



**II-064 - A INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES ( $C_{x_0}$  e  $C_{x_f}$ ) DE BIOMASSA NA MODELAGEM E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE REATORES BIOLÓGICOS OPERANDO EM BATELADA ALIMENTADA SEGUIDO DE BATELADA**

**Juscelino Alves Henriques<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba. Mestrando em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande.

**Igor Souza Ogata**

Engenheiro sanitaria e ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba. Mestre em engenharia civil e ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande.

**Cayo Farias Pereira**

Engenheiro sanitaria e ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba. Mestre em engenharia civil e ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande.

**Emanuel Campos dos Santos**

Engenheiro sanitaria e ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba. Mestre em engenharia civil e ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande.

**Endereço<sup>(1)</sup>**: Rua Pedro Barbosa, 35 – Cruzeiro – Campina Grande – Paraíba – Brasil. CEP 58415-660 **Tel** (+55 83 9128-7328) **email** henriqueskj@gmail.com

## RESUMO

Concentrações de biomassa foram testadas neste estudo com reatores biológicos, à fim de avaliar as proporções que aumentam a eficiência dos reatores. Para esta pesquisa foi implementado o modelo de Monod de crescimento microbiológico. Os testes foram feitos através de códigos computacionais, demonstrando a importância da modelagem matemática em projetos de engenharia sanitária. Os resultados obtidos são satisfatórios e comprovam o uso da modelagem matemática para o gerenciamento de reatores biológicos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Modelagem Matemática, Reatores Biológicos, Simulação Computacional.

## INTRODUÇÃO

Os reatores biológicos são caracterizados por uma zona de alimentação de efluentes com o objetivo de seu tratamento, ou seja, unidades para remoção de matéria orgânica.

Como principal característica no processo atual de modelagem, temos a descrição de um processo de tratamento biológico operando em batelada alimentada seguido de batelada, tratando-se de uma carga inicial com um determinado inóculo. Essa carga passa a representar cerca de 20% do volume total do reator e é reforçado após um período efetivo de quatro horas.

Em processos como este, o controle da concentração de nutrientes em níveis desejados através da manipulação da vazão, permite que o sistema seja aplicado em técnicas fermentativas para inibição do excesso de substrato. Porém, a utilização mais ampla para redução da carga orgânica mostra-se para efeito de saneamento, uma aplicação sobremaneira eficaz com relação à realização de pesquisas na área.

No presente trabalho, o período efetivo de quatro horas é seguido pela anulação da vazão, passando, portanto, o reator a operar em batelada (Figura 1). Em suma, o reator passa por um intervalo de tempo operando com a alimentação de uma vazão constante cessando após quatro horas. Este processo permite que a biomassa permaneça ativa, e, portanto, o prolongamento do tempo de operação.

No estudo, admite-se válido o modelo de crescimento celular de Monod, onde este, através de experimentos laboratoriais em 1942, propôs uma relação matemática para descrever o efeito do crescimento limitante em função da taxa específica de crescimento. Neste modelo o crescimento da biomassa é dependente da

disponibilidade do nutriente. Quando estamos em condições de limitação do nutriente a massa se reduz até cessar completamente o crescimento, em condições de exaustão do nutriente.

Ao admitir a validade do modelo de Monod, admite-se também que as concentrações de substrato, biomassa e produto só serão representativas se forem associadas a um crescimento não-linear. O estudo é realizado com a hipótese de formação de produto parcialmente associada ao crescimento, ou seja, parte da formação se dá pela velocidade específica de crescimento, parte pela cinética de formação de produtos. O trabalho foi realizado com a finalidade de simular matematicamente a operação de um reator em batelada alimentada seguido de batelada, à fim de se estudar os efeitos da variação da vazão de alimentação; da variação dos parâmetros cinéticos; do volume do reator e, a concentração da biomassa e do substrato inicial e na alimentação do reator.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para a execução do estudo, inicialmente foi realizado os balanços materiais em batelada alimentada para cada componente de reação do reator. Para a biomassa, temos a entrada, ou alimentação do sistema com o inoculo, e a formação, finalizando na Equação 1.

$$\frac{d(C_x V)}{dt} = - \frac{F C_x}{V} + \frac{F C_x}{V} + \mu_{\max} \frac{C_s}{K_s + C_s} - K_d \quad (1)$$

Acúmulo = Entrada + Formação

Onde:

F : Vazão (L/ h);

$C_x$ : Concentração de biomassa (g/ L);

V: Volume do reator (L);

$\mu_{\max}$  : Velocidade específica máxima de crescimento ( $h^{-1}$ );

$K_d$ : Taxa de crescimento ( $h^{-1}$ );

$\frac{d(C_x V)}{dt}$  : Taxa de acúmulo de biomassa (g/h).

Da mesma forma, temos o balanço material para o substrato, onde o acúmulo é justificado pela entrada de substrato no sistema e pelo consumo, representado pela Equação 2.

$$\frac{d(C_s V)}{dt} = - \frac{F C_s}{V} + \frac{F C_s}{V} - \left[ \mu_{\max} \frac{C_s}{(Y_{x/s} K_s + Y_{x/s} C)_s} + m_s \right] C_x \quad (2)$$

Acúmulo = Entrada – Consumo

Onde:

F : Vazão (L/ h);

$C_s$ : Concentração de substrato (g/ L);

$\frac{d(C_s V)}{dt}$  : Taxa de acúmulo de substrato (g/h);

$Y_{x/s}$ : Fator de conversão de substrato à biomassa (g-X/g-S);

$\mu_{\max}$ : velocidade máxima de crescimento ( $h^{-1}$ );

$m_s$ : taxa de manutenção celular ( $h^{-1}$ );

V: Volume do reator (L).

Para o produto, considerando a hipótese outrora citada, temos uma produção parcialmente associada, portanto deve-se levar em conta os parâmetros cinéticos de formação do produto, finalizando na Equação 3.

$$\frac{d(C_{pV})}{dt} = \frac{-C_p F}{V} + \left[ \alpha \left( \mu_{\max} \frac{C_s}{K_s + C_s} \right) + \beta \right] C_x \quad (3)$$

Acúmulo = Formação

Onde:

$\alpha$  e  $\beta$ : constantes cinéticas (adimensional e g-P/g-X.h ou h<sup>-1</sup>, respectivamente)

$C_x$ : Concentração de biomassa (g/L);

$\frac{d(C_{pV})}{dt}$

: Taxa de formação de produto (g/h).

Para os balanços materiais da operação de batelada simples, temos a anulação das vazões de alimentação.

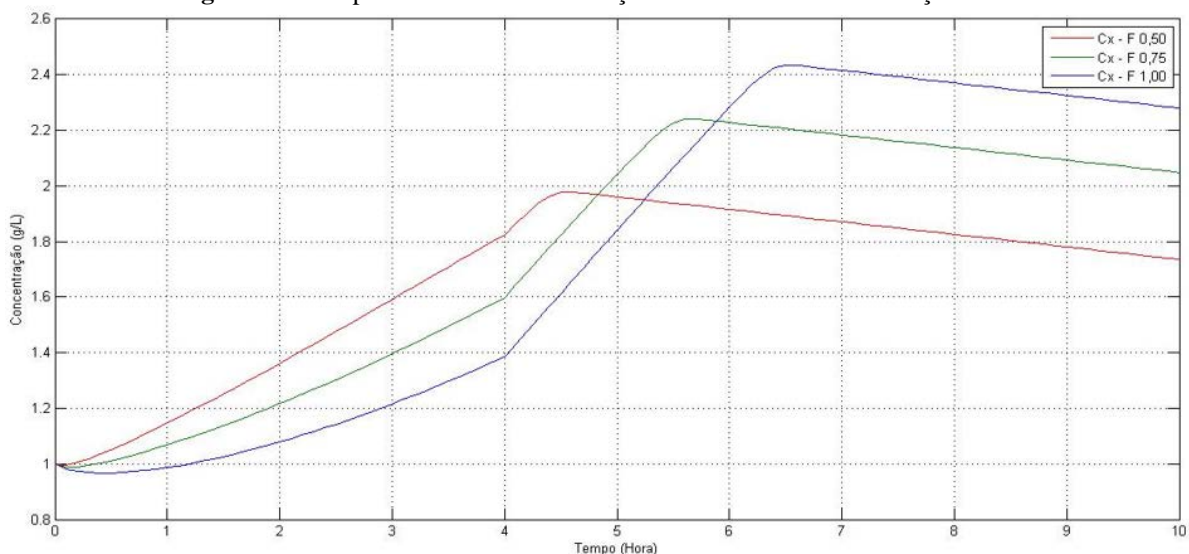
As rotinas numéricas de resolução para o sistema tiveram como variáveis de entrada os dados cinéticos citados segundo RODRIGUES, RATUSZNEI e DAMASCENO (2006), sendo:  $\mu_{\max} = 0,5 \text{ h}^{-1}$ ;  $K_s = 0,1 \text{ g/L}$ ;  $Y_{X/S} = 0,5$ ;  $V_0 = 2 \text{ L}$ ;  $VF = 5 \text{ L}$ ;  $C_{X0} = 1,0 \text{ g/L}$ ;  $C_{S0} = 0 \text{ g/L}$ ;  $C_{P0} = 0 \text{ g/L}$ ;  $C_{Xf} = 0 \text{ g/L}$ ;  $C_{Sf} = 10 \text{ g/L}$ ;  $C_{Pf} = 0 \text{ g/L}$ ;  $F = 0,75 \text{ L/h}$ ;  $\alpha = 1,6$ ;  $\beta = 0,2 \text{ h}^{-1}$ ;  $ms = 0,03 \text{ h}^{-1}$ ;  $Kd = 0,03 \text{ h}^{-1}$ ;  $Yg = 0,5$ .

Para o sistema operando em batelada alimentada, as variáveis consideradas foram as iniciais designadas pelo subíndice 0, sendo que, após quatro horas de operação, a vazão cessa e o sistema passa a operar com as variáveis finais designadas pelo subíndice f. O sistema modelado é classificado como equações não lineares, originando pvi's (problemas de valor inicial) só podendo ser resolvido por método numéricos de equações diferenciais ordinárias. Neste trabalho, o método adotado foi o Método de Runge-Kutta de 4ª ordem. As rotinas numéricas foram executadas utilizando-se o Matlab 2010 bem como a execução dos gráficos. As entradas de dados do sistema operando em batelada simples levaram em consideração os parâmetros finais do sistema operando em batelada alimentada, nas quais os mesmos parâmetros foram apresentados em um único gráfico.

## RESULTADOS

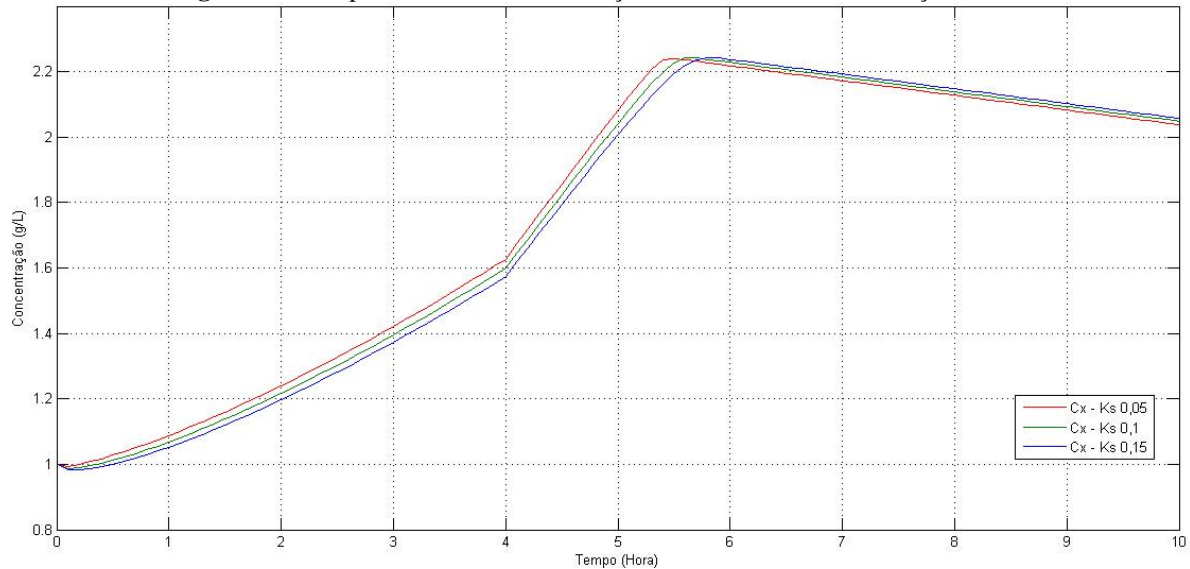
A Figura 2 ilustra o comportamento das concentrações de biomassa com a variação da vazão de alimentação (F). É possível perceber que, antes da 4 horas (regime batelada alimentada), a concentração se comporta inversamente proporcional a vazão, no entanto, após as 5 horas (regime batelada) acontece o inverso.

**Figura 2** – Comportamento da concentração de biomassa com a variação de F.



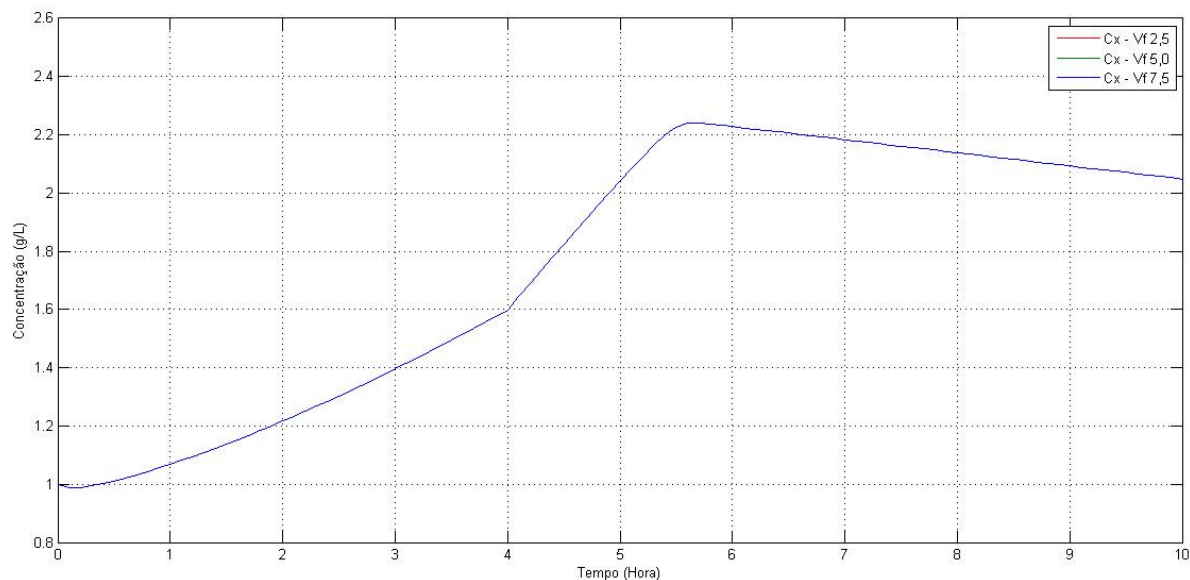
A Figura 3 ilustra o comportamento das concentrações de biomassa com a variação da constante cinética que caracteriza o consumo de substrato ( $K_s$ ). Foi possível perceber que, com a variação dos valores de  $K_s$  aqui apresentados, não houve diferença tão significativa no comportamento das concentrações de ambos, no entanto.

**Figura 3** – Comportamento da concentração de biomassa com a variação de  $K_s$ .



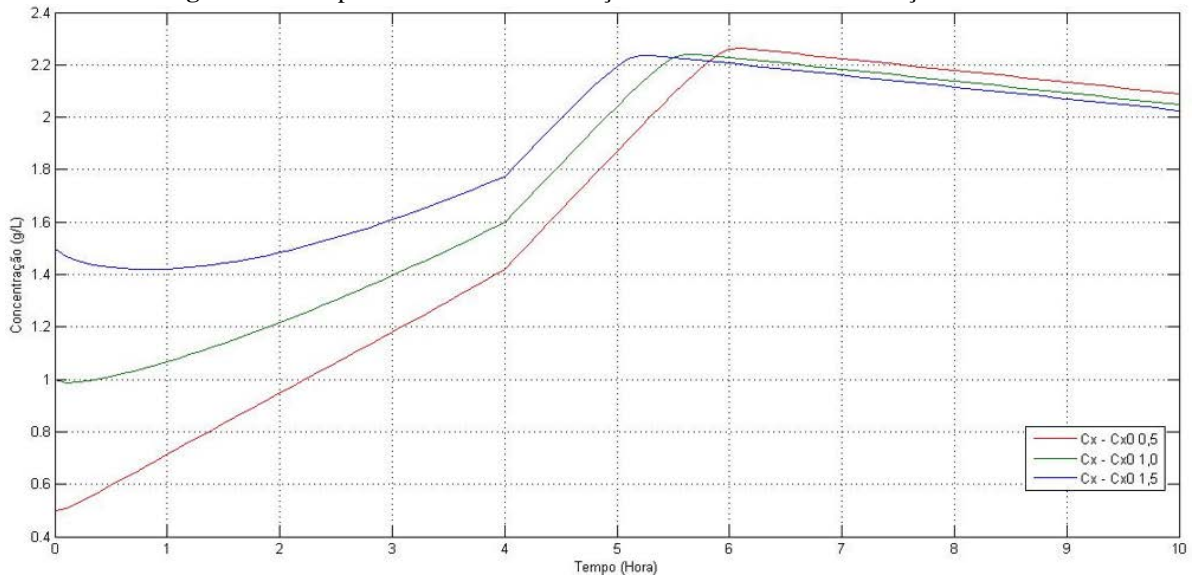
A Figura 5 ilustra o comportamento da concentração de biomassa com a variação do volume final ( $V_f$ ) do biorreator. É observado que não há nenhuma variação da concentração de biomassa.

**Figura 5** – Comportamento da concentração de biomassa com a variação de  $V_f$ .



Na Figura 6 é ilustrado o comportamento da concentração de biomassa com a variação da concentração inicial de biomassa ( $C_{x0}$ ) no biorreator. A variação de  $C_{x0}$  tem influência direta nas concentrações dos três elementos do biorreator. Para a biomassa, há uma relação direta entre  $C_{x0}$  e suas respectivas concentrações.

**Figura 6** – Comportamento da concentração de biomassa com a variação de  $C_{x0}$ .



## CONCLUSÕES

A partir dos resultados aqui apresentados é possível concluir a modelagem de biorreatores se constitui de importante ferramenta para a simulação de cenários, antecipando a execução de projetos de engenharia relacionados à sua aplicação. Reduzindo eventuais custos com modelos físicos, bem como otimizando tempo e mão-de-obra no processo de planejamento do projeto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. RODRIGUES, J.A.D.; RATUSZNEI, S.M E DAMASCENO, L.H.S.. **Análise de processos biológicos**, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos (SP), 2006.
2. VIEIRA, F.F. **Notas de Aulas de Modelagem Matemática Aplicada a Sistemas Ambientais**. Campina Grande, 2011.