CONTROLE DO PROCESSO DE FERMENTAÇÃO EM ESTADO SÓLIDO EM BIORREATORES DE MÚLTIPLAS BANDEJAS

M. P. L. WASHINGTON[3], L.F. LOPES[1] e A. R. SECCHI[2]

[1] Universidade Federal do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Química
[2] Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Química
[3] Bolsista de Graduação ANP, PRH 13
E-mail para contato: lflopes@eq.ufrj.br; arge@peq.coppe.ufrj.br

RESUMO – Tendo em vista a sensibilidade da fermentação em estado sólido (FES) à umidade e ao calor, estas variáveis devem ser controladas visando à produtividade ótima. Objetiva-se nesse trabalho, avaliar e melhorar o desempenho de um biorreator para FES utilizando *Aspergillus niger* em leito empacotado com múltiplas camadas aplicando estratégias de controle no simulador de processos EMSO. Foram feitas simulações variando a posição da alimentação lateral de ar, a vazão mássica de entrada e a fração de divisão dessa vazão. A partir dessas simulações, foram observadas melhores faixas para as variáveis, para que as condições do processo se mantivessem em valores ótimos. Com isso, foi possível implementar o controle do processo, tendo como variável controlada a temperatura de uma camada manipulando a distribuição do fluxo de ar, mantendo a temperatura ótima ao longo da fermentação por todo o leito.

1. INTRODUÇÃO

A FES envolve o crescimento de microrganismos em partículas sólidas úmidas, em situações na qual o espaço entre as partículas apresenta uma fase contínua gasosa e um mínimo de água presente. Estas partículas sólidas servem como suporte físico e como fonte de nutrientes. Os substratos para a FES são, em geral, resíduos ou subprodutos da agroindústria como farelos, cascas e bagaços, que são materiais considerados viáveis para a biotransformação, já que suas estruturas são compostas principalmente por celulose, hemicelulose, lignina, amido, pectina e proteínas. Uma das razões para o grande interesse na FES é a ampla gama de produtos que pode ser obtida, tais como álcoois, polissacarídeos, ácidos, enzimas, com aplicações em indústrias de alimentos, farmacêuticas, de cosméticos e de pigmentos, entre outras.

A FES deveria ser base para a produção de diversos produtos químicos e biológicos, e ainda mais útil e eficiente devido à exposição direta de ar para as células vivas (Oostra *et al*., 2001), ao contrário da fermentação submersa onde a disponibilidade de oxigênio é sempre limitada pela solubilidade baixa de oxigênio nas soluções aquosas em que as células vivas são suspensas. A dificuldade na remoção do calor metabólico, gerado com o crescimento microbiológico, a uma taxa adequada tem sido o grande desafio no desempenho de processos de FES em biorreatores de larga escala, principalmente nas fermentações que utilizam fungos filamentosos, em que é desejável que o leito permaneça estático durante a maior parte do processo, devido ao dano excessivo às hifas fúngicas e ao substrato (von Meien *et al*. , 2004).

Não é simples controlar a temperatura, a umidade no leito sólido e a concentração de oxigênio na fase gás em valores necessários para alcançar atividade metabólica ótima do microrganismo. A aplicação de estratégias de controle em biorreatores de FES tem demonstrado ser uma tarefa bem difícil, e ainda distante de uma solução satisfatória (Paján *et al.*, 1997). Existem apenas alguns exemplos de uso racional de estratégias modernas de controle na otimização de biorreatores em escala piloto (Oostra *et al.*, 2001). Dessa forma, o presente trabalho objetiva, através do modelo reportado em Mitchell *et al.* (2010), avaliar e melhorar o desempenho de um biorreator em processo FES utilizando *Aspergillus niger* em leito empacotado com múltiplas camadas aplicando estratégias de controle no simulador de processos EMSO.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O modelo proposto por Mitchell *et al*. (2010) considera um biorreator de leito empacotado com múltiplas camadas com aeração forçada e sem transferência de calor através das paredes laterais. Este utiliza equações referentes à produção de biomassa, ao balanço de massa de água e ao balanço de energia, considerando dez camadas.

A este modelo foi incluído um divisor de corrente e um misturador para avaliar o comportamento do sistema com alimentação lateral. Foram feitas simulações variando os seguintes parâmetros: a fração da divisão de corrente (alfa), variando de 0,1-1,0, a bandeja acima da qual entra a alimentação lateral (F), considerando F=2, 4, 6 e 8, e a vazão mássica da alimentação (G), variando de 0,35-2,0 kg h^{-1}. A partir disso foi possível observar quais situações melhoram o desempenho do processo, e assim poder aplicar as estratégias de controle em torno das melhores faixas das variáveis obtidas (Figura 1). Os parâmetros do controlador foram obtidos minimizando a integral do erro, que é a diferença entre o setpoint e a variável medida, pelo método dos poliedros flexíveis.

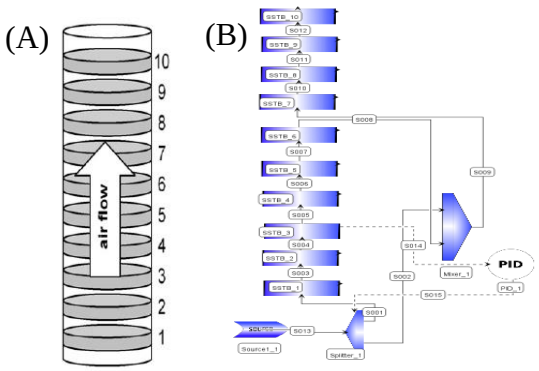

Figura 1 – Biorreator de leito empacotado com múltipas camadas. (A)Biorreator com 10 camadas sem alimentação lateral. (B) Biorreator incluindo a alimentação lateral e o controlador PID implementados no EMSO.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram selecionados os resultados apenas com alimentação lateral em F=6, pois nessas condições os resultados foram mais promissores quando comparados com os outros casos.

Através das simulações do sistema com alimentação lateral, pode-se notar que há um aumento na temperatura do gás até a camada onde ocorre a alimentação lateral, sendo que

após a alimentação de gás, a temperatura cai drasticamente nas camadas posteriores, aumento apenas cerca de 2°C quando chega na camada dez (Figura 2). Isso acontece para as diferentes posições de alimentação lateral no leito, com o equilíbrio térmico do biorreator sendo influenciado tanto pela vazão mássica de gás quanto pela fração da corrente. Antes da alimentação lateral, a umidade apresenta valores maiores em uma determinada região onde houve maior arraste de água desde as primeiras camadas (alfa a partir de 0,6).

Após a alimentação lateral, há maior arraste acarretando em maior teor de água e em uma umidade maior em outras regiões, quando a vazão é maior. Já ao chegar à última camada, apenas para valores de vazão baixos é possível observar a umidade do gás em valores adequados para o processo, mostrando um maior arraste de água principalmente após a alimentação lateral. (Figura 3).

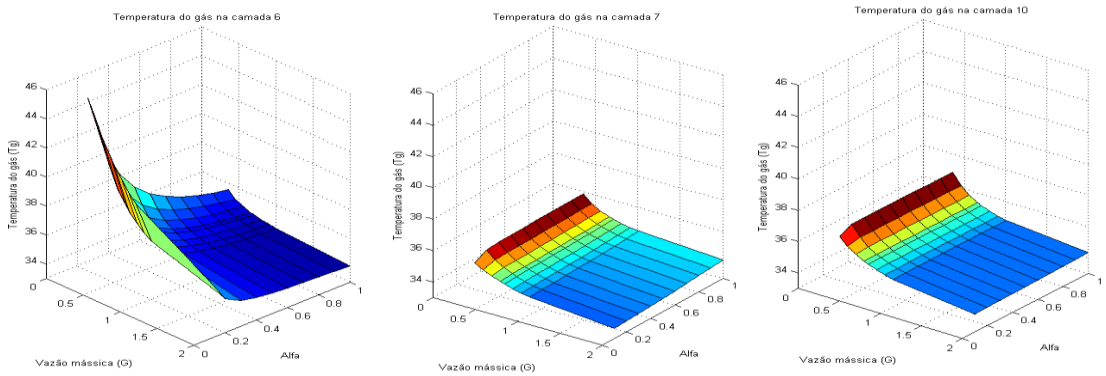

Figura 2 – Temperatura do gás para as diferentes camadas do leito (6, 7 e 10) variando a vazão mássica e o alfa para F=6.

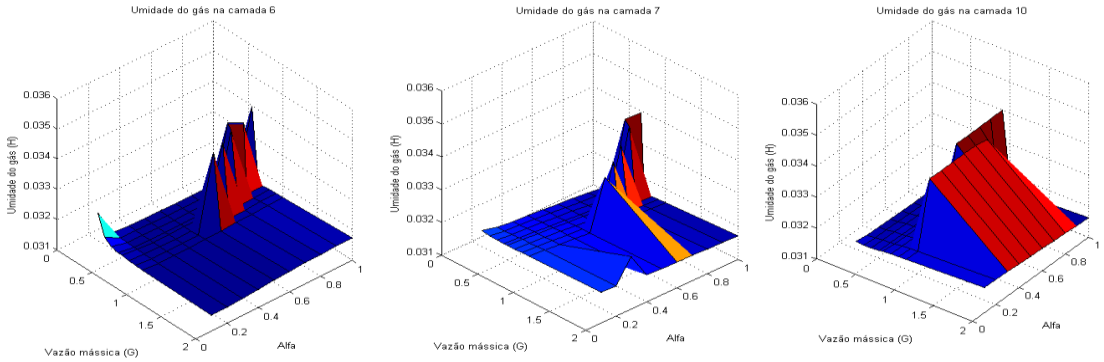

Figura 3 – Umidade do gás para as diferentes camadas do leito (6, 7 e 10) variando a vazão mássica e o alfa para F=6.

Inicialmente, antes da alimentação lateral, uma pequena queda da biomassa é observada na região onde a temperatura se encontra alta. Quedas pontuais também são observadas devido à umidade alta na região. Após a alimentação, com a temperatura restabelecida, há uma queda em outras regiões onde a umidade está bastante alta. Na última camada fica mais explícita a relação entre a umidade e a biomassa total (Figura 4).

A partir dos resultados iniciais, foi feita a inclusão do controlador no processo considerando F=6, e observou-se que houve o controle da temperatura para valores ótimos para o processo ao manipular o alfa. Sendo que ao mudar o local de medida da temperatura,

obtiveram-se valores de no máximo 35,5°C, quando a medição foi feita na camada 6, ao longo da fermentação (Figura 5).

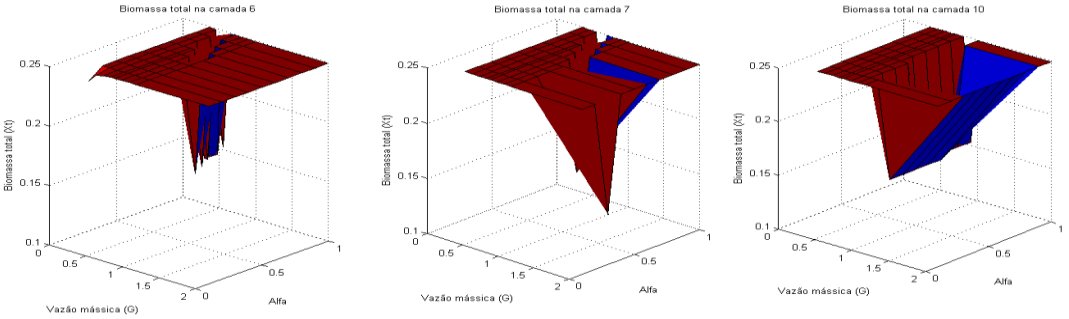

Figura 4 – Biomassa total para as diferentes camadas do leito (6, 7 e 10) variando a vazão mássica e o alfa para F=6.

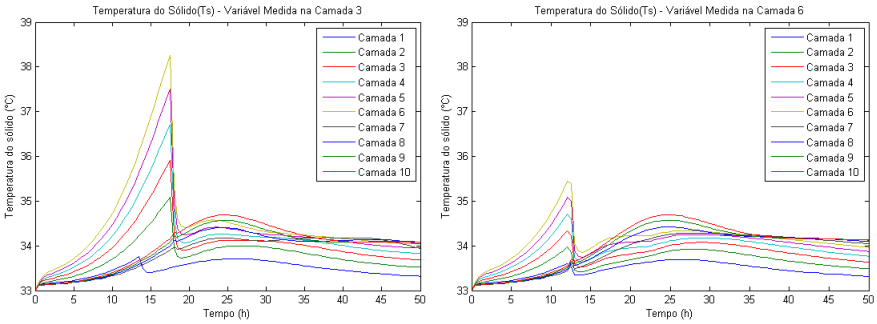

Figura 5 – Temperaturas do sólido controlando o sistema a partir da medida da temperatura nas camadas 3 (esquerda) e 6 (direita).

4. CONCLUSÕES

As técnicas de controle implementadas foram eficientes para o processo, pois foi possível manter a temperatura em no máximo 35,5°C ao longo da fermentação por todo o leito quando a temperatura foi medida na camada 6.

6. REFERÊNCIAS

MITCHELL, D.A; CUNHA, L. E. N; MACHADO, A. V. L; LUZ, L. F. D; KRIEGER, N. A model-based investigation of the potential advantages of multi-layer packed beds in solid-state fermentation. Biochemical Engineering Journal 48, p.195-203, 2010.

OOSTRA, J., LE CONTE, E.P., VAN DEN HEUVEL, J.C., TRAMPER, J. Intra-particle oxygen diffusion limitation in solid-state fermentation. Biotechnology and Bioengineering 75 (1), 13–24, 2001.

PAJÁN, H., PÉREZ-CORREA, R., SOLAR, I., AGOSIN, E. Multivariable model predictive control of a solid state bioreactor: a simulation study. In: Wise, D.L. (Ed.), Global Environmental Biotechnology. Kluwer Academic Publishers, Boston, pp. 221–232, 1997.

VON MEIEN, O.F.; LUZ JR., L.F.L.; MITCHELL, D.A.; PERÉZ-CORREA, J.; AGOSIN, E.; FERNÁNDEZ-FERNÁNDEZ, M.; ARCAS, J.A. Control strategies for intermittently mixed, forcefully aerated solid-state fermentation bioreactors based on the analysis of a distributed parameter model. Chem. Eng. Sci., 59, pp. 4493–4504, 2004.