

## ESTUDO DA FLUIDODINÂMICA DO RECOBRIMENTO DE UREIA EM LEITO DE JORRO E CARACTERIZAÇÃO DAS PARTÍCULAS

BRITO, A. \*, PINHEIRO, G., PAULINO, L., THOLOZAN, L., DAMBROS, V.  
Universidade Federal do Pampa, Curso de Engenharia Química  
E-mail: \*andriellybrito.aluno@unipampa.edu.br

**RESUMO** – A ureia é utilizada como fertilizante agrícola, apresentando alto teor de nitrogênio. Um problema associado com o uso da ureia está relacionado com as altas perdas de nitrogênio em sua composição por volatilização e lixiviação. O presente trabalho propõe o recobrimento da ureia com suspensão polimérica em leito de jorro como forma de diminuir as perdas das propriedades desse material. A ureia foi caracterizada utilizando picnometria líquida, ensaio de proveta ( $\rho_{bulk}$ ), peneiramento e ensaio de umidade, sendo a última também realizada com a ureia recoberta. A suspensão de recobrimento foi caracterizada quanto à massa específica real ( $\rho_{real}$ ) e concentração de sólidos ( $C_S$ ). A análise morfológica da ureia recoberta foi realizada por meio de microscopia. A ureia branca apresentou umidade em base seca ( $U_{bs}$ ) e úmida ( $U_{bu}$ ) de 1,094 g<sub>H<sub>2</sub>O</sub>/g<sub>amostraseca</sub> e 8,6%, respectivamente;  $\rho_{real}$  de 1,28 g/cm<sup>3</sup>,  $\rho_{bulk}$  de 0,7 g/cm<sup>3</sup> e porosidade de 0,46. O diâmetro das partículas foi de 1,82 mm. A ureia recoberta apresentou  $U_{bs}$  e  $U_{bu}$  de 1,112 g<sub>H<sub>2</sub>O</sub>/g<sub>amostraseca</sub> e 10,1%, respectivamente. A suspensão apresentou valores de  $\rho_{real}$  e  $C_S$  de 1,02 g/cm<sup>3</sup> e 0,11 g<sub>sólidos</sub>/g<sub>suspensão</sub>, respectivamente. No estudo da fluidodinâmica foram obtidos os valores de 1200,86 Pa, 193,97 Pa, 5,9 m/s para queda de pressão máxima, queda de pressão de jorro mínimo e velocidade de jorro mínimo, respectivamente. As análises de microscopia indicaram que as partículas foram recobertas de forma uniforme e homogênea.

### INTRODUÇÃO

O fertilizante mais utilizado pela agricultura mundial é chamado de ureia, sendo ela um sólido granular que possui alto teor de nitrogênio em sua composição, do qual possui uma faixa de 44 a 46% deste composto (NORA, 2017), onde é bastante utilizado como fonte de micro e macro nutrientes para plantas (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

A utilização deste fertilizante possui suas vantagens e desvantagens. Como vantagens temos a questão econômica, ou seja, baixo custo de transporte, baixa corrosividade e alta solubilidade (DUARTE *et al.*, 2007; Rosa, 2009). Já como desvantagem, temos

elevada higroscopicidade e susceptibilidade à volatilização do nitrogênio (PADILHA *et al.*, 2005; ROSA, 2009).

A ureia que é aplicada na superfície do solo é facilmente lixiviada no mesmo, ou seja, a chuva percola o solo, arrastando a ureia consigo, perdendo então cerca de 78% do nitrogênio aplicado (CABEZAS *et al.*, 1997).

Visando diminuir este problema de lixiviação e volatilização do nitrogênio, a técnica de recobrimento é a recomendada, tendo assim uma dosagem controlada de nitrogênio necessário para as plantas (CAHILL *et al.*, 2010), podendo também possibilitar o aumento da eficiência de

recuperação do nutriente aplicado ao solo (MOTAVALLI *et al.*, 2008).

Existem diferentes técnicas e materiais de recobrimento de ureia, das quais vem sendo estudados, o que mais se destaca é o leito de jorro, o qual proporciona movimentação homogênea das partículas e uma melhor interação entre o fluido e as partículas (MARTHUR; EPSTEIN, 1974; NORA, 2015).

O leito de jorro é um equipamento que propõe a interação sólido-fluido e é integrado por uma parte cilíndrica, e uma parte cônica com diâmetro reduzido, por onde se injeta a fase fluida. Quando um fluido é alimentado na base de um leito contendo partículas, ele percorre sua zona central, promovendo o arraste das partículas até o topo, com formação de um movimento de jorro (SANTOS *et al.*, 2009).

Assim o recobrimento é determinado pelo crescimento que ocorre em torno da partícula, onde a suspensão atomizada colide e gruda-se à superfície, formando camadas concêntricas, em um processo simultâneo de umedecimento e secagem (SILVA, 2003).

## MATERIAIS E MÉTODOS

A amostra de ureia utilizada neste estudo (Figura 1) foi adquirida em comércio local na cidade de Bagé, Rio Grande do Sul.

Figura 1 - Ureia



Fonte: Autores (2022)

### Caracterização

A ureia foi caracterizada a partir das técnicas de picnometria líquida, peneiramento e ensaio de proveta.

Através do ensaio de picnometria líquida foi determinada a massa específica real

( $\rho_{real}$ ) das partículas, calculada a partir da Equação 1. A massa específica aparente ( $\rho_{bulk}$ ) foi obtida através do ensaio de proveta e calculada a partir das Equação 2. A porosidade do leito de partículas foi obtida através da Equação 3. A análise de picnometria líquida foi também realizada com a suspensão polimérica.

$$\rho_{real} = \left( \frac{m_{part.}}{V_{total}} \right) \quad (1)$$

$$\rho_{bulk} = \left( \frac{m_{part.}}{V_{proveta}} \right) \quad (2)$$

$$\varepsilon = 1 - \left( \frac{\rho_{real}}{\rho_{bulk}} \right) \quad (3)$$

em que  $m_{part}$  é a massa de partículas (g),  $V_{proveta}$  é o volume ocupado por sólidos na proveta ( $cm^3$ ).

A análise granulométrica das partículas foi realizada a partir de ensaio de peneiramento utilizando conjunto de peneiras vibratórias Tyler com mesh 1/4, 4, 8, 9 e 16 da marca Bertel Indústria Metalúrgica e agitação por 10 min.

O diâmetro de Sauter foi determinado a partir da Equação 4.

$$d_p = \frac{1}{\sum \frac{x_m}{d_m}} \quad (4)$$

em que  $x_m$  é a fração mássica retida na peneira e  $d_m$  é o diâmetro médio da abertura da peneira superior e inferior.

O teor de umidade em base seca ( $U_{bs}$ ) e úmida ( $U_{bu}$ ) foi determinado através de ensaio de secagem em estufa com circulação de ar forçada a 105 °C por 24 h, realizado com as partículas pré e pós recobrimento onde os resultados foram obtidos a partir das Equações 5 e 6, respectivamente.

$$U_{bs} = \frac{m_{H2O}}{m_s} \quad (5)$$

$$U_{bu} = \frac{m_{H2O}}{m_u} 100 \quad (6)$$

em que  $m_{H2O}$  é a massa de água evaporada (g),  $m_s$  é a massa de sólidos secos (g) e  $m_u$  é a massa de amostra úmida (g).

A concentração de sólidos ( $C_s$ ) presentes na concentração foi calculada a partir da Equação 7.

$$C_s = \frac{m_{\text{sólidos}}}{m_{\text{suspensão}}} \quad (7)$$

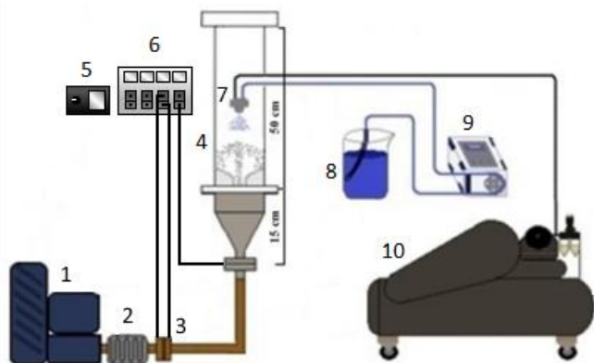
em que  $m_{\text{sólidos}}$  é a massa de sólidos presentes na suspensão e  $m_{\text{suspensão}}$  é a massa da suspensão.

A morfologia das amostras foi analisada através de microscopia, utilizando o Microscópio (Motic SMZ, China) com magnitude de 400x.

### Ensaio de recobrimento em leito de jorro

Os ensaios de recobrimento em leito de jorro foram realizados em um leito de jorro confeccionado na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Leito de jorro



Fonte: Machado, E. (2017)

A Figura 2 apresenta o compressor centrífugo que fornece o fluxo de ar para o jorro (1); resistências responsáveis por aquecer o ar (2); uma placa de orifício (3); um leito de jorro em aço inox (4); painel de controle de temperatura do ar na entrada e saída (5); um transdutor de 5" de H<sub>2</sub>O com capacidade de 5 V conectado à placa de orifício e outro de 10" de H<sub>2</sub>O com capacidade de 5 V conectado ao leito de partículas (6); um bico atomizador (7); suspensão polimérica que alimenta o bico atomizador (8); bomba peristáltica responsável por transportar a solução polimérica (9); um compressor que fornece ar para o bico atomizador (10).

Primeiramente foi obtida a curva do branco através da operação do leito sem partículas, com a finalidade de analisar as perdas de carga relacionadas apenas ao equipamento. A vazão de ar ( $W_{ar}$ ) de jorro foi obtida através da equação para calibração da placa de orifício, apresentada na Equação 8. É

realizado um ajuste polinomial na curva obtida para que a perda de carga seja calculada através da Equação 9.

$$W_{AR} = 84,83(\Delta h)^{0,4982} \quad (8)$$

$$\Delta P = coef. * q^2 \quad (9)$$

em que  $\Delta h$  é a altura manométrica diferencial da placa de orifício (mH<sub>2</sub>O), *coef.* é o coeficiente do termo quadrático e  $q$  é a velocidade do ar (m/s).

Em seguida, o leito foi preenchido com 550 g de partículas de ureia e então foi fornecida uma corrente de ar por meio de um compressor, sendo este ar aquecido por resistências. A partir desse ensaio obteve-se a velocidade de operação do processo, sendo 30% maior que a velocidade de jorro mínimo.

Os ensaios de recobrimento foram realizados de forma análoga ao ensaio de velocidade, com adição de uma corrente de alimentação de suspensão de recobrimento por meio de uma bomba peristáltica na vazão de 8,19 mL/min. A perda de carga real ( $\Delta P_{real}$ ), que corresponde somente às partículas, foi obtida a partir da Equação 10.

$$\Delta P_{real} = \Delta P_{total} - \Delta P_{equipamento} \quad (10)$$

em que  $\Delta P_{total}$  é a perda de carga total do processo (Pa) e  $\Delta P_{equipamento}$  (Pa) é a perda de carga do equipamento.

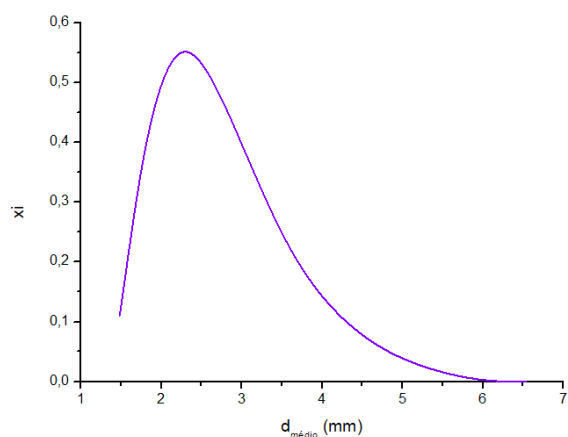
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Caracterização das partículas

Os valores de  $\rho_{real}$  e  $\rho_{bulk}$  obtidos foram de 1,28 e 0,7 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente. O valor de  $\epsilon$  foi de 0,46. Nora (2017) encontrou resultados similares em seus estudos, cujos valores de  $\rho_{real}$ ,  $\rho_{bulk}$  e porosidade do leito de partículas foram, respectivamente, 1,3 g/cm<sup>3</sup>, 0,77 g/cm<sup>3</sup> e 0,42.

Os resultados da distribuição granulométrica das partículas de ureia estão apresentados na Figura 3.

Figura 3 - Distribuição granulométrica da ureia



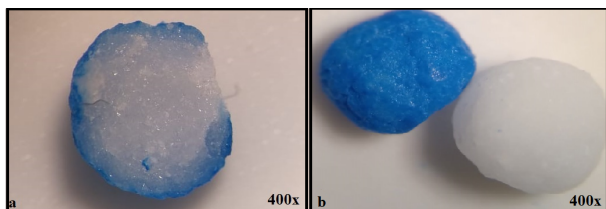
Fonte: Autores (2022)

A Figura 3 indica que o ensaio de peneiramento foi representativo, devido a formação da curva gaussiana, e o diâmetro médio de Sauter das partículas de ureia é de 1,82 mm. De acordo com os valores de diâmetro e massa específica aparente, a partícula analisada pode ser classificada como jorrável, segundo a classificação de Geldart (1986).

Os resultados de  $U_{bs}$  para a ureia branca e recoberta foi de 1,094 e 1,1123  $g_{H_2O}/g_{amostraseca}$ , respectivamente. Já os resultados de  $U_{bu}$  foram de 8,6 e 10,1% para a ureia branca e recoberta, respectivamente. A umidade da ureia recoberta foi maior que a branca por conta do teor de água proveniente da suspensão.

A Figura 4 apresenta os resultados da análise de microscopia da amostra após recobrimento com corte transversal (a) e das duas amostras, pré e pós recobrimento (b).

Figura 4 - Partículas de ureia pré e pós recobrimento



Fonte: Autores (2022)

A Figura 4 apresenta que a suspensão polimérica foi eficiente ao recobrir as amostras de ureia, como era esperado. Além disso, as amostras de ureia recobertas apresentaram uma superfície uniforme e homogênea,

indicando que o material de recobrimento teve bom espalhamento e secagem na superfície das partículas (COSTA, 2015).

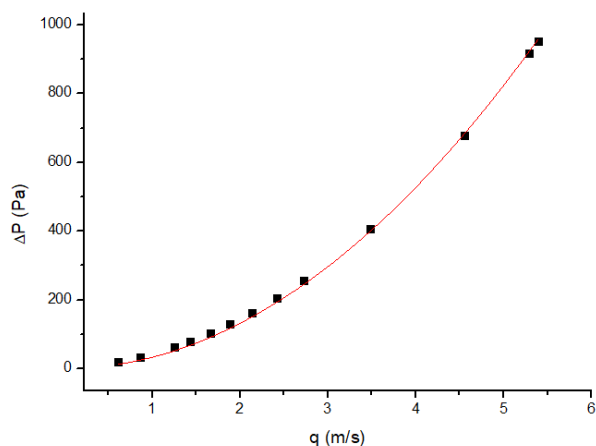
### Caracterização da suspensão

Os resultados obtidos para  $\rho_{real}$  da suspensão polimérica foi de 1,02  $g/cm^3$  e a concentração de sólidos foi de 0,11  $g_{sólidos}/g_{suspensão}$ . Segundo Donida (2000), esse valor está de acordo com a faixa adequada para fornecer um bom recobrimento. Nora (2017) obteve resultados análogos, sendo o  $\rho_{real}$  da suspensão em um intervalo de 1,018 a 1,143  $g/cm^3$  e a concentração de sólidos igual a 0,15  $g_{sólidos}/g_{suspensão}$ , respectivamente.

### Ensaio de recobrimento em leito de jorro

A Figura 5 apresenta os resultados obtidos a partir do teste em branco com a vazão crescente.

Figura 5 - Queda de pressão do leito de jorro sem partículas



Fonte: Autores (2022)

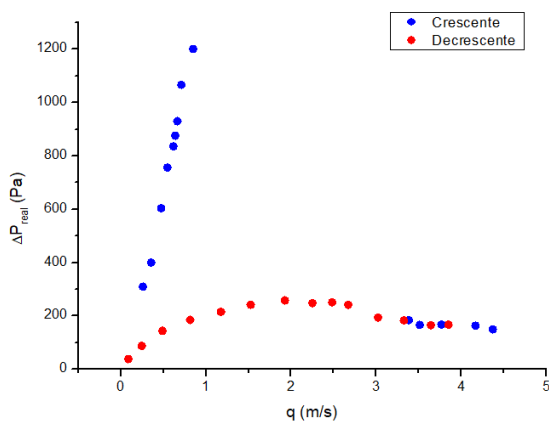
O ajuste polinomial quadrático foi utilizado para descrever o comportamento da curva do branco, apresentado na Equação 11. Essa equação é utilizada para modelar a perda de carga do leito com partículas (POTTER; WIGGERT, 2010).

$$\Delta P = 32,96 * q^2 \quad (11)$$

em que  $\Delta P$  é a queda de pressão (Pa) e  $q$  é a velocidade do ar de entrada (m/s).

A Figura 6 apresenta as curvas fluidodinâmicas do leito com partículas de ureia.

Figura 6 - Curvas fluidodinâmicas do leito com partículas



Fonte: Autores (2022)

Os resultados obtidos no experimento mostraram uma queda de pressão máxima, queda de pressão de jorro mínimo e uma velocidade de jorro mínimo de 1200,86 Pa, 193,97 Pa, 5,9 m/s, respectivamente. Nora (2017) obteve valores de queda de pressão máxima, queda de pressão de jorro mínimo e velocidade de jorro mínimo sendo, respectivamente, 1330 Pa, 400 Pa e 25 m/s. A diferença entre os valores encontrados no presente trabalho e a literatura pode ser atribuída à diferença da massa de ureia na alimentação do leito (Nora, 2017).

### CONCLUSÃO

Os resultados obtidos para toda a caracterização da ureia se mostraram de acordo com o esperado, e quando confrontados com a literatura os valores se tornaram muito próximos, mostrando assim que as análises feitas no presente trabalho se mostraram eficazes.

A obtenção dos dados de queda de pressão máxima, queda de pressão de jorro mínima e velocidade de jorro mínimo se mostraram distantes das encontradas na literatura, porém a justificativa para tal acontecimento é devido a quantidade de massa adicionada no leito, mesmo assim o ensaio de fluidodinâmica se mostrou eficaz, pois o produto final, ureia recoberta, teve um filme homogêneo quando visualmente analisado, mas se mostrou irregular quando analisada seu corte na seção transversal, do qual pode ser atribuído a vazão de suspensão ser baixa.

### REFERÊNCIAS

CAHILL, Sheri et al. Evaluation of alternative nitrogen fertilizers for corn and winter wheat production. *Agronomy Journal*, v. 102, n. 4, p. 1226-1236, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.2134/agronj2010.0095>. Acesso em: 7 jul. 2022.

COSTA, Tamiris Pacheco da. **Avaliação da fluidodinâmica e do recobrimento de grânulos de ureia em leito de jorro para minimizar as perdas de nitrogênio**. 2015. Tese (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Pampa, Campus Bagé, 2015. Disponível em: <https://dspace.unipampa.edu.br/handle/riu/1417>. Acesso em: 07 jul. 2022.

DONIDA, M. W. **Recobrimento Polimérico da Ureia em Leito de Jorro Bidimensional**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Estadual de Campinas, 2000.

DUARTE, Daily Soraya Aquino. **Perdas de amônia por volatilização em solo tratado com uréia, na presença de resíduos culturais**. 2007. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008. doi:10.11606/D.11.2008.tde-13032008-153508. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-13032008-153508/pt-br.php>. Acesso em: 08 jul. 2022.

GELDART, D. **Gas fluidization technology**. New York. John Wiley & Sons, 1986. 468p.

LARA-CABEZAS, W.A.R.; KORNDÖRFER, G.H.; MOTTA, S.A. Volatilização de N-NH<sub>3</sub> na cultura do milho: II. Avaliação de fontes sólidas e fluídas em sistema de plantio direto e convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.21, p.489-496, 1997.

MARTINS, Isaac Silva; Cazetta, Jairo Osvaldo; Fukuda, Akira José Fernandes.

**Condições, modos de aplicação e doses de ureia revestida por polímeros na cultura do milho. Pesquisa Agropecuária Tropical.** Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos/UFG, v. 44, n. 3, p. 271-279, 2014. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/114571>>. Acesso em: 04 jul. 2022.

MATHUR, Kishan B.; EPSTEIN, Norman. Dynamics of spouted beds. In: **Advances in Chemical Engineering**. Academic Press, 1974. p. 111-191.

MOTAVALLI, Peter P.; GOYNE, Keith W.; UDAWATTA, Ranjith P. Environmental impacts of enhanced-efficiency nitrogen fertilizers. **Crop Management**, v. 7, n. 1, p. 1-15, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/CM-2008-0730-02-RV>. Acesso em: 07 jul 2022.

NORA, Fabíola Balzan Dalla. **Análise experimental e da simulação do processo de recobrimento de ureia em leito de jorro cônico**. 2017. TCC (graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal do Pampa, Campus Bagé, 2017. Disponível em: <[https://guri.unipampa.edu.br/uploads/evt/arq\\_trabalhos/18399/seer\\_18399.pdf](https://guri.unipampa.edu.br/uploads/evt/arq_trabalhos/18399/seer_18399.pdf)>. Acesso em: 07 jul. 2022.

OLIVEIRA, L. D. S. et al. Characterization of Organic Wastes and Effects of Their Application on the Soil. **Journal of Agricultural Science**, [s.l.], v. 10, n. 6, p. 291–298, 2018.

PADILHA, Charles Soares. **Uniformidade de aplicação de fertilizantes com diferentes características físicas**. 2005. TCC (graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, 2005. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/118443>. Acesso em: 07 jul. 2022.

POTTER, M. C.; WIGGERT, D. C. **Mecânica dos fluidos**. Tradução da 3ª edição Norte-Americana. São Paulo: Cengage Learning. 2010.

ROSA, Gabriela Silveira da. **Recobrimento de Ureia em Leito de Jorro para Minimizar as Perdas de Nitrogênio por Volatilização**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2009.

SANTOS et al. **Estudo da estabilidade fluidodinâmica do leito de jorro através da fluidodinâmica computacional**. IX Encontro Interno e XIII Seminário de Iniciação Científica, Universidade Federal de Uberlândia. 2009.

SILVA, O. S. DA. **Desenvolvimento do processo de recobrimento e secagem de microgrânulos em leito fluidizado**. 2003. Tese (Doutorado em Engenharia Química), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/296833344.pdf>. Acesso em: 05 jul. 2022.