

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES OPERACIONAIS NA EFICIÊNCIA DO RECOBRIMENTO DE UREIA EM LEITO DE JORRO

G. F. WESTPHALEN¹, F. DALLA NORA¹, B. ZORZI¹, E. ECHEVARRIA¹
T. P. da COSTA¹ e G. S. ROSA¹

¹Universidade Federal do Pampa, Curso de Engenharia Química
E-mail para contato: juza.westphalen@hotmail.com

RESUMO – A ureia é o fertilizante nitrogenado de maior demanda no país. Entre suas limitações tem-se as elevadas perdas do nitrogênio por volatilização, o que motiva estudos sobre alternativas para amenizar essas perdas. Este trabalho teve como objetivo verificar a influência das condições operacionais na eficiência do processo de recobrimento da ureia em leito de jorro. Foi utilizado um planejamento fatorial em estrela com ponto central tendo como variáveis a temperatura do ar e a vazão de suspensão. Verificou-se que para um tempo fixo de processo de 20 min, a faixa obtida para a eficiência do recobrimento foi de 17 a 46 %. Observou-se que os efeitos linear e quadrático da vazão foram os mais pronunciados para a eficiência do processo, sendo que esta influência foi positiva, com um limite de confiança de 95 %.

1. INTRODUÇÃO

A ureia é caracterizada como um dos fertilizantes sólidos granulados de maior concentração de nitrogênio e é o fertilizante nitrogenado mais utilizado no Brasil, representando 75% do utilizado no país (Duarte, 2007). Entretanto, perdas por volatilização de até 78% do nitrogênio podem ocorrer após a aplicação de ureia sobre a superfície do solo sendo essas perdas dependentes muito em função do teor de matéria orgânica contida no solo (Rodrigues, 1986).

O uso de revestimentos pode reduzir a taxa de liberação de nitrogênio da ureia. Atualmente existem basicamente dois tipos de recobrimento, com enxofre ou com polímeros. No caso do recobrimento com polímeros, a liberação se dá através da difusão pela camada de cobertura, determinada pela característica química do polímero, da espessura, do processo de cobertura e da temperatura do meio. Os polímeros propiciam condições de controle e podem ser produzidos para sincronizar a liberação do nitrogênio de acordo com as necessidades nutricionais das plantas ao longo do ciclo de cultivo (Blaylock, 2007).

Entre os equipamentos que podem ser utilizados para realizar o recobrimento de partículas tem-se o leito de jorro. O sistema de leito de jorro consiste basicamente de uma coluna cilíndrica de base cônica, contendo partículas sólidas de um tamanho considerável, maiores que 1 mm, e de um orifício de entrada do fluido localizado na parte inferior central da base cônica. Esta base cônica é utilizada para aumentar o movimento de sólidos e eliminar espaços mortos no fundo do leito. O vaso normalmente é um cilindro circular, entretanto, o

uso de um vaso completamente cônico foi prática comuns em alguns estudos (PASSOS *et al.*, 1997).

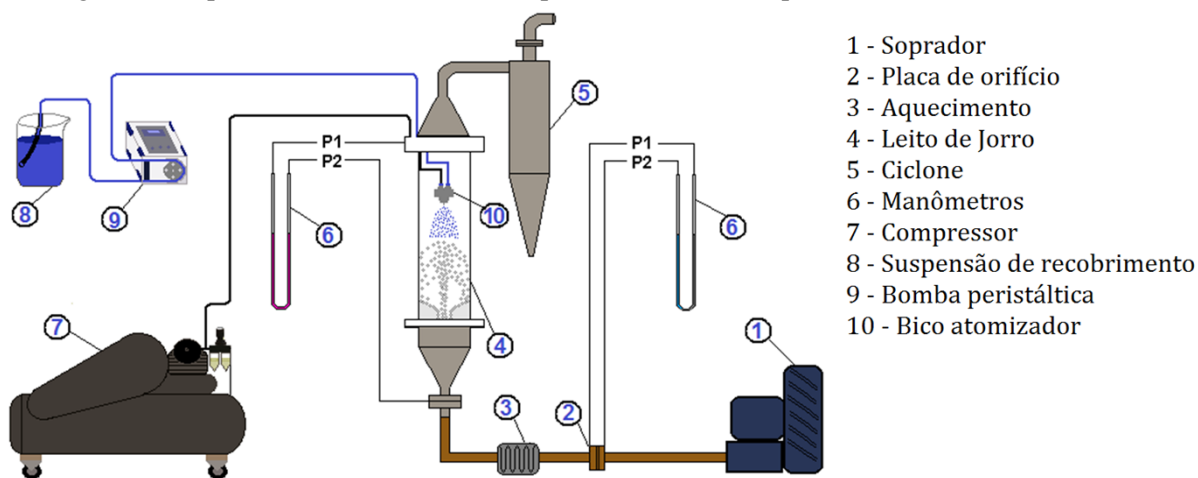
O intuito desse trabalho foi verificar a influência das condições experimentais na eficiência do processo de recobrimento de ureia em leito de jorro, utilizando um planejamento fatorial em estrela.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o recobrimento da ureia foi utilizada uma suspensão aquosa de natureza polimérica capaz de fornecer uma superfície de recobrimento uniforme e de baixo valor comercial. Para isso, foram realizados testes com o objetivo de obter uma formação de filme liso e uniforme, e com adequada concentração de sólidos, visando obter espessura de filme suficiente, a fim de minimizar as perdas de nitrogênio por volatilização. A formulação da suspensão aquosa escolhida apresenta em peso: 0,5% de gelatina, 0,5 % de amido, 2 % do polímero comercial ColorSeed®, 3 % de plastificante (glicerol), 9 % de talco e 85 % de água.

Após foram realizados os ensaios de recobrimento com essa suspensão em leito de jorro. A Figura 1 apresenta o esquema da instalação experimental utilizada neste estudo.

Figura 1 - Representação da instalação experimental utilizada para os estudos de recobrimento.



Através de ensaios fluidodinâmicos das partículas de ureia em leito de jorro foi definida a massa adequada para os ensaios de recobrimento. Os experimentos de recobrimento consistiram em abastecer o leito de jorro com a carga de ureia de 500 e em seguida foi iniciada a alimentação do ar de jorro através do soprador, sendo que este ar foi aquecido através de passagem em um conjunto de resistências. A vazão do ar foi ajustada no painel de controle e medida pela placa de orifício. Quando a temperatura de entrada do ar atingiu o valor desejado foi iniciada a alimentação da suspensão de recobrimento por meio de uma bomba peristáltica na vazão de atomização estabelecida.

A suspensão foi atomizada através de um bico atomizador de duplo fluido, localizado na parte superior do leito, onde vazão do ar de atomização era fornecida por um compressor com 0,5 kgf/cm². O tempo de atomização da suspensão foi fixado em 20 min para todos os experimentos.

Após a realização de testes preliminares de recobrimento foi elaborado um planejamento estrela com réplica no ponto central a fim de analisar a influência das condições operacionais na eficiência do processo. As variáveis independentes foram: temperatura do ar de jorro (T_{ar}) e vazão da suspensão de recobrimento (W_s) e estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Variáveis e níveis utilizados.

Variáveis independentes	Níveis				
	-1,41	-1	0	1	1,41
$T_{ar}(^{\circ}C)$	60,9	65	75	85	89,1
$W_s(mL/min)$	7,8	9	12	15	16,2

A eficiência do processo de recobrimento foi calculada a partir da Equação 1.

$$\eta = \frac{M_f - M_0}{W_s \cdot C_s \cdot t \cdot \rho_s} \quad (1)$$

Em que M_f é a massa após o processo de recobrimento, M_0 é a massa inicial adicionada ao leito de jorro, W_s é a vazão da suspensão de recobrimento, C_s é a concentração de sólidos da suspensão, ρ_s é a massa específica e t é o tempo de processo.

A análise estatística dos resultados foi realizada com base em uma análise de variância (ANOVA) obtida utilizando o *software Statistica*7.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta os resultados de eficiência obtidos para os ensaios realizados.

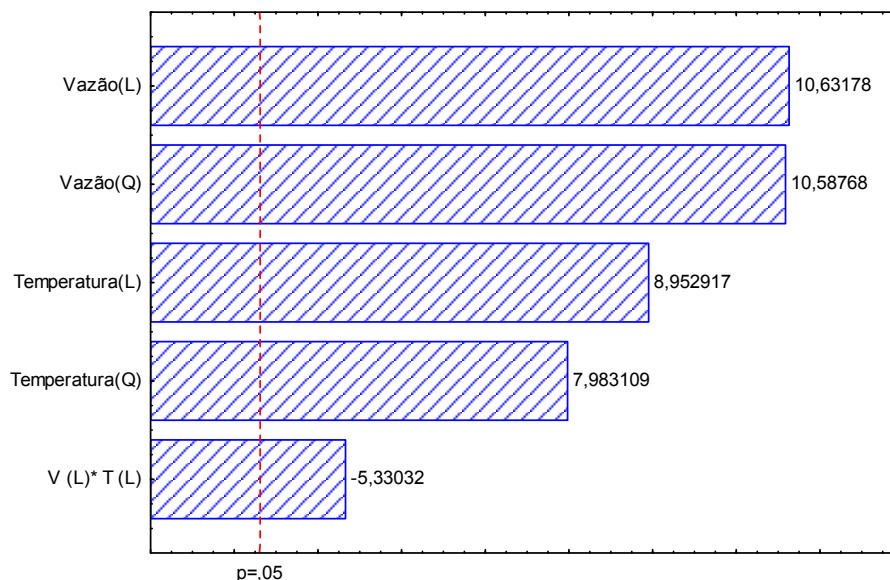
Tabela 2 - Eficiência do recobrimento.

Ensaio	T_{ar}	W_s	Eficiência (%)
1	-1	-1	17,26
2	-1	+1	42,05
3	+1	-1	33,84
4	+1	+1	42,33
5	-1,41	0	31,42
6	+1,41	0	46,87
7	0	-1,41	38,01
8	0	+1,41	46,98
9 (C)	0	0	23,78
10 (C)	0	0	25,59
11 (C)	0	0	26,82

Observando a Tabela 2 pode-se verificar que para um tempo fixo de processo de 20 min, a faixa obtida para o rendimento do recobrimento foi de 17 a 46 %. Também foi verificada uma boa reprodutibilidade do processo de recobrimento através dos resultados obtidos pelos experimentos 9 a 11, que correspondem aos pontos centrais. A eficiência do processo é considerada satisfatória industrialmente para valores acima de 65 %. Eficiências maiores poderiam ser alcançadas com tempos maiores de recobrimento, no entanto poderia aumentar a espessura do filme de recobrimento formado, prejudicando a liberação de nitrogênio.

Através da análise estatística dos resultados obtidos, verificou-se a influência das condições operacionais (variáveis independentes) na eficiência do processo de recobrimento. A Figura 2 mostra, para um limite de confiança de 95 % ($p \leq 0,05$), a influência dos efeitos principais e de suas interações através do diagrama de Pareto.

Figura 2 - Diagrama de Pareto.



A partir dos resultados apresentados da Figura 2 observa-se que os efeitos linear e quadrático da vazão foram os mais pronunciados para a eficiência do processo, sendo esta influência positiva, ou seja, com um aumento da vazão de suspensão a eficiência do processo aumenta. Foi observada maior eficiência do processo para a maior vazão de suspensão, conforme o esperado, apesar da influência da temperatura.

Verificou-se também que o efeito da temperatura foi significativo. No caso da temperatura, constatou-se que o aumento desta também provoca uma maior eficiência do processo ocasionando a secagem do recobrimento sobre a partícula. Nas temperaturas mais baixas observou-se visualmente maior perda da suspensão na parede do leito.

Através da análise estatística dos resultados foi gerado um modelo polinomial de segunda ordem, apresentado na Equação 2 para a estimativa da eficiência do processo como uma função dos parâmetros estatisticamente significativos ($p < 0,05$). Este modelo está na

forma codificada, onde T e W correspondem, respectivamente, à temperatura e vazão da suspensão.

$$\eta = 25,398 + 4,848T + 5,134T^2 + 5,745W + 6,809W^2 - 4,073TW \quad (2)$$

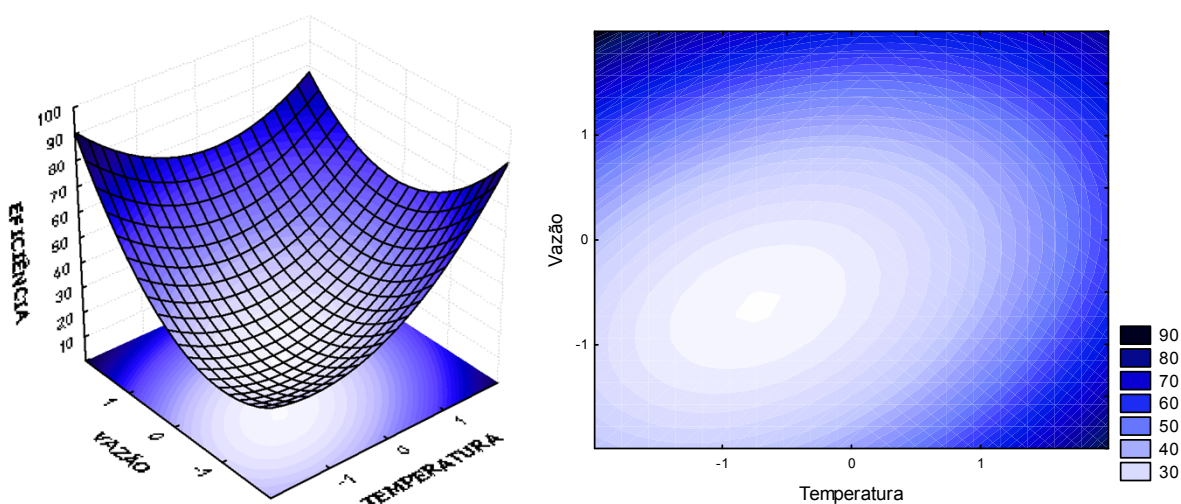
A significância do modelo estatístico foi verificada através da análise de variância (ANOVA), conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Análise de Variância.

	Soma Quadrática	Graus de liberdade	Média Quadrática	F calculado	F tabelado
Regressão	928,4309	5	928,4309	17,43	5,05
Resíduos	157,4424	5	53,2595		
Falta de ajuste	152,7702	3	50,9234		
Erro puro	4,6722	2	2,3361		
Total	997,6231	10			

Foi obtido um coeficiente de determinação (percentual de variação explicada) de 93,06 % para a regressão do modelo através da razão entre a soma quadrática da regressão pela soma quadrática total, em relação ao valor máximo explicável de 99,53 %. Isso significa que 93,06 % da variação total em torno da média é explicada pela regressão, ficando 6,94 % para os resíduos. Através do teste F observa-se que a regressão foi significativa ($F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$). Este modelo foi usado para gerar a superfície de resposta para a eficiência do recobrimento, mostrada na Figura 3.

Figura 3 – Superfície de resposta e curvas de contorno para eficiência do processo.



Observando a superfície e as curvas de contorno para a eficiência do processo pode-se verificar que a região que maximiza a eficiência do processo de recobrimento é próxima aos pontos extremos positivos, onde a temperatura e vazões são mais elevadas.

4. CONCLUSÃO

Pode-se concluir que para um tempo fixo de processo de 20 min, a faixa obtida para o rendimento do recobrimento foi de 17 a 46 %. Através da análise estatística dos resultados verificou-se que os efeitos da temperatura do ar, da vazão de suspensão e da interação de ambos foram significativos para a eficiência do processo.

Observou-se que os efeitos linear e quadrático da vazão foram os mais pronunciados para a eficiência do processo, sendo que esta influência foi positiva. Verificou-se também que o efeito da temperatura foi significativo, e que o aumento desta também provocou uma maior eficiência do processo, devido a secagem da suspensão do recobrimento sobre a partícula.

5. NOMENCLATURA

C_s	concentração de sólidos	[-]
M_f	massa final de sólidos secos	[g]
M_0	massa inicial de sólidos secos	[g]
t	tempo	[min]
W_s	vazão da suspensão	[mL/min]
η	eficiência	[%]
ρ_s	massa específica da suspensão	[g/cm ³]

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLAYLOCK, A. *Novos Fertilizantes Nitrogenados: O Futuro dos Fertilizantes Nitrogenados de Liberação Controlada*. Informações Agrônomicas, Piracicaba, n. 120, p. 8-10, dez. 2007.
- DUARTE, D. S. A. *Perdas de amônia por volatilização em solo tratado com ureia, na presença de resíduos culturais*. PPG-ESA LQ/USP – Dissertação de Mestrado – Piracicaba – SP, 64 f. 2007.
- GELDART, D. Types of gás fluidization, *Powder Technology*, v.7, p. 285-292, 1973.
- MATHUR, K. B.; EPSTEIN, N. *Spouted Beds*. 1.ed London: Academic Press, p.304, 1974.
- PASSOS, M. L.; MASSARANI, G.; FREIRE, J. T.; MUJUMDAR, A. S. Drying of pastes in spouted beds of inert particles: design criteria and modeling. *Drying Technol.*, v.15, n.2, p. 605-624, 1997.
- RODRIGUES, M. B. ; KIEHL, J. C. Volatilização de amônia após o emprego de ureia em diferentes doses e modos de aplicação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.10, n.1, p. 37-43, 1986.