilizados

1. Agitador IKA, modelo RW 2 digital, com impulsor 4PBT-45, diâmetro igual à 50 mm.
2. Chapa de Aquecimento Corning, modelo P420, P = 680 W;
3. Béquer de 1L com diâmetro igual a 100 mm.
4. Papel filtro faixa preta;
5. Ácido fosfórico com 85% de H_3PO_4 (99,8% de pureza);
6. Ácido sulfúrico com 98% de H_2SO_4 (99,5% de pureza);
7. Apatita com diâmetro médio de 0,00015 m.

Após a realização dos ensaios foram calculados o número de potência, número de bombeamento, velocidades de ascendência e terminal para avaliação da dinâmica das partículas do meio.



3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Da geometria, sendo a relação da largura das pás pelo diâmetro do agitador (W/D) do sistema igual a 0,2 e a utilização de um impelidor 4-PBT-45 (*Pitched Blade Turbine*), obtém-se o número de Potência (N_p), sendo esse igual a 1.37, ver a Figura 3 (DICKY, 2004).

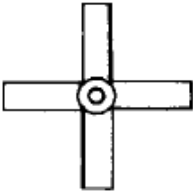
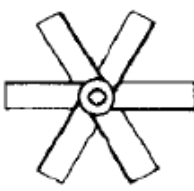
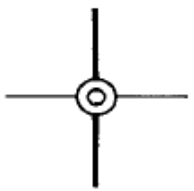
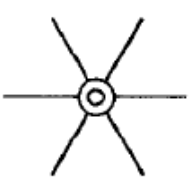
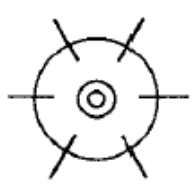
				
$W/D = 1/5$	$W/D = 1/5$	$W/D = 1/6$	$W/D = 1/6$	$W/D = 1/5$
Pás retas inclinadas $N_p = 1.37$	Pás retas inclinadas $N_p = 1.70$	Pás retas $N_p = 2.96$	Pás retas $N_p = 3.86$	Tipo disco $N_p = 5.46$

Figura 3 - Valores de números de Potência, para operação em regime turbulento, em função da geometria do impelidor.

A velocidade de agitação (N) foi selecionada de experimentos em laboratório e constatou-se que 9,6 rps possibilitava uma mistura intensa do meio, característica do regime turbulento. A densidade da mistura da fase líquida, contendo os ácidos, foi determinada em laboratório a 20°C, resultado em 1242 kg/m³.

A velocidade periférica pode ser calculada através da Equação (3):

$$V_p = \pi \cdot N \cdot D_a = \pi \cdot 9,6 \cdot 0,05 = 1,5 \text{ m/s} \quad (3)$$

Conforme Tabela 1, a viscosidade de uma solução contendo 35% de H₃PO₄ à 70°C é igual a 0,001242 kg/m.s. Com esses dados e o diâmetro do impelidor igual a 0,05 m, foi calculado a potência absorvida do sistema e o número de Reynolds, aplicando as Equações (4) e (5) (DICKY, 2004).



Tabela 1 – Viscosidade do ácido fosfórico para diferentes temperaturas e concentrações.

C (%) H ₃ PO ₄	Viscosidade, centistokes (T °C)									
	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100
Em massa										
5	1.1	0.99	0.89	0,74	0,63	0.54	0.47	0.42	0.37	0.33
10	1.2	1.1	0.99	0.83	0.71	0.61	0.54	0.47	0.42	0.38
15	1.4	1.2	1.1	0.94	0.81	0.69	0.61	0.53	0.47	0.43
20	1.6	1.4	1.3	1.1	0.92	0.78	0.69	0.60	0.54	0.48
25	1.8	1.6	1.5	1.2	1.0	0.89	0.79	0.69	0.61	0.55
30	2.2	1.9	1.7	1.4	1.2	1.0	0.90	0.79	0.70	0.62
35	2.6	2.2	2.0	1.6	1.3	1.1	1.0	0.90	0.79	0.71
40	3.0	2.6	2.3	1.9	1.5	1.3	1.2	1.0	0.90	0.81
45	3.6	3.1	2.7	2.2	1.8	1.5	1.3	1.2	1.0	9.2
50	4.3	3.7	3.3	2.6	2.1	1.7	1.6	1.4	1.2	1.1

$$P = N_{Po}/\rho \cdot N^3 \cdot D_a^5 = 1,37/1242 \cdot 9,6^3 \cdot 0,05^5 = 0,47 \text{ kW} \quad (4)$$

$$N_{Re} = N \cdot \rho \cdot D_a^2 / \mu = 9,6 \cdot 1242 \cdot 0,05^2 / 0,001242 = 24000 \quad (5)$$

Sendo a relação do diâmetro do béquer e diâmetro do impelidor igual a 0,5, a Figura 4 possibilita a determinação do número de bombeamento, consistindo em 0,6 (DICKY, 2004).

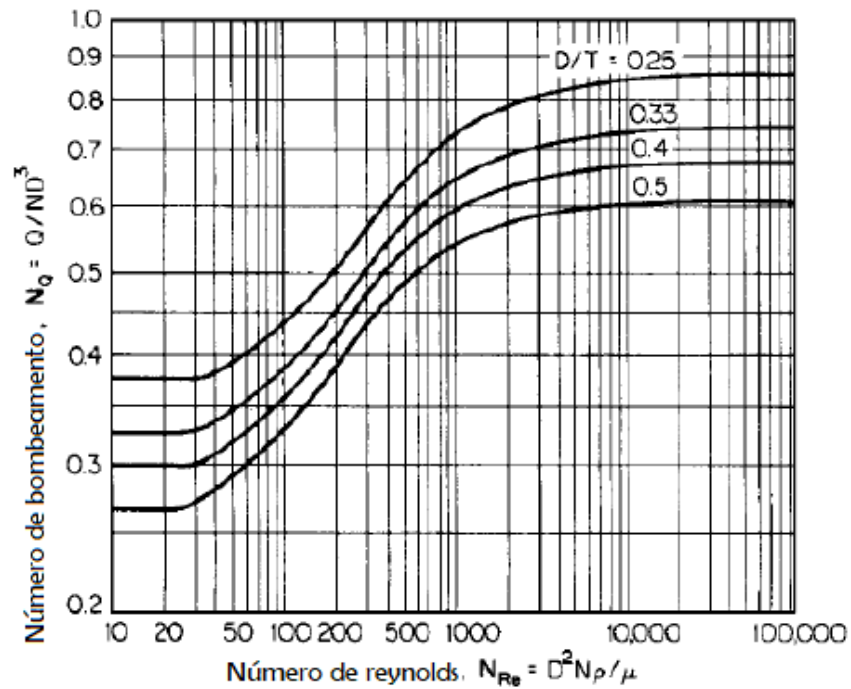


Figura 3 – Número de bombeamento em função do número de Reynolds.

Portanto, a vazão gerada pelo impelidor, aplicando a Equação 6 é:

$$Q = N_Q/N \cdot D_a^3 = 0,6/9,6 \cdot 0,05^3 = 0,00072 \text{ m}^3/\text{s} \quad (6)$$

A velocidade de ascensão do fluido na região anular entre a parede do tanque e o impelidor é dada pela Equação (7), sendo A_b a área da seção transversal do béquer e A_i a área da seção circular formada pela rotação do impelidor. A velocidade terminal das partículas é obtida pela aplicação da lei de Newton, Equação (8).

$$V_a = Q/(A_b - A_i) = 0,00072/(0,00785 - 0,0019625) = 0,12 \text{ m/s} \quad (7)$$

A lei de Newton aplica-se para sistemas com $1000 < NRe < 350.000$, (PERRY e HILTON, 2008):

$$V_t = 1,73 \cdot (g \cdot d_p \cdot (\rho_s - \rho) / \rho)^{1/2} = 1,73 \cdot (9,81 \cdot 0,00015 \cdot (3000 - 1242) / 1242)^{1/2} = 0,08 \text{ m/s} \quad (8)$$

De onde verifica-se que a velocidade de ascensão do fluido é 1,5 vezes a velocidade terminal das partículas, o que significa que irão se deslocar no sentido ascendente pela força de arrasto do fluido.



4. CONCLUSÃO

Como resultado dos experimentos e dos cálculos realizados, foi avaliada a dinâmica das partículas de apatita/sulfato de cálcio num meio reacional contendo essencialmente ácido fosfórico e ácido sulfúrico, pode-se concluir que a velocidade terminal foi 50% menor que a velocidade de ascendência o que indica que o sistema de agitação estudado efetua o escoamento das partículas na direção vertical em um regime de escoamento turbulento conforme verificado com o cálculo do número de Reynolds.

5. REFERÊNCIAS

- DICKEY, D. S. Liquid Agitation. In: Handbook of Chemical Engineering Calculations. Chopey, N. P., Hichs, T. G. New York, McGraw-Hill, 1984. p: 12-1 a 12-20.
- INNOPHOS NUTRITION. Innophos Phosphoric Acid. Disponível em: https://www.innophos.com/___sitedocs/innophos-phosphoric-acid-table-10-figure-11b.pdf, Acesso em: 10/05/2016.
- LAPIDO-LOUREIRO, F.E.; MONTE, M.B.M.; NASCIMENTO, M. (2008), Agrominerais-Fosfato, In: Rochas & Minerais Industriais: Usos e Especificações. CETEM. Rio de Janeiro. 2 ed.
- PERRY, R. H.; CHILTON, C. H. (1973) Chemical Engineer's Handbook. 5. ed. Perry, R.H.; Chilton, C. H. Tokyo, McGraw-Hill Kogakusha.
- SILVA, R.M. (2000). Projeto de Reatores de Ácido Fosfórico. Tecplan – Consultoria e Planejamento.
- SOUZA, A. E; FONSECA, D.S. (2009), Fosfato. In: Economia Mineral do Brasil. Estudo sobre fosfato. DNPM, Brasília.