

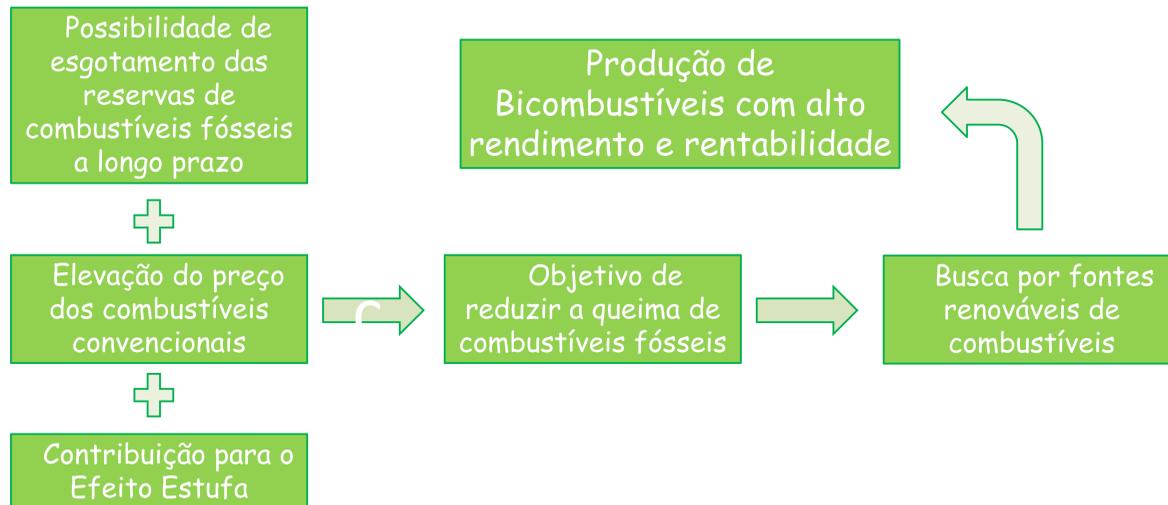
# ESTUDO DO COMPORTAMENTO DINÂMICO DE UM PROCESSO DE FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA EXTRATIVO USANDO PLANEJAMENTO FATORIAL



Felipe Pelegrino Pinheiro<sup>1\*</sup>, Rafael Ramos de Andrade<sup>1</sup>, Aline Carvalho da Costa<sup>1</sup>  
 FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA - UNICAMP  
<sup>1</sup> DPQ – DEPARTAMENTO DE PROCESSOS QUÍMICOS  
 \* felipepelegrinop@gmail.com  
 Agência Financiadora: CNPq/PIBIC - UNICAMP



## INTRODUÇÃO



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Variáveis dependentes analisadas: taxa de reciclo de células ( $R$ ), vazão de mosto de alimentação ( $F_0$ ), taxa de reciclo do tanque flash ( $r$ ), concentração de ART no mosto de alimentação ( $S_0$ ) e temperatura de entrada do meio de alimentação ( $T_0$ )

Respostas observadas: concentração de ART no reator ( $S$ ), concentração de células viáveis no reator ( $X_V$ ), concentração de etanol no reator ( $P$ ) e temperatura no reator ( $T$ )

Através do Planejamento Fatorial e da análise estatística, foram determinados os efeitos significativos:

Efeitos Principais de $R, r, S_0$ e $T_0$	Efeitos Principais de $R, r$ e $T_0$	Efeitos Principais de $r$ e $F_0$	Efeitos Principais de $R, r$ e $T_0$ e Efeitos de Interação $r^*T_0$ e $R^*T_0$
S	$X_V$	P	T

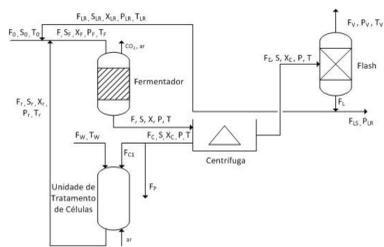
Através da Metodologia das Superfícies de Resposta (RSM), pôde-se obter a expressão matemática que descreve o comportamento de uma variável de saída em relação às variáveis dependentes estudadas, havendo termos lineares e quadráticos para cada Efeito Principal e termos quadráticos referentes aos Efeitos de Interação entre as variáveis dependentes. Foram considerados significativos os efeitos cujos coeficientes apresentaram p-valor menor do que 5%

## MATERIAIS E MÉTODOS

- Descrição matemática do processo de fermentação extrativa, partindo-se de trabalhos anteriores (balanços de massa e energia e equações de equilíbrio);
- Escolha de um modelo cinético e dos parâmetros cinéticos a serem utilizados para descrever o processo microbiano de crescimento, morte, consumo de matéria prima e geração de produtos, com base em trabalhos anteriores;

Ensaio	R	$F_0$	r	$S_0$	$T_0$
1	-1	-1	-1	-1	-1
2	1	-1	-1	-1	-1
3	-1	1	-1	-1	-1
4	1	1	-1	-1	-1
5	-1	-1	1	-1	-1
6	1	-1	1	-1	-1
7	-1	1	1	-1	-1
8	1	1	1	-1	-1
9	-1	-1	-1	1	-1
10	1	-1	-1	1	-1
11	-1	1	-1	1	-1
12	1	1	-1	1	-1
13	-1	-1	1	1	-1
14	1	-1	1	1	-1
15	-1	1	1	1	-1
16	1	1	1	1	-1
17	-1	-1	-1	-1	1
18	1	-1	-1	-1	1
19	-1	1	-1	-1	1
20	1	1	-1	-1	1

- Implementação das equações diferenciais em linguagem Fortran, para geração dos resultados a serem analisados;
- Familiarização com os conceitos de Planejamento Fatorial e RSM;
- Escolha das variáveis dependentes a serem estudadas e das variáveis independentes a serem observadas, seguida da construção da matriz de planejamento;
- Análise estatística dos resultados.



	S	p-valor
Constante	96,91351	0,000000
R	-7,69203	0,000000
$R^2$	-0,00495	0,996643
$F_0$	0,06359	0,938711
$F_0^2$	0,33405	0,776560
r	-4,52557	0,000015
$r^2$	0,05318	0,963930
$S_0$	10,75996	0,000000
$S_0^2$	0,34750	0,767834
$T_0$	17,02528	0,000000
$T_0^2$	-6,71429	0,000008
$R^*F_0$	0,00374	0,996898
$R^*r$	-0,49209	0,610115
$R^*S_0$	-0,77100	0,426348
$R^*T_0$	-0,41695	0,665445
$F_0^*r$	-0,00323	0,997318
$F_0^*S_0$	0,00501	0,995844
$F_0^*T_0$	0,11828	0,902181
$r^*S_0$	-0,50581	0,600256
$r^*T_0$	-0,72211	0,455861
$S_0^*T_0$	-0,00169	0,998596

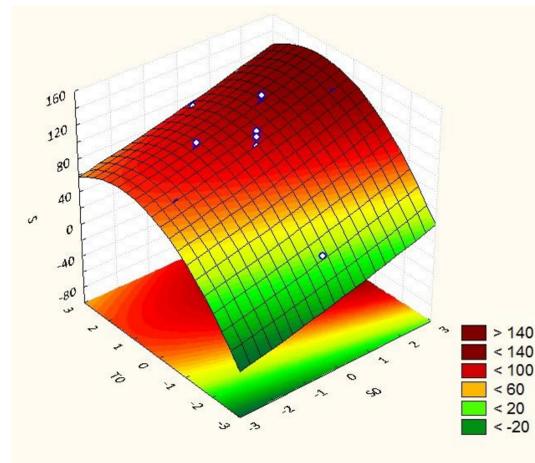


Figura 1: Tabela com os valores dos coeficientes dos Efeitos Principais e de Interação que determinam o valor de  $S$ . Os valores em vermelho são significativos. A superfície de resposta indica o comportamento de  $S$  em função das duas variáveis cujos Efeitos Principais foram os mais importantes. A equação exibida indica, a partir da análise RSM, o comportamento de  $S$  em função de todos os efeitos, sejam eles significativos ou não.

$$S = 96,914 - 7,692R - 0,005R^2 + 0,064F_0 + 0,334F_0^2 - 4,526r + 0,053r^2 + 10,760S_0 + 0,348S_0^2 + 17,025T_0^2 + 0,004R \cdot F_0 - 0,492R \cdot r - 0,771R \cdot S_0 - 0,417R \cdot T_0 - 0,003F_0 \cdot r + 0,005F_0 \cdot S_0 + 0,118F_0 \cdot T_0 - 0,506r \cdot S_0 - 0,722r \cdot T_0 - 0,002S_0 \cdot T_0$$

## CONCLUSÃO

O controle de um processo de fermentação alcoólica extrativo de modo a se manter o sistema trabalhando nas condições desejadas de cada uma das variáveis de saída estudadas seria consideravelmente eficiente e de implementação pouco complexa, na medida em que não foram identificados efeitos de interação com grande importância na determinação das respostas, bem como apenas uma das variáveis dependentes ( $S$ ) se revelou fortemente influenciada por mais de dois efeitos principais. Dentre as cinco variáveis independentes escolhidas para o estudo, quatro seriam de fácil aferição.  $R$ ,  $F_0$  e  $r$  seriam facilmente determinados com a utilização de medidores de vazão acoplados às linhas de fluxo do processo e sua adequação aos valores desejados seria facilmente atingida através da utilização de válvulas de controle ou de inversores de frequência acoplados às bombas do processo.  $T_0$ , por sua vez, poderia ser determinada com a utilização de termopares adequados para a faixa de temperatura em questão, e sua adequação aos valores desejados dependeria da utilização de um trocador de calor bem adequado às necessidades do processo. Quanto à variável de saída  $S$ , sua grande dependência em relação aos efeitos principais de quatro variáveis independentes, entre as quais  $S_0$ , dificulta seu controle simples. Considerando-se que as variáveis  $T_0$ ,  $R$  e  $r$  sejam manipuladas conforme a necessidade de adequação das demais variáveis de saída ( $X_V$ ,  $P$  e  $T$ ), a faixa de valores assumida por  $S$  nas condições em questão provavelmente estaria aquém do desejado. Mediante este quadro, buscar-se-ia a adequação de  $S$  através de modificações no valor de  $S_0$ .

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, R. R., RIVERA, E. A. C., ATALA, D. I. P., MACIEL FILHO, R., MAUGERI FILHO, F., COSTA, A. C. *Study of Kinetic Parameters in a Mechanistic Model for Bioethanol Production through a Screening Technique and Optimization*, Bioprocess and Biosystems Engineering, 32, 673-680, 2009.

ANDRADE, R. R. *Procedimento para o Desenvolvimento de um Modelo Matemático Robusto para o Processo de Fermentação Alcoólica*. Campinas - SP. Mestrado em Engenharia Química. Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas. Orientadora: Profa. Dra. Aline Carvalho da Costa, 2007.

ATALA, D. I. P. *Montagem, Instrumentação, Controle e Desenvolvimento Experimental de um Processo de Fermentação Alcoólica Extrativo*. Campinas - SP. Doutorado em Engenharia de Alimentos. Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas. Orientador: Prof. Dr. Francisco Maugeri Filho, 2004.

ATALA, D. I. P. *Fermentação Alcoólica com Alta Densidade Celular: Modelagem Cinética, Convalidação de Parâmetros e Otimização do Processo*. Campinas - SP. Mestrado em Engenharia de Alimentos. Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, 2000.

COSTA, A. C., ATALA, D. I. P., MACIEL FILHO, R., MAUGERI FILHO, F. *Factorial Design and Simulation for the Optimization and Determination of Control Structures for an Extractive Alcoholic Fermentation*, Process Biochemistry, v. 37-2, 125-137, 2001.

MONTGOMERY, D. C., RUNGER, G. C. *Applied Statistics and Probability for Engineers*, John Wiley & Sons, Inc., Third Edition, 506-563, 2003.

BARRIOS NETO, B., SCARMINIO, I. S., BRUNS, R. E. *Como Fazer Experimentos*, 2ª Edição, Editora da Unicamp, Campinas - SP, 83-274, 2002.

