

Modelagem fenomenológica de tanque *flash* de fábrica de celulose

Silveira, J. C.¹; Pinheiro, O. S.²; Costa, A. O. S.¹; Costa Jr., E. F.¹

¹ Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, ES, Brasil
² Celulose Nipo-Brasileira S/A (Cenibra), Belo Oriente, MG, Brasil

Resumo

O processo de produção de celulose consiste na dissociação de fibras de celulose por meio de reações químicas que se desenvolvem em um digestor pressurizado. Como subproduto deste processo tem-se o licor preto, mistura complexa, que ao deixar o digestor segue para um conjunto de evaporadores de múltiplo efeito, em seguida, o mesmo passa por um tanque *flash* sob vácuo e é alimentado em uma caldeira de recuperação. Na planta da CENIBRA, a concentração do licor na saída do *flash* é medida, mas não há medição na saída dos evaporadores (entrada do *flash*). A partir desta concentração, pode-se determinar a performance dos evaporadores, e desta forma, propõe-se neste trabalho a modelagem do *flash* para se obter a concentração do licor preto na saída do sistema de evaporadores como função da concentração de saída do *flash* (x_f)

Keywords (Palavras chaves): *flash*, modelagem fenomenológica, licor preto.

1. Introdução

O processo de produção de celulose consiste na dissociação de fibras de celulose por meio de reações químicas que se desenvolvem em um digestor pressurizado. Como subproduto deste processo tem-se o licor preto, mistura complexa, constituída dos reagentes inorgânicos utilizados no digestor e de substâncias orgânicas dissolvidas da madeira. Ao deixar o digestor o licor preto segue para um conjunto de evaporadores de múltiplo efeito onde ocorre a elevação da concentração de sólidos. Em seguida, o licor concentrado entra em um tanque de separação, onde, devido a diminuição da pressão, ocorre evaporação de parte da água e conseqüentemente o aumento da concentração. Ao final do processo o licor preto é alimentado em uma caldeira de recuperação [1].

Objetiva-se neste trabalho determinar a concentração de licor preto na saída dos evaporadores (entrada do *flash*) através da modelagem fenomenológica do *flash*. Sendo esta variável necessária na modelagem dos evaporadores envolvidos no processo.

2. Materiais e métodos

Na modelagem do tanque *flash*, inicialmente, foram consideradas: (i) perdas térmicas desprezíveis; (ii) constante de tempo do tanque pequena, devido à

pequena quantidade de massa retida em seu interior. As equações que compõem o modelo são os balanços global (Equação 1) e de sólidos (Equação 2) e balanço de energia (Equação 3),

$$Q_E = Q_v + Q_s \quad (1)$$

$$Q_E \cdot x = Q_s \cdot x_f \quad (2)$$

$$Q_E \cdot h(T(P, x), x) = Q_s \cdot h(T_f(P, x_f), x_f) + Q_v \cdot H_v(T_f) \quad (3)$$

onde Q_E corresponde a vazão mássica de licor na entrada do *flash*, Q_v é a vazão mássica de vapor gerado, Q_s a vazão de licor concentrado na saída do *flash*, x é a concentração de licor na entrada do *flash*, x_f é a concentração de licor na saída do *flash*, T é a temperatura do licor na entrada, T_f é a temperatura do licor na saída, P é a pressão de operação do evaporador, $h(T(P, x), x)$ é a entalpia do licor na entrada, $h(T_f(P, x_f), x_f)$ é a entalpia de licor na saída e $H_v(T_f)$ é a entalpia do vapor gerado.

Correlações empíricas foram utilizadas para determinar as entalpias envolvidas no processo, estas são apresentadas pelas Equações 4 e 5, respectivamente a entalpia do licor preto e a entalpia dos vapores gerados [1].

$$h(T(P, x), x) = 3963,6 \cdot T(P, x) - 1094968,28 + 0,165 \cdot T(P, x)^2 - 4044,40 \cdot x \cdot T(P, x) + 1004749,77 \cdot x + 1,34 \cdot x \cdot T(P, x)^2 \quad (4)$$

$$Hv(T_f(P, x_f)) = 2109,649 \cdot (T_f(P, x_f) - 273,15) + 2,448 \cdot 10^6 \quad (5)$$

A temperatura do licor preto (Equação 6) é função da pressão e da concentração e pode ser obtida pela soma da temperatura de saturação da água (T_{sat}), (Equação 7), com a elevação do ponto de ebulição (EPE), (Equação 8) [1,2].

$$T(P, x) = T_{sat}(P) + EPE(x) \quad (6)$$

$$T_{sat}(P) = \frac{-3920,1}{\ln\left(\frac{P}{133,2}\right) - 18,472} + 42,014 \quad (7)$$

$$EPE(x) = 1,43216 \cdot e^{3,3418 \cdot x} \quad (8)$$

As variáveis do processo são definidas por P, x, T_f , x_f e Q_{ss} (vazão mássica de sólidos secos).

Através de um conjunto de dados industriais determinou-se os seguintes valores para algumas variáveis do processo: P = 220 KPa e Q_{ss} = 132,497 kg/h. De posse destes dados definiu-se uma faixa de variação para as variáveis x_f e T_f . Com isso o sistema composto pelas equações apresentadas (não lineares devido às correlações (4), (7) e (8)) foi resolvido e em seguida, avaliou-se a variação de x em função de T_f .

3. Resultados e discussão

Após a análise dos dados industriais constatou-se que as variáveis x_f e T_f não possuíam valores constantes. Sendo assim, determinou-se uma faixa de variação destas variáveis, equivalente a 0,50 a 0,70 para x_f e 367,15K a 385,15K para T_f . De posse destes valores e dos demais valores para as variáveis do processo resolveram-se as equações do modelo. Como resultado, obteve-se em uma faixa de variação para x, equivalente a 0,475 a 0,685. Comparando-se valores médios para o x calculado e x_f observou-se um aumento da concentração do licor de cerca de 2%.

Na Figura 1 é apresentada a variação de x em função de T_f para diferentes valores de x_f . Embora o modelo seja composto por equações não lineares, tem-se graficamente um comportamento muito próximo do linear, caracterizando pequenas variações nas entalpias das correntes para as faixas empregadas.

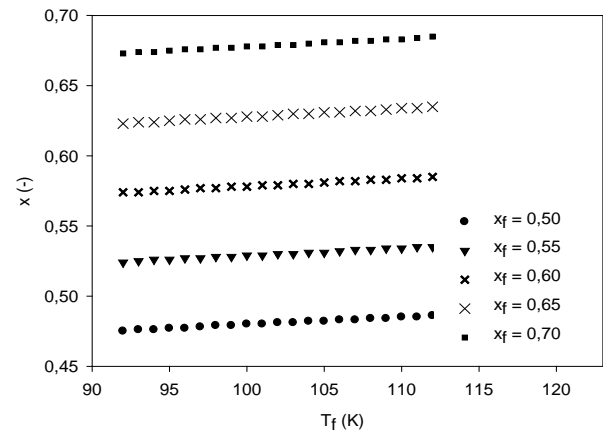


Figura 1: Variação da concentração de licor na entrada (x) em função da concentração de licor na saída (x_f).

4. Conclusões

O modelo do tanque *flash* é essencial para a modelagem dos evaporadores, uma vez que, ocorre um aumento de aproximadamente 2% da concentração de sólidos na corrente de licor preto, valor este significativo para ser desprezado. Observou-se também que a concentração na entrada do *flash* varia ao longo do processo, de modo que, a mesma não possa ser considerada constante.

5. Agradecimentos

A FAPES e ao CNPq pelo apoio financeiro na concessão de bolsas de pesquisador e de iniciação científica.

6. Referências

[1] CAMPOS, S. G. S., 2009. Modelagem Matemática e Análise do Coeficiente Global de Transferência de Calor para o Processo de Concentração do Licor Negro de Eucalipto em Sistema de Evaporadores de Múltiplo Efeito. Dissertação de mestrado, Mestrado em Engenharia Industrial – Unileste, MG, Coronel Fabriciano, MG, Brasil.

[2] SMITH, J. M.; ABBOTT, Michael M.; VAN NESS, H. C. Introdução à termodinâmica da engenharia química. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.