



## Controle automático de fluxo e ajuste de umidade do ar de alimentação em reatores de fermentação sólida

Victor Bertucci-Neto<sup>1</sup>; Rafael Frederico Fonseca<sup>1</sup>; Rafael Albieri Francisco<sup>1</sup>, Cristiane Sanchez Farinas<sup>1</sup>, e Sonia Couri<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Embrapa Instrumentação Agropecuária, Caixa Postal 741, 13560-970 São Carlos, SP

E-mail: [victor@cnpdia.embrapa.br](mailto:victor@cnpdia.embrapa.br)

<sup>2</sup>Embrapa Agroindústria de Alimentos, Caixa Postal, 89600-000, Rio de Janeiro, RJ

### RESUMO

*Processos de Fermentação Sólida (FES) apresentam vantagens em relação aos processos de Fermentação Submersa (FS) para produção de enzimas, por exemplo. Entretanto, a produção de enzimas em grande escala a partir de FES apresenta limitações devido à grande variabilidade física dos parâmetros envolvidos no processo, tais como umidade relativa e temperatura do meio, afetando diretamente a produção de biomassa. A instrumentação e automação desses processos têm sido determinantes para aumentar a eficiência de produção. Neste trabalho é apresentado um sistema de alimentação de ar para reatores de FES com instrumentação e automação para manter ajustes de umidade e fluxo segundo o operador, visando estudar as condições adequadas de cada processo.*

**Palavras-chave:** fermentação, sólida, instrumentação, automação, sensores. processo

### INTRODUÇÃO

Um Processo de Fermentação em Estado Sólido (FES) pode ser descrito como o crescimento de microorganismos em substratos sólidos, ou dentro deles, na ausência de água livre. FES têm sido usados por milhares de anos no preparo de comidas tradicionais tais como tempeh, shoyu, e miso, em países orientais, e pão, iogurte e queijo em países ocidentais. Embora os FES tenham produzido poucas novas aplicações (como, por exemplo, produção de enzimas pectinolíticas), possuem um futuro promissor, em particular na valorização de produtos agroindustriais, biodegradação de resíduos sólidos, na atenuação de poluentes orgânicos em solos, e na redução da poluição atmosférica por biofiltração (Bellon-Maurel, 2001). Entretanto, os FES raramente são realizados em grande escala, a despeito de algumas vantagens em relação a processos de Fermentação Submersa (FS). Dentre algumas vantagens podem ser, além da possibilidade de bioconversão de resíduos sólidos, o menor uso de água, e menor quantidade de dejetos produzidos. O uso de FES também se mostra particularmente vantajoso para a produção de enzimas, possibilitando maior produtividade quando comparada ao processo de FS. Comparado com a FS, o meio sólido de um FES contém menos água, mas uma não menos importante fase gasosa existe entre as partículas. Esta realização é de grande importância devido à pobre condutividade térmica do ar comparado à água (Durand, 2003). Apesar dessas vantagens, o FES esbarra em uma desvantagem limitante de sua aplicação de uma forma mais ampla e direta em processos industriais: a dificuldade de controlar e mesmo



medir algumas das diversas variáveis envolvidas no processo. Os principais parâmetros a serem medidos e controlados em FES são: temperatura do meio, aeração homogênea, pH, e conteúdo de água no leito (Bellon-Maurel, 2001). Além disso, a utilização de FES tem se mostrado particularmente vantajosa para a produção de enzimas, proporcionando uma maior produtividade quando comparada ao processo de FS. Este aspecto tem sido bastante explorado recentemente devido à procura por processos de produção de etanol de segunda geração de forma eficiente e competitiva. A celulose é a fonte natural renovável mais abundante do planeta e a produção de energia baseada na matriz lignocelulósica é uma importante rota alternativa que vem sendo mundialmente estudada e debatida. Entre as fontes de biomassa celulósica que podem ser utilizadas para a produção de energia, especialmente na forma de biocombustíveis, destacam-se os resíduos agroindustriais. Apesar de já existirem tecnologias disponíveis para o processamento da celulose, a maioria esbarra em dificuldades técnicas ou econômicas. A produção de etanol a partir de biomassa celulósica requer etapas adicionais de tratamento do material a fim de converter os compostos poliméricos presentes em açúcares fermentescíveis. Isso ocorre devido à natureza recalcitrante dos materiais lignocelulósicos, que possuem ligações inter e intramoleculares que fazem com que a hidrólise da celulose seja muito mais difícil do que a hidrólise de materiais amiláceos, por exemplo. Entre as tecnologias da etapa de hidrólise existem oportunidades de desenvolvimentos utilizando a hidrólise química e a hidrólise enzimática. A conversão enzimática de materiais lignocelulósicos para a obtenção de açúcares fermentescíveis tem sido apontada como a rota alternativa mais promissora e de grande interesse industrial para o aumento da produtividade do etanol de forma sustentável (Sun e Cheng, 2002; Knauf e Moniruzzaman, 2004). Dessa forma, o interesse pelo desenvolvimento de FES para produção de enzimas em grande escala tem se tornado crescente. Cada processo necessita de caracterização segundo propriedades físicas e biológicas, partindo de escalas de bancada até escalas maiores. As limitações de produtividade se devem à grande variabilidade espacial, no que diz respeito aos parâmetros físicos, que ocorre no substrato. As soluções encontradas para crescimento da biomassa são variadas, incluindo reatores de bandeja, colunas, e tambor rotativo (Lonsane, 1985). Por sua vez, a instrumentação necessária para cada processo se reveste cada vez mais de importância dada a rapidez com que a tecnologia de sensores, aquisição de dados, e programação de dados, avança nos dias atuais. A aplicação de novos conceitos de reatores, e de instrumentação para controle e monitoração de processos é indispensável para o avanço do conhecimento existente em busca de escalonamento. A automação é imprescindível para o controle do processo sendo útil, também, para caracterização dos fenômenos que ocorrem no processo, quando aliado à modelagem. Dessa forma, podem ser interligados vários sensores coletando dados ao mesmo tempo, que serão usados para tomar decisões de controle do sistema, de forma manual, ou automática. Neste presente trabalho, apresenta-se um método de alimentação de ar para reatores de FES, no qual o fluxo é controlado automaticamente de forma que sejam garantidas as condições desejadas de umidade do ar de entrada do reator. O sistema é composto de vários sensores e placa de aquisição de dados e acionamento de subsistemas, comandados via programação em computador digital. A vantagem imediata é que pode ser aplicado, segundo o escalonamento dos sensores e válvulas, em várias escalas de alimentação de ar, conforme as necessidades do processo de FES.

MATERIAL E MÉTODOS

O princípio de funcionamento do sistema é manter uma razão entre fluxo de ar seco com outro de ar saturado com água de forma a obter um fluxo de ar constante com umidade também constante, conforme a necessidade do operador. Conforme mostra o diagrama na Figura 1, o sistema é composto de uma entrada de ar saturado de água e outra de ar seco. Cada uma dessas linhas de entrada possui um controlador de fluxo de massa (CF1 e CF2) que são comandados por sinais elétricos entre 0 e 5 VDC, através dos sinais de comando C1 e C2. Os controladores possuem saída de medida de fluxo indicadas por M1, e M2. As duas tubulações de ar seco e úmido são ligadas entre si para fazer a mistura ajustada pelos comandos. Um conjunto sensor mede a umidade relativa e a temperatura do ar resultantes dessa mistura, indicados por URT1. Um segundo conjunto sensor mede a umidade e a temperatura resultantes do ar de saída do reator. As medidas de temperatura e umidade de cada conjunto sensor são dadas por M3, M4, M5, e M6.

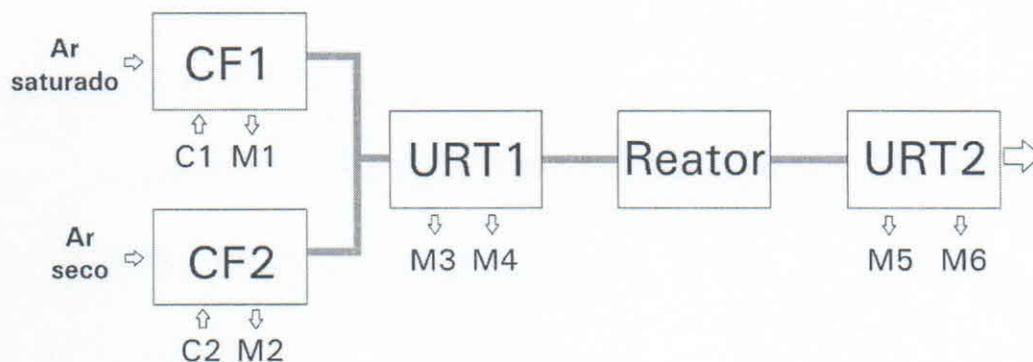


Fig. 1. Diagrama em blocos do sistema de controle de fluxo de ar.

Os experimentos foram feitos em bancada, sendo utilizados sensores do tipo estado sólido de fluxo, de umidade, de pressão relativa (para a linha de alimentação de ar), e de temperatura, todos do fabricante *Honeywell International Inc.* Este fabricante possui modelos de sensores de fluxo e de pressão em várias faixas de trabalho, além de diversos modelos de sensores de temperatura e umidade. Para efetuar o controle de fluxo de massa em linha foram usados dois controladores do fabricante *Aalborg Instruments and Controls, Inc.*, sendo um deles para a linha de ar saturado, e outro para a linha de ar seco. O sensor de umidade usado também possui um resistor de platina para medida de temperatura. Desta forma, a expressão matemática indicada pelo fabricante para cálculo da umidade em função da diferença de potencial elétrico entre os terminais do sensor também inclui a compensação de temperatura. Foram usados três sensores de fluxo alimentados em corrente contínua com  $10 \pm 0,02$  volts, com saída entre 0 a 5 volts, para um fluxo entre 0 a 1000 mililitro/minuto. Os controladores de fluxo de massa controlam o fluxo de ar entre 0 e 1 litro/minuto, conforme o comando via sinal de corrente contínua entre 0 e 5 volts. As medidas são armazenadas através de uma placa de aquisição de dados da *National Instruments*, a qual possui, entre outras características, 16 canais de entradas analógicas (ou oito entradas diferenciais) e dois canais de saídas analógicas

para acionamento externo. Cada canal de entrada, ou de saída, usado no sistema para medida de um sensor, ou de acionamento de um controlador, é configurado individualmente de acordo com as características específicas. A seqüência de medidas, armazenamento de dados, desenhos de gráficos em tempo real, e acionamento dos controladores de fluxo de massa, é feita com auxílio de um pacote de programação por interface gráfica, chamado *LabView*, versão 8.2, também da *National Instruments*. Este pacote permite o desenvolvimento de instrumentos virtuais que fazem interface com placas de aquisição de dados, a exemplo do que foi usado no sistema. Na Figura 2 vê-se a interface gráfica de um instrumento virtual desenvolvido no trabalho usado para aquisição e armazenamento de dados, e acionamento dos controladores de fluxo de massa. O programa desenvolvido possibilita o uso de até 32 sensores, com conversão de dados de voltagem para as unidades desejadas. As medidas e acionamentos são feitas em intervalos de tempo escolhidos pelo operador, bastando para isto acionar o botão de amostragem de dados.

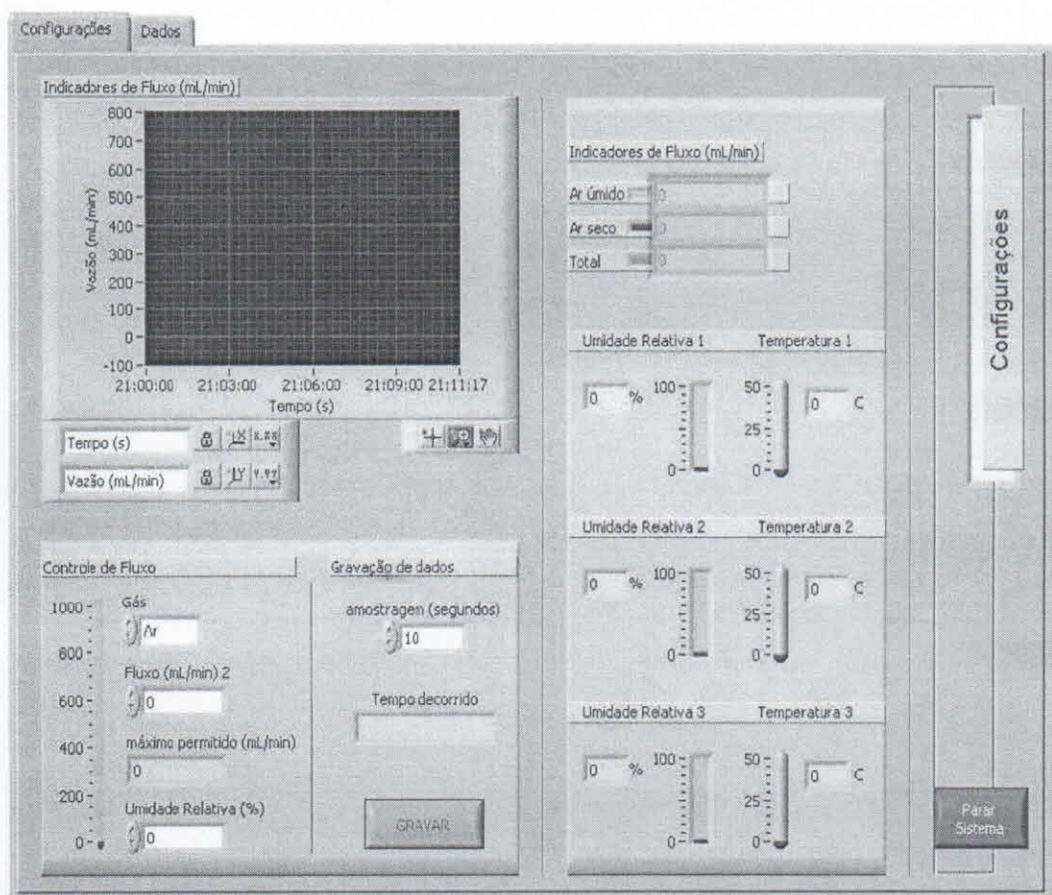


Fig. 2. Detalhe do instrumento virtual desenvolvido para o sistema de aquisição de dados e controle de fluxo de ar.

**RESULTADOS E DISCUSSÕES**

O sistema foi acionado de forma que um fluxo de ar totalmente seco promovesse a secagem de um substrato composto de farelo de trigo, com massa igual a 2,45 gramas, previamente secado em estufa, durante várias horas. O substrato foi colocado em uma coluna de vidro imersa em um banho com água, de forma a simular um reator de fermentação sólida. Em seguida foi ajustado o fluxo de ar seco e úmido para garantir a umidade do ar de entrada com umidade relativa igual a 80%. Foram medidos e armazenados os parâmetros M1 a M6, com amostragem de 1 segundo cada canal. Na Figura 3 observa-se o resultado do comportamento do degrau de umidade do ar de entrada da coluna, UR1, e da umidade relativa do ar de saída da coluna, UR2. Observa-se, como esperado, a concentração de umidade em função do tempo no substrato previamente seco, tendendo ao valor ajustado pelo controle. Como não houve atividade biológica considerável no meio (o substrato não foi inoculado), as temperaturas do ar de entrada e saída ( $T_e$  e  $T_s$ , respectivamente) se equipararam. Dessa forma, a temperatura do ar variou principalmente devido à variação do ar de entrada do compressor de ar, ao longo do tempo. O ajuste de umidade em 80% do experimento foi iniciado às 17h30min e durou cerca de 750 minutos.

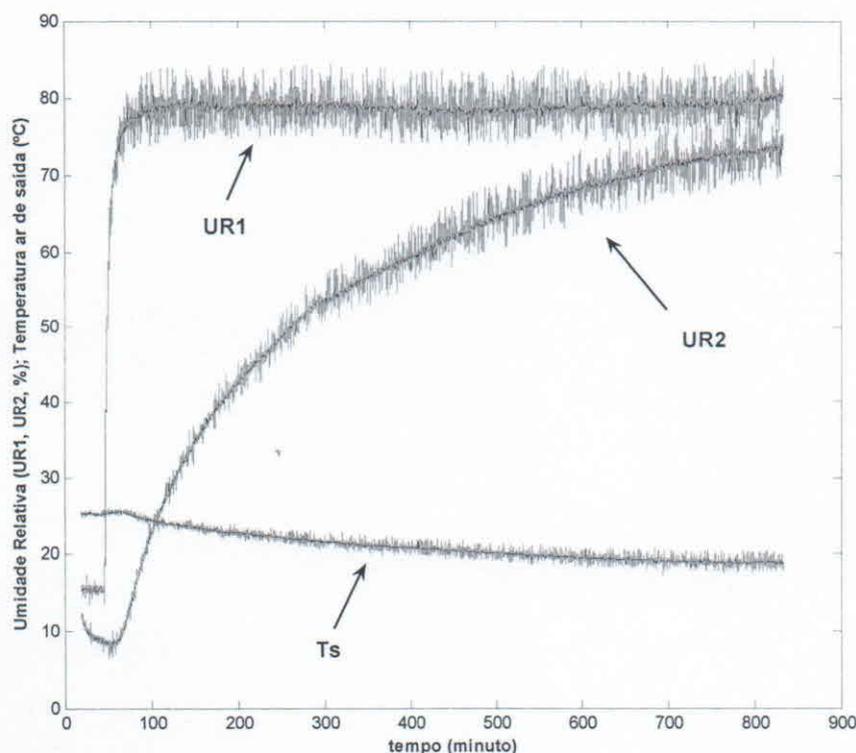


Fig. 3. Degrau de umidade de 80% (UR1) em substrato e resposta de saída (UR2), com medida de temperatura de do ar de saída ( $T_s$ ).



### CONCLUSÕES

O sistema desenvolvido permite versatilidade suficiente para trabalhar em diferentes faixas de fluxo e pode manter com bastante fidelidade o que for comandado pelo operador. Entretanto, o ajuste de umidade depende das variações da temperatura e da umidade do ar entregue pelo compressor. Uma maneira de contornar essa situação é garantir que essas variáveis se mantenham constantes em uma faixa restrita, ou implementar uma malha de controle a mais no programa para que o sistema possa comandar pequenos desvios de umidade desejada aumentando ou diminuindo os fluxos de ar seco e ar úmido. Entretanto, com os resultados obtidos também é possível modelar a resposta a degrau de umidade referente à massa de substrato utilizada, aproximando-a de um sistema de primeira ordem com atraso de tempo.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bellon-Maurel; V., Orliac, O. e Christen, P. (2001), Sensors and measurements in solid state fermentation: a review. *Process Biochemistry*, v.38, p. 881-896.

Durand, A. (2003), Bioreactor designs for solid state fermentation. *Biochemical Engineering Journal*, v.13, p. 113-125.

Knauf, M. e Moniruzzaman, M. (2004), Lignocellulosic biomass processing: A perspective. *International Sugar Journal*, v. 106, n. 1263, p. 147-150.

Lonsane, B. K. (1985), Engineering aspects of solid state fermentation, *Review Enzyme Microb. Technol.*, v.7, p. 258-265.

Sun, Y. e Cheng, J. (2002), Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review, *Bioresource Technology*, v. 10, p. 367-375.