

# ANÁLISE DA SIMULAÇÃO APLICADA AO PROCESSO DE RECOBRIMENTO DE UREIA EM LEITO DE JORRO

Fabíola Balzan Dalla Nora<sup>1</sup>

André Ricardo Felkl de Almeida<sup>2</sup>

Gabriela Silveira da Rosa<sup>3</sup>

## Resumo:

A ureia é o fertilizante nitrogenado mais utilizado na agricultura mundial, devido ao alto teor de nitrogênio em sua composição. Porém, possui alta higroscopicidade e susceptibilidade à volatilização do nitrogênio sob a forma de amônia, onde as perdas podem atingir um valor de até 78% do produto aplicado. Dessa forma, aplica-se a técnica de recobrimento em leito de jorro, que possui por finalidade a formação de uma camada protetora, onde o nutriente é liberado de acordo com a necessidade da planta. Contudo, a complexidade fluidodinâmica do equipamento leito de jorro induz a estudos de modelagem e simulação para prever o comportamento do processo e contribuir para um projeto mais eficiente, ocasionando uma maior compreensão dos fenômenos de transferência envolvidos na operação e possibilitando a comparação dos dados experimentais com dados de simulação. O presente trabalho objetivou a análise experimental e da simulação do processo de recobrimento de ureia em leito de jorro cônico, por meio de um modelo de balanço global desenvolvido por Almeida (2009) para ensaios de secagem e adaptado para o recobrimento de ureia em leito de jorro, na qual sua solução foi obtida através da integração numérica pelo método de Runge-Kutta de quarta e quinta ordem, em uma rotina construída em modo MatLab. Pode-se concluir que o processo de modelagem aplicado ao recobrimento de ureia foi de suma importância para a comparação dos dados experimentais com os de simulação, acarretando em uma maior análise do processo e no enriquecimento do trabalho. Para um melhor resultado dos dados simulados com os experimentais, foram necessários ajustes através dos coeficientes  $a$  e  $b$  presentes na equação exponencial, utilizada para descrever o comportamento da taxa de secagem. Dessa forma, um maior estudo sobre essas variáveis descritas acarreta em um melhor ajuste entre os dados experimentais e simulados.

**Palavras-chave:** RECOBRIMENTO; UREIA, LEITO DE JORRO; SIMULAÇÃO

**Modalidade de Participação:** Pós-Graduação

**ANÁLISE DA SIMULAÇÃO APLICADA AO PROCESSO DE RECOBRIMENTO DE UREIA EM  
LEITO DE JORRO**

<sup>1</sup> Aluno de pós-graduação. [fabiolabalzan@gmail.com](mailto:fabiolabalzan@gmail.com). Autor principal

<sup>2</sup> Docente. [andre.almeida@unipampa.edu.br](mailto:andre.almeida@unipampa.edu.br). Orientador

<sup>3</sup> Docente. [gabrielarosa@unipampa.edu.br](mailto:gabrielarosa@unipampa.edu.br). Co-orientador

# ANÁLISE DA SIMULAÇÃO APLICADA AO PROCESSO DE RECOBRIMENTO DE UREIA EM LEITO DE JORRO

## 1 INTRODUÇÃO

A ureia destaca-se como o fertilizante nitrogenado mais utilizado na agricultura mundial, devido ao alto teor de nitrogênio em sua composição (DUARTE, 2007; ROSA, 2010). Porém, para contornar o problema da alta higroscopicidade e susceptibilidade à volatilização do nitrogênio sob a forma de amônia, onde as perdas podem atingir um valor de até 78% do produto aplicado, aplica-se a técnica de recobrimento, que possui por finalidade a formação de uma camada protetora, onde o nutriente é liberado de acordo com a necessidade da planta (DONIDA, 2000; LARA CABEZAS; KORNDÖRFER; MOTTA, 1997).

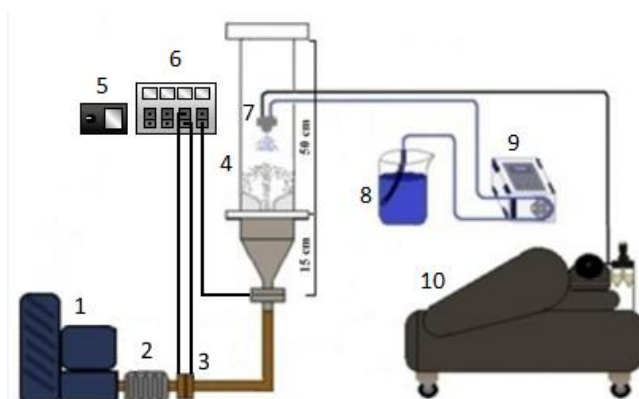
Dentre os equipamentos utilizados para o processo de recobrimento, destaca-se o leito de jorro, por promover uma adequada movimentação das partículas e um ótimo contato fluido-partículas (MARTHUR; EPSTEIN, 1974). Desse modo, o recobrimento é caracterizado pelo crescimento que ocorre em torno da partícula, na qual a suspensão atomizada colide e adere-se à superfície, formando camadas concêntricas, em um processo simultâneo de umedecimento e secagem (SILVA, 2003). Porém, a complexidade fluidodinâmica do equipamento leito de jorro induz ao desenvolvimento de estudos experimentais para o mapeamento das condições. Assim, estudos de modelagem e simulação têm se tornado uma ferramenta de fundamental importância para prever o comportamento do processo e contribuir para um projeto mais eficiente, ocasionando uma maior compreensão dos fenômenos de transferência envolvidos na operação com o equipamento leito de jorro e possibilitando a comparação dos dados experimentais com dados de simulação (ALMEIDA, 2009). O presente trabalho objetivou a análise experimental e da simulação do processo de recobrimento de ureia em leito de jorro cônico.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Matéria prima, suspensão e ensaios de recobrimento

As partículas de ureia utilizadas na realização deste trabalho foram obtidas por meio de doação, na cidade de Bagé. A suspensão de recobrimento utilizada é de natureza polimérica, fornece uma superfície de recobrimento uniforme e possui baixo valor comercial, de acordo com Costa (2015). O sistema experimental utilizado nos ensaios de recobrimento está apresentado na Figura 1.

Figura 1 - Representação do equipamento experimental utilizado.



Fonte: Autora (2018)

onde, tem-se em (1) compressor centrífugo; (2) conjunto de resistências; (3) placa de orifício; (4) leito de jorro; (5) painel de controle de temperatura do ar de entrada e de saída; (6) 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; (7) bico atomizador de duplo fluido; (8) suspensão polimérica de recobrimento; (9) uma bomba peristáltica e (10) um compressor que fornece ar para o bico atomizador.

Para os ensaios de recobrimento de ureia em leito de jorro optou-se por trabalhar na condição de 20% acima da velocidade de mínimo jorro, obtida através das curvas fluidodinâmicas, e com as vazões de suspensão de recobrimento de 8, 12 e 16 mL/min. A pressão de atomização foi fixada em 0,5 kgf/cm<sup>2</sup>. Sob essas condições, alimentou-se o leito de jorro com 500 g de ureia e ajustou-se a temperatura do ar de entrada para 80,5 °C. Assim que o sistema atingiu o regime permanente, iniciou-se a alimentação da suspensão de recobrimento por meio de um bico atomizador de duplo fluido com vazão de suspensão estabelecida. O tempo de atomização foi fixado em 20 min. Ao final do mesmo, interrompeu-se a alimentação da suspensão, deixando as partículas jorrarem por mais 5 min, com o objetivo de secar a camada polimérica e diminuir a umidade. Ao final dos 25 min totais, as partículas foram retiradas do leito.

## 2.2 Modelagem do processo de recobrimento de ureia em leito de jorro

A análise experimental e da simulação do processo de recobrimento foi realizada através de um modelo de balanço global desenvolvido por Almeida (2009) para ensaios de secagem, adaptado para o recobrimento de ureia em leito de jorro. Esse modelo consiste em um balanço global, que foi baseado em algumas hipóteses simplificadoras: a vazão mássica do ar é constante e não há saída de sólidos; as áreas de transferência de calor e de massa do sistema são idênticas; o leito de jorro comporta-se como um tanque perfeitamente agitado; a mistura gasosa é considerada como um gás ideal; a temperatura dos sólidos no leito de jorro é igual à temperatura do gás de exaustão; o acúmulo de suspensão no interior do leito de jorro corresponde ao recobrimento e a difusão de água no interior do filme de recobrimento é desprezível. A principal variável proposta no modelo de Almeida (2009) é a taxa de secagem, expressa conforme a Equação 1.

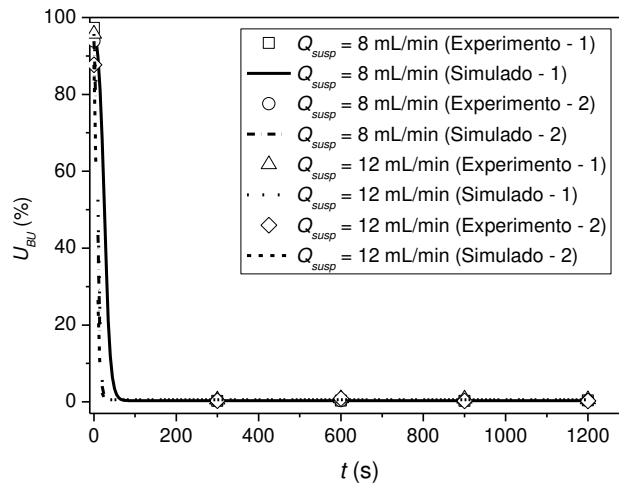
$$r = a(1 - e^{-bt}) \quad (1)$$

na qual  $t$  é o tempo do experimento, e  $a$  e  $b$  são coeficientes de ajuste, sendo  $a$  o máximo valor que pode ser retirado de água no tempo e  $b$  a velocidade da retirada de água. Ambas são funções das condições de processo do gás e da pasta, como temperatura de entrada, vazão mássica de entrada e concentração de sólidos. A solução do modelo foi obtida através da integração numérica pelo método de *Runge-Kutta* de quarta e quinta ordem, em uma rotina construída em modo *MatLab*. Também fazem parte desse modelo várias equações auxiliares para o cálculo das diferentes variáveis envolvidas.

## 3 RESULTADOS e DISCUSSÃO

Os resultados experimentais do recobrimento e da simulação são apresentados nas Figuras 2 a 5.

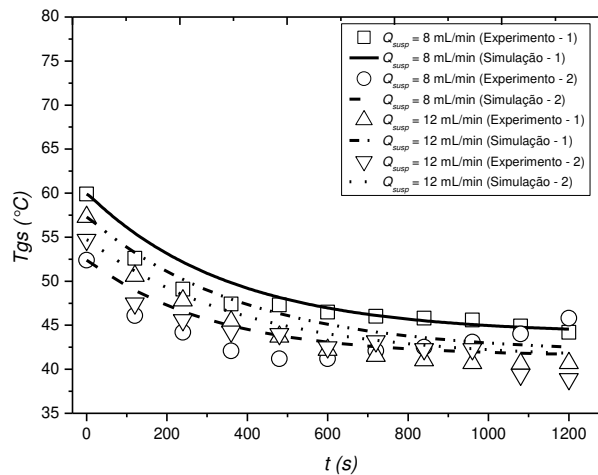
Figura 2 - Umidade do produto final (BU).



Fonte: Autora (2018)

De acordo com a Figura 2, percebe-se que ao iniciar a atomização a umidade da suspensão de recobrimento está entre 87 e 97% e rapidamente diminui para a umidade das partículas de ureia, que é de aproximadamente 0,6%, diminuição essa que ocorre antes dos primeiros 300 s e se mantém até o final da operação. Os dados condizem com a física do processo, visto que a suspensão de recobrimento ao ser atomizada no leito de sólidos adere sob uma fina camada com trocas térmicas e mássicas instantâneas e com altas taxas convectivas.

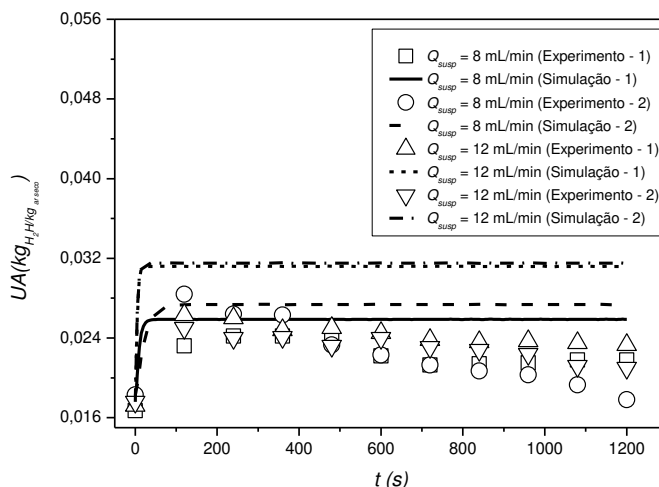
Figura 3 - Temperatura do gás na saída.



Fonte: Autora (2018)

Observa-se na Figura 3, que com o início da atomização as trocas térmicas e mássicas promovem uma diminuição na temperatura do gás de saída, sendo esta diminuição mais pronunciada para os primeiros 600 s de operação. A partir desse tempo o sistema entra em regime permanente e se mantém constante até o final do processo. Novamente o resultado está de acordo, pois o sistema ao sofrer a perturbação pela presença da suspensão tende a buscar um novo equilíbrio térmico em uma temperatura mais baixa devido a taxa evaporativa que promove a umidificação do gás.

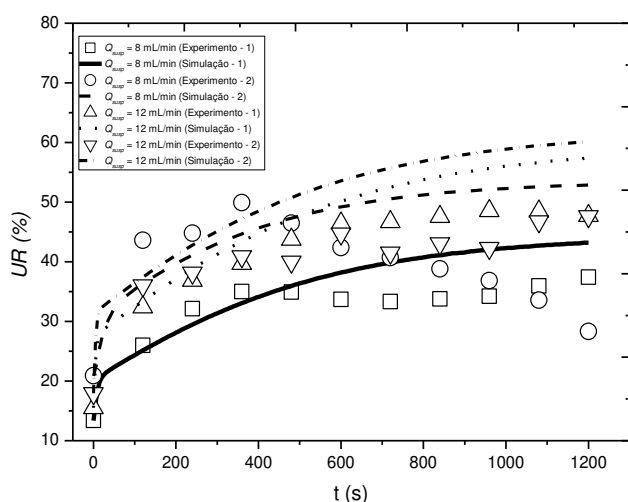
Figura 4 - Umidade Absoluta.



Fonte: Autora (2018)

Na Figura 4 é verificado que a umidade absoluta do sistema atinge um valor máximo já nos primeiros instantes do recobrimento ( $t < 200 \text{ s}$ ) e se mantém nesse patamar, com valores praticamente constantes, até o final do processo. Esse comportamento também foi observado por Almeida (2009) e está de acordo com a física dos fenômenos de transferência de massa envolvidos, onde foi demonstrado na Figura 2 que a umidade da fase líquida decai rapidamente e é simultaneamente transferida para a fase gás, que está representada na Figura 4. Esses fenômenos de transferência de calor e de massa também se refletem diretamente no comportamento da umidade relativa, conforme demonstrado na Figura 5, onde pode-se observar que a umidade relativa do sistema aumenta gradativamente até atingir um valor constante em aproximadamente 600 s, valor esse idêntico ao que foi encontrado para a temperatura do gás atingir o equilíbrio térmico. Isso ocorre devido a umidade relativa ser dependente da pressão de vapor e da pressão de vapor na saturação, e essas, por sua vez, são funções da temperatura do gás e da umidade absoluta.

Figura 5 - Umidade Relativa.



Fonte: Autora (2018)

Conforme a Equação 1, a expressão exponencial possui dois coeficientes ( $a$  e  $b$ ) e foi utilizada para descrever o comportamento da taxa de secagem nas simulações, sendo os valores destas constantes fundamentais para o ajuste dos dados. Foi possível observar a forte dependência do parâmetro  $a$  com a vazão de alimentação da suspensão e com a concentração da suspensão de recobrimento, conforme relatado por Almeida (2009). Entretanto, é necessário que a expressão exponencial seja melhor investigada para que o coeficiente de ajuste  $a$  seja expresso também em termos das propriedades físicas da suspensão e condições de processo.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio deste estudo pode-se concluir que o processo de modelagem do recobrimento foi de suma importância para a comparação dos dados experimentais com os de simulação, acarretando em uma maior análise do processo e no enriquecimento do trabalho. Para ajustar os dados simulados aos experimentais foram necessários ajustes através dos coeficientes  $a$  e  $b$  presentes na equação exponencial, utilizada para descrever o comportamento da taxa de secagem. Para que ocorra um melhor ajuste entre os dados experimentais e simulados, é necessário um maior estudo sobre essas variáveis.

#### REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. R. F. DE. **Análise da secagem de pastas em leito de jorro**. Tese (Doutorado em Engenharia Química), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.

COSTA, T. P. DA. **Avaliação da fluidodinâmica e do recobrimento de grânulos de ureia em leito de jorro para minimizar as perdas de nitrogênio**. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Universidade Federal do Pampa, Bagé, 2015.

DONIDA, M. W. **Recobrimento polimérico de uréia em leito de jorro bidimensional**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

DUARTE, D. S. A. **Perdas de amônia por volatilização em solo tratado com uréia, na presença de resíduos culturais**. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

LARA CABEZAS, W. A. R.; KORNDÖRFER, G. H.; MOTTA, S.A. Volatilização de  $\text{NH}_3$  na cultura de milho: II. Avaliação de fontes sólidas e fluidas em sistema de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 3, p. 489-496, 1997.

MATHUR, K. B.; EPSTEIN, N. **Spouted beds**. New York: Academic Press, 1974.

ROSA, G. S. DA. **Recobrimento de uréia em leito de jorro para minimizar as perdas de nitrogênio por volatilização**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

SILVA, O. S. DA. **Desenvolvimento do processo de recobrimento e secagem de microgrânulos em leito fluidizado**. Tese (Doutorado em Engenharia Química), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.