

# SECAGEM DE FERTILIZANTES EM SECADORES ROTATÓRIOS ROTOAERADOS UTILIZANDO DIFERENTES CONDIÇÕES DE CARREGAMENTO DE SÓLIDOS

B. C. SILVÉRIO<sup>1</sup>, I. A. RESENDE<sup>2</sup>, D. B. L. SANTOS<sup>2</sup> e M. A. S. BARROZO<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Goiás, Instituto de Química

<sup>2</sup> Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Química

E-mail para contato: beatrizcristinadejesus@hotmail.com

**RESUMO** – Em estudos anteriores foram avaliadas diferentes configurações de secadores rotoaerados. Observou-se que os rotoaerados com melhores resultados de secagem apresentaram menores valores de tempo de residência e *holdup*, ou seja, estas novas configurações apresentaram maior capacidade de processamento de sólidos. Sendo assim, neste trabalho estudou-se o efeito do aumento da vazão de sólidos alimentados em diferentes configurações rotoaeradas e na versão convencional contracorrente..

## 1. INTRODUÇÃO

Apesar de o Brasil ser um grande produtor de fertilizantes, faz-se necessário o estudo de técnicas que possibilitem o crescimento desta produção uma vez que ela não atende toda a demanda do país devido ao crescente desenvolvimento da agricultura nacional.

Neste contexto, verifica-se que o processo de secagem na fabricação de fertilizantes apresenta um grande impacto comercial no custo do produto pois demanda um alto consumo energético e por requerer também significativo investimento inicial, além de gastos com manutenção. Estudos relativos a novos equipamentos e otimização dos existentes são certamente muito importantes neste contexto.

Dessa forma, com o objetivo de aumentar a eficiência da secagem, outra configuração do secador rotativo foi desenvolvida na FEQUI/UFU, conhecida como secador rotoaerado, avaliada primeiramente por Lisboa *et al.* (2007) e depois por Arruda (2008).

Estes trabalhos prévios tinham o objetivo de comparar a transferência de massa e energia entre o ar quente e o material particulado super-fosfato simples em secadores rotatórios nas versões: convencional contracorrente e rotoaerado.

Na Figura 1 é possível visualizar vistas internas de um secador convencional, operando com suspensores de 3 segmentos (Figura 1b) e do secador roto-aerado (Figura 1a).



(a)



(b)

Figura 1 - Secadores rotatórios em funcionamento: (a) versão rotoaerado e (b) versão convencional (Arruda 2008).

O secador rotoaerado, utilizado por Arruda (2008) e Lisboa *et al.* (2007), em vez de suspensores, continha um tubo central diretamente acoplado à linha de ar. A ramificação de tubos menores era composta por 56 minitubos, sendo que foram usados diâmetros internos de 9 mm e 20 mm, montados em arranjos específicos. Nesse estudo verificou-se que o secador rotoaerado apresentou melhor desempenho que a versão convencional contracorrente.

Em experimentos realizados por Silvério 2012, avaliou-se 19 diferentes configurações de secadores rotoaerados. Verificou-se que algumas configurações do secador rotoaerado apresentaram ótimos resultados de eficiência de secagem. Esses valores foram ainda mais acentuados nas maiores condições de velocidade do ar alimentado mostrando a maior capacidade da configuração rotoaerada nas condições de maior vazão de ar de secagem. Tendo em vista o melhor desempenho da configuração rotoaerada frente à configuração convencional, principalmente nas condições de maior velocidade do ar alimentado, seria necessário avaliar o desempenho dessas configurações operando em condições de maior vazão de sólidos na alimentação.

Desta forma, este trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência das versões do secador rotoaerado que obtiveram melhores resultados de secagem, operando com maiores condições de carregamento (*holdup*), já que o secador convencional apresenta uma limitação nos níveis desta variável. Assim, foram realizados experimentos extrapolando-se a faixa indicada pela literatura para a vazão de alimentação de sólidos úmidos (Gsu) de um secador rotatório convencional.

## 2. METODOLOGIA

Para os experimentos de secagem e fluidodinâmica deste trabalho foi utilizado o fertilizante do tipo SSPG (super fosfato simples granulado). Esse material apresenta, na sua composição, aproximadamente 20% de  $P_2O_5$  (o chamado SSP 00-20-00).

### 2.1. Secador Rotatório

O equipamento utilizado neste trabalho foi construído seguindo dimensões de projeto recomendadas na literatura (Perry e Green, 1999). Segundo Arruda (2008) a condição ideal de operação do secador convencional contracorrente era de 6 suspensores, com inclinação do tambor de

3° e velocidade rotacional de 3,6 rpm. Assim o secador contracorrente estaria operando em condições que lhe conferem as maiores eficiências de transferência de massa e energia. A Figura 2 mostra um esquema da unidade experimental.

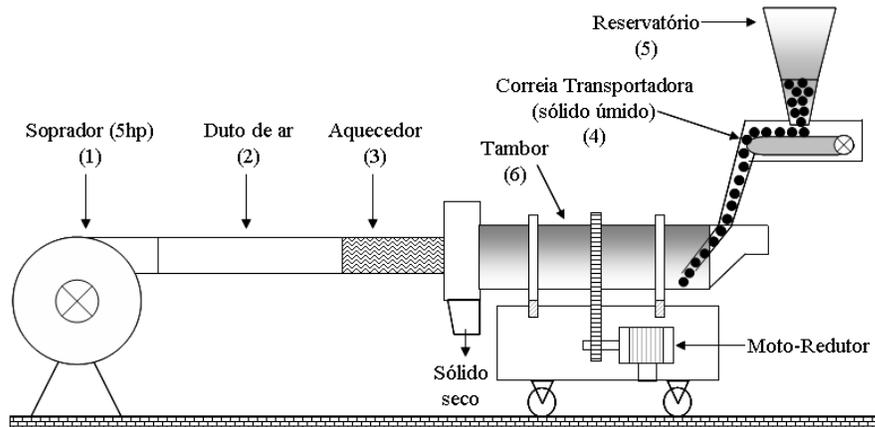


Figura 2 – Esquema da unidade experimental.

Sendo assim, os dados experimentais para comparação dos secadores rotoaerados foram obtidos para a inclinação do tambor de 3° e velocidade rotacional de 3,6 rpm. Estes valores foram escolhidos por corresponderem às condições de carregamento ótimo do secador convencional (Arruda, 2008). O aparato experimental mostrado na Figura.

O secador rotatório (6) tinha 1,5 m de comprimento e 0,3 m de diâmetro e sua estrutura foi construída de forma a permitir variações em sua configuração. As configurações de secadores rotoaerados, utilizados neste trabalho contêm um tubo central com 1,8 m de comprimento e 0,1 m de diâmetro interno, diretamente acoplado à linha de ar. O mesmo tubo central permitia a adaptação de diferentes diâmetros e quantidades de minitubos. Neste trabalho foram utilizadas as configurações: RT-09 com 42 minitubos com 9 mm de diâmetros, RT-04 com 56 minitubos com 6 mm de diâmetro e a configuração RT-17 com 28 minitubos de 9 mm e 28 minitubos de 6 mm de diâmetro dispostos de forma intercalada.

Para avaliação e comparação da capacidade dos secadores rotoaerados em relação ao secador convencional, foram realizados experimentos de secagem e tempo médio de residência em condições equivalentes com diferentes vazões de alimentação de sólidos. As condições operacionais desses ensaios experimentais podem ser vistos na Tabela 1.

Tabela 1 - Condições experimentais de carga de sólidos alimentada para os ensaios.

$v_f$ (m/s)	$T_f$ (°C)	$G_{su}$ (kg/min)
3,9	85	1,0
3,9	85	1,3
3,9	85	1,9
3,9	85	2,5

Sendo  $v_f$  a velocidade de entrada do fluido na linha de alimentação de ar,  $T_f$  a temperatura inicial do fluido e  $G_{su}$  a vazão de sólidos alimentada.

## 2.1. Procedimento Experimental dos Ensaio de Secagem

Os testes de secagem foram feitos após a garantia das condições operacionais constantes, ou seja, quando se estivesse em regime permanente.

Velocidade do Ar na Alimentação: A velocidade média do ar de secagem era medida por um anemômetro de fio quente (de precisão 0,01 m/s) em uma tubulação de 0,2 m de diâmetro.

Medidas do Tempo de Residência: O tempo de residência foi determinado com a metodologia do uso de traçadores. Foram feitas injeções do tipo pulso de 80 traçadores (fertilizantes com a coloração verde) no sistema de alimentação.

Temperaturas do Ar e do Sólido: A temperatura do ar, na entrada e na saída do secador, era medida utilizando-se termopares de cobre-constantan, previamente calibrados em banhos termostáticos com termômetro padrão, ligados a um amostrador digital de precisão 0,1 °C.

Umidade do Ar e do Sólido: A determinação da umidade do ar na entrada e saída do secador era realizada por meio de um termo-higro-anemômetro introduzido na mesma posição em que era medida a velocidade de entrada do ar. Anteriormente ao processo de secagem, o fertilizante era umidificado até a umidade inicial do experimento entre a faixa de 0,12 e 0,15 kg de água por kg de sólido seco. As amostras de fertilizantes eram retiradas na entrada e saída do secador e levadas a estufa à temperatura de  $(105 \pm 2)$  °C por 24 horas, sendo a massa úmida e a massa seca das amostras medidas em balança analítica digital com precisão de  $10^{-4}$  g.

Taxa de Secagem: A taxa de secagem foi calculada pela relação entre a quantidade de água evaporada (razão entre a vazão de sólidos úmido ( $G_{su}$ ) e a vazão de sólido seco ( $G_{ss}$ )) e o tempo de residência das partículas no secador ( $\tau$ ), como na Equação 1

$$D_R = \frac{G_{su} - G_{ss}}{G_{ss} \cdot \tau} \cdot 10^3 \quad (1)$$

Perda de Carga: Para a comparação da perda de carga das diversas configurações de secadores avaliadas, foram obtidos os valores de perda de carga utilizando-se um manômetro de tubo em U com água.

## 3. RESULTADOS

As Figuras 3 a 5 apresentam os resultados de tempo médio de residência, taxa de secagem e carga de sólidos retida nos secadores rotoaerados nas configurações com 9 mm de diâmetro e 56 minitubos (RT-03), 9/6 mm com 56 minitubos tubos (RT-17) e 9 mm de diâmetro dos 42 minitubos (RT-09), bem como os resultados para o secador rotatório convencional contracorrente.

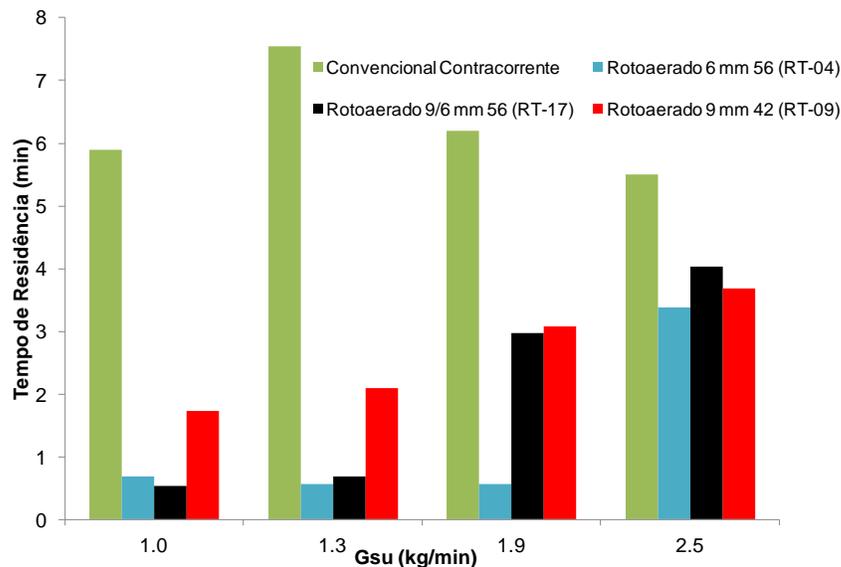


Figura 3 – Resultados do tempo de residência.

Observa-se pela Figura 3 que o tempo de residência para os secadores rotoaerados manteve-se sempre menor do que o tempo de residência da configuração contracorrente em todas as condições analisadas. A versão rotoaerada com 56 minitubos de 6 mm (RT-04) em geral apresentou baixos valores de tempo médio de residência em relação às demais configurações. É possível verificar que as versões do secador rotoaerado avaliadas possibilitaram em todos os casos maior mobilidade para as partículas sólidas favorecendo o escamanto reduzindo o tempo de secagem. Isto pode ter ocorrido devido à falta de suspensores no secador não convencional.

Observa-se um diferente comportamento em relação ao tempo de residência das partículas no secador rotatório convencional contracorrente, passando por um ponto de máximo. Esse comportamento pode ser explicado pelo aumento da quantidade de partículas de fertilizantes que ficam no fundo do tambor e não são coletadas pelos suspensores. Essas partículas não coletadas tendem a se movimentarem mais facilmente pelo processo de rolagem (*rolling effect*) e são arrastadas até o final do equipamento reduzindo o tempo de residência (Konides, 1984). É importante lembrar que a rolagem das partículas deve ser evitada nos secadores convencionais.

A partir dos resultados da Figura 4 é possível visualizar os resultados de taxa de secagem para as configurações analisadas nas maiores vazões de alimentação de sólidos. É possível verificar que em todas as condições de vazão de alimentação, o secador rotoaerado obteve maiores taxas de secagem do que o secador convencional. A versão rotoaerada com 56 minitubos de 6 mm de diâmetro (RT-04) apresentou maiores taxas de secagem nas maiores vazões de sólido estudadas (1,9 e 2,5 kg/min) quando comparada com as outras versões rotoaeradas.

Nas condições de menor vazão de alimentação (1,0 kg/min) observa-se que a versão rotoaerada híbrida, que combina os diâmetros 9 e 6 mm (RT-17), apresentou resultados de taxa de secagem até 18 vezes maior que a versão convencional contracorrente. Na condição de vazão de alimentação igual

a 1,3 kg/min a configuração rotoaerada com 56 minitubos de 6 mm de diâmetro (RT-04) apresentou resultados até 14 vezes maior do que a versão convencional.

No maior condição de carga de sólidos, ou seja 2,5 kg/min, observou-se que as versões do secador rotoaerado apresentaram resultados em torno de 4,5 vezes maior do que a versão convencional e próximos entre si, uma vez que uma maior quantidade de sólidos úmidos disponível acarreta uma redução do potencial de secagem.

Verifica-se que em maiores vazões de sólido na alimentação ocorre uma diminuição do potencial de secagem em relação ao secador convencional. Esta redução na taxa de secagem deve ocorrer devido ao aumento de partículas no leito de sólidos no fundo do tambor o que diminui o contato sólido-fluido que promove a secagem no equipamento.

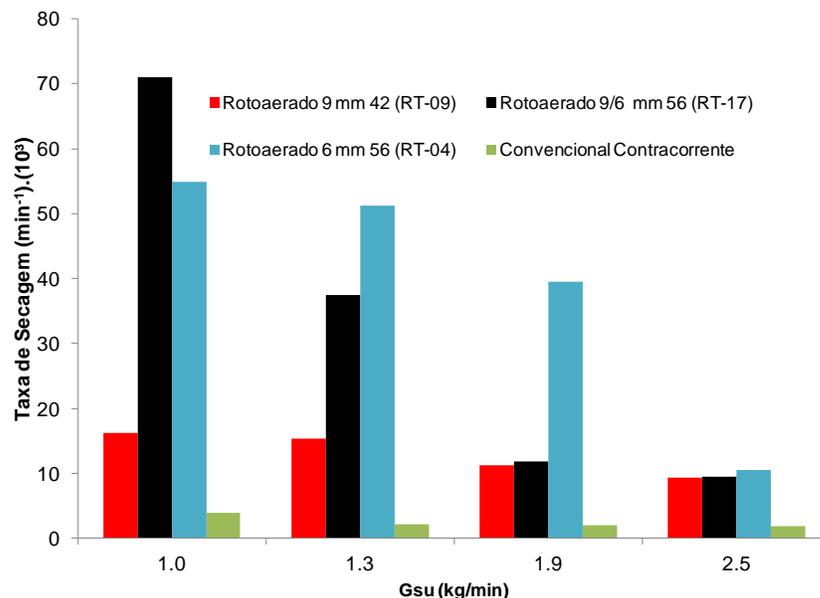


Figura 4 – Resultados da taxa de secagem.

Observa-se pela Figura 5 que a carga de sólidos no secador convencional foi maior em todas as condições de Gsu analisadas quando comparada com a carga de sólidos nas versões rotoaeradas estudadas.

Diante dos resultados apresentados, pode-se dizer que a versão rotoaerada apresenta bons resultados de eficiência de secagem mesmo operando nas maiores condições de carga de sólidos, mostrando a maior capacidade de produção desta versão de secador rotatório.

Uma das desvantagens em se utilizar o secador rotoaerado consiste na alta perda de carga observada neste novo equipamento. A Figura 6 traz os resultados da perda de carga das configurações rotoaeradas avaliadas neste estudo.

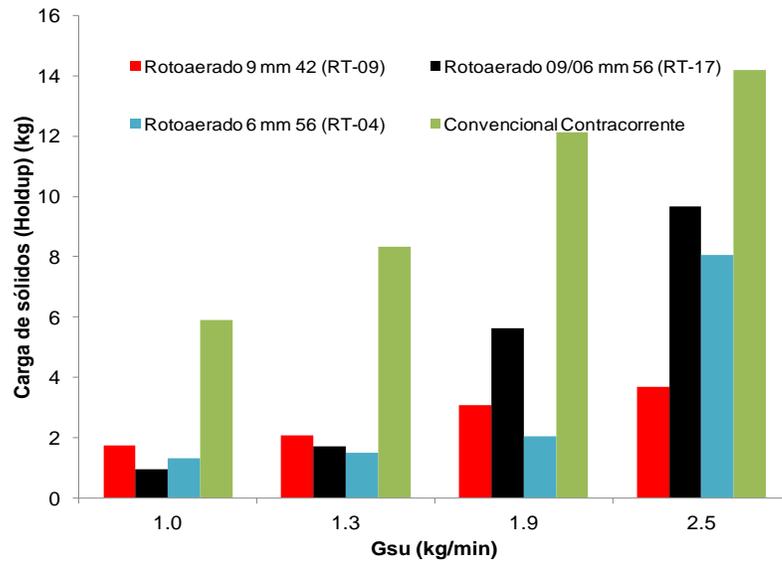


Figura 5 – Resultados da carga de sólidos no tambor (*holdup*).

A Figura 6 mostra que a configuração com 56 minitubos de 6 mm de diâmetro (RT-04) apresentou maiores valores de perda de carga em relação às demais. A versão rotoaerada que apresentou menores valores de perda de carga foi a com 56 minitubos de 9 mm de diâmetro (RT-03). Os resultados de perda de carga da versão convencional contracorrente não se encontram no gráfico uma vez que os valores obtidos foram muito pequenos (não sendo visualizados na escala do gráfico).

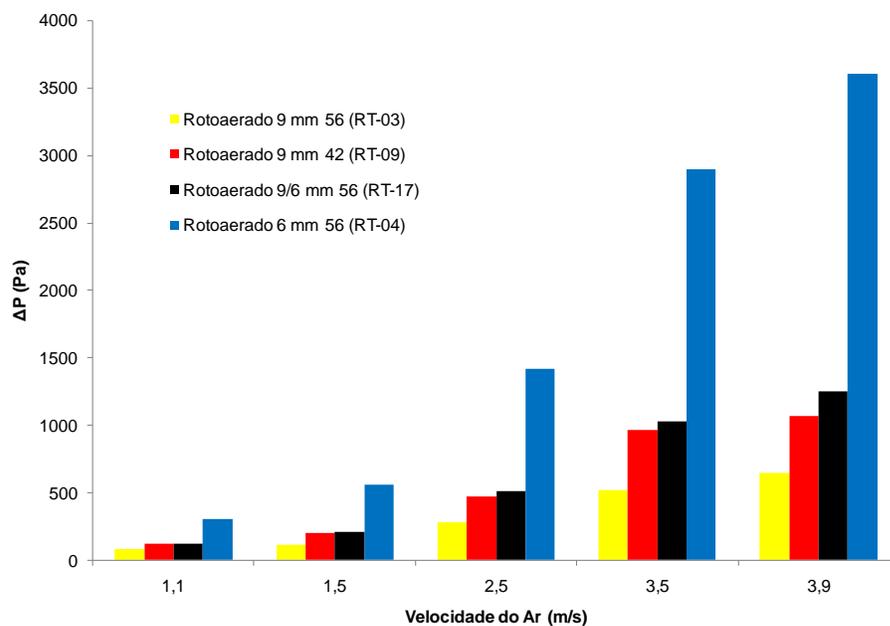


Figura 6 – Resultados da perda de carga nas configurações rotoaeradas.

Observando os resultados de perda de carga da Figura 6 juntamente com os demais resultados apresentados anteriormente, pode-se dizer que a configuração híbrida rotoaerada com 28 minitubos de 9 mm e 28 minitubos de 6 mm de diâmetro (RT-17) foi a que apresentou a melhor combinação entre taxa de secagem e perda de carga, ou seja, bons resultados de secagem e perda de carga não muito alta, quando comparada com as demais configurações estudadas.

#### 4. CONCLUSÕES

Verificou-se que, em todas as condições de maior vazão de alimentação, o secador rotoaerado obteve maiores taxas de secagem do que o secador convencional. Porém, reduzindo-se a diferença em relação ao secador convencional com o aumento da vazão de alimentação de sólidos. Este menor desempenho pode ter sido resultado da alta condição de carregamento do secador rotoaerado operando com alta taxa de alimentação, uma vez que uma maior quantidade de sólidos úmidos disponível acarreta uma redução do potencial de secagem.

Observou-se que a carga de sólidos no secador convencional foi maior em todas as condições de Gsu analisadas quando comparada com a carga de sólidos nas versões rotoaeradas estudadas.

Dentre as configurações que apresentaram melhores resultados de secagem, a configuração que apresentou maior perda de carga foi a RT-04 com 56 minitubos de 6 mm de diâmetro.

Observando os resultados de taxa de secagem pode-se afirmar que a configuração híbrida rotoaerada com 28 minitubos de 9 mm e 28 minitubos de 6 mm de diâmetro (RT-17) foi a que apresentou resultados que melhor combinaram taxa de secagem e perda de carga quando comparada com as demais configurações estudadas..

#### 6. REFERÊNCIAS

- ARRUDA, E. B. *Comparação do Desempenho do Secador Roto-Fluidizado com o Secador Rotatório Convencional: Secagem de Fertilizantes*. Tese de Doutorado, UFU, Uberlândia/MG, 2008.
- KONIDIS, J. *Design of Direct Heated Rotary Dryers, A Major Technical Report*. The Department of Mechanic Engineering. Concordia University, Montreal/Quebec, p. (23), 1984.
- LISBOA, M. H.; VITORINO, D. S.; DELAIBA, W. B.; FINZER, J. R. D. and BARROZO, M. A. S.. *A Study of Particle Motion in Rotary Dryer*. Braz. J. Chem. Eng., v. 24, p. 365, 2007.
- PERRY, R. H.; GREEN, D. W.; MALONEY, J. O. Psychrometry, Evaporative cooling and solids drying. In Perry's Chemical Engineers' Handbook, Eds.; McGraw-Hill: Nova York, 12-52, 1999.
- SILVÉRIO, B. C.. *Estudos fluidodinâmicos e de secagem de fertilizantes em diferentes tipos de secadores rotatórios*. Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG, 164p. Tese de Doutorado, 2012.