

MAXIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE BIOHIDROGÊNIO PELA *Cyanothece sp.* ATCC 51142 EM PROCESSO COMBINADO DE BATELADA – BATELADA ALIMENTADA

Débora Rosa da Silva (PIC), Murielk Sebrian Valvassore (Coorientador),
Caliane Bastos Borba Costa (Orientador), e-mail: cbbcosta@uem.br

Universidade Estadual de Maringá / Centro de Tecnologia / Maringá, PR.

Área e subárea do conhecimento: Engenharia Química / Processos Industriais de Engenharia Química

Palavras-chave: hidrogênio, processo combinado de batelada/batelada alimentada, *Cyanothece sp.* ATCC 51142.

Resumo:

O hidrogênio tem sido considerado como um dos combustíveis sustentáveis mais promissores. A sua obtenção por meio de microrganismos tem sido analisada em estudos experimentais e de simulação. O objetivo deste trabalho é realizar um estudo de otimização do processo de produção de hidrogênio pela *Cyanothece sp.* ATCC 51142, utilizando um método meta-heurístico de otimização, buscando maximizar o volume final de hidrogênio produzido. Os resultados obtidos mostraram que, a depender do perfil de alimentação escolhido, foi possível melhorar o volume produzido de hidrogênio por volume de cultura em até 22,4% quando comparados com os resultados presentes na literatura.

Introdução

Preocupações em torno da proteção do meio ambiente, sustentabilidade e diminuição das reservas de combustíveis fósseis têm motivado a comunidade científica a encontrar novas fontes de energia renováveis (DEL RIO-CHANONA et al., 2015). Dentre as possibilidades que estão sendo exploradas, o hidrogênio tem se apresentado como um combustível alternativo promissor (SHOW et al., 2018).

Uma das maneiras de se obter o hidrogênio é por via biológica. Em particular, a *Cyanothece sp.* ATCC 51142 é uma cianobactéria que apresentou a maior taxa de produção de hidrogênio quando comparada com demais microrganismos (DEL RIO-CHANONA et al., 2015). Zhang et al. (2015) apresentam um modelo do processo de batelada alimentada para a produção de hidrogênio pela *Cyanothece sp.* ATCC 51142, no qual o volume é considerado variável.

A partir desse modelo proposto pelos autores, o objetivo deste trabalho é realizar um estudo de otimização, utilizando o método meta-heurístico de Otimização por Enxame de Partículas (PSO), a fim de maximizar o volume total de hidrogênio produzido.

Materiais e métodos

O processo, a ser simulado, inicia em modo batelada e permanece desta maneira até que haja uma quantidade considerável de concentração de biomassa. Em um determinado instante de tempo ($t = T$), sendo este uma das variáveis de decisão, o modo batelada alimentada inicia, com uma vazão de alimentação (F) que também será determinada. O processo possui duração total de 720 horas, semelhante a trabalhos da literatura. O modelo proposto por Zhang et al. (2015) é representado pelas Equações 1-9 e os valores para os parâmetros do modelo, as condições operacionais adotadas e a descrição de cada termo podem ser encontradas em seu trabalho.

$$\frac{dX}{dt} = \left(\mu_{max} \cdot \left(1 - \frac{k_q}{q} \right) \cdot \frac{C}{C + K_C} \cdot X \cdot V - \mu_d \cdot X^2 \cdot V - F \cdot X \right) / V \quad \#(1)$$

$$\frac{dN}{dt} = \left(-Y_{N/X} \cdot \mu_{max} \cdot \frac{N}{N + K_N} \cdot \frac{C}{C + K_C} \cdot X \cdot V + F \cdot (N_1 - N) \right) / V \quad \#(2)$$

$$\frac{dq}{dt} = Y_{q/X} \cdot \mu_{max} \cdot \frac{N}{N + K_N} \cdot \frac{C}{C + K_C} - \mu_{max} \cdot \left(1 - \frac{k_q}{q} \right) \cdot \frac{C}{C + K_C} \cdot q \quad \#(3)$$

$$\frac{dC}{dt} = \left(-Y_{C/X} \cdot \mu_{max} \cdot \left(1 - \frac{k_q}{q} \right) \cdot \frac{C}{C + K_C} \cdot X \cdot V + F \cdot (C_1 - C) \right) / V \quad \#(4)$$

$$\frac{dO}{dt} = Y_{O/X} \cdot \mu_{max} \cdot \frac{N}{N + K_N} \cdot \frac{C}{C + K_C} \cdot X - Y_D \cdot \mu_d \cdot X^2 \cdot f(O) + \frac{F}{V} \cdot (O_1 - O) \quad \#(5)$$

$$\frac{dH}{dt} = \left(K_{H_2,1} \cdot \frac{dX}{dt} + K_{H_2,2} \cdot X \right) \cdot f(N) \cdot (1 - f(O)) \quad \#(6)$$

$$\frac{dV}{dt} = F \quad \#(7)$$

$$f(N) = 0,5 \cdot \frac{((N - 100)^2)^{0,5} - (N - 100)}{[(N - 100)^2 + 0,1]^{0,5}} \quad \#(8)$$

$$f(O) = \frac{O}{(O^2 + 0,1)^{0,5}} \quad \#(9)$$

Este trabalho foi desenvolvido em ambiente Python, versão 3.8.5, executado em um computador com Intel® Core™i5-7200 U CPU 2.50 GHz, com 8,00 GB RAM e sistema operacional Windows 64 bits.

O problema foi otimizado utilizando o método PSO. Em todos os casos de estudo, descritos a seguir, foram consideradas 50 partículas durante 400 iterações. Os melhores valores para os parâmetros de inércia, cognitivo e social do PSO e, logo, os valores ótimos em cada caso de estudo foram determinados através de repetidas execuções do programa, com variações nas suas combinações.

Como mencionado anteriormente, as duas variáveis de busca são o tempo de transição, T , e a vazão de alimentação, F . Neste trabalho, são estudadas três estratégias para a vazão de alimentação.

No primeiro caso de estudo, a vazão de alimentação é constante até o final do processo. As variáveis de busca estão relacionadas como mostra a Equação 10. Nessa situação, a capacidade do reator é de 1,0 L, tendo como

volume inicial 0,5 L, sendo semelhante ao trabalho de Zhang et al. (2015). Desta forma, o parâmetro c assume o valor de 0,5 L.

$$F = \frac{c}{720 - T} \#(10)$$

No segundo caso de estudo, a vazão de alimentação varia linearmente com o tempo, conforme a Equação 11. Nesta situação, os parâmetros a e b foram configurados para que, se assumissem valores tais que levassem a uma vazão negativa, a taxa de alimentação passaria a ser 0. Neste caso, o reator possuía capacidade máxima de 3,0 L.

$$F(t) = a \cdot t + b, \quad T \leq t \leq 720 \text{ h} \#(11)$$

No terceiro caso de estudo, a vazão de alimentação também é constante, como no primeiro caso, porém é considerado um novo valor para a capacidade do reator, sendo este de 3,0 L. Desta forma, o parâmetro c passa a ser uma variável de busca, como mostrado na Equação 10.

Os limites inferior e superior das variáveis de busca para cada caso de estudo estão dispostos na Tabela 1.

Tabela 1 – Limites inferior e superior para cada caso de estudo.

	Variável	Limite			Variável	Limite	
		Inferior	Superior			Inferior	Superior
Caso 1	T (h)	0	720	Caso 2	T (h)	0	720
Caso 3	T (h)	0	720		a (L h ⁻²)	-1e-5	1e-4
	c (L)	0,5	2,5		b (L h ⁻¹)	1e-5	8e-4

Resultados e Discussão

Os valores ótimos indicados do PSO para as variáveis de decisão são: para o caso 1, $T = 42,3$ h; para o caso 2, $T = 34,4$ h, $a = 1,36e-6$ L h⁻², $b = 6,42e-4$ L h⁻¹; e, para o caso 3, $T = 40,9$ h, $c = 0,71$ L. Com relação à produção de hidrogênio, tem-se: 1871,4 mL de hidrogênio em 1,0 L de cultura para o primeiro caso; 1902,3 mL de hidrogênio em 1,29 L de cultura para o segundo caso; e, 1888,7 mL de hidrogênio em 1,21 L de cultura no terceiro caso.

Na Figura 1, tem-se a evolução da produção de hidrogênio e da concentração de biomassa. Em todas as estratégias, pode-se verificar um comportamento muito semelhante. Com relação à concentração de biomassa, há um aumento do seu valor inicial até quando o processo passa a ser em modo batelada alimentada. Com o início da alimentação, a concentração da biomassa continua aumentando e atinge o seu máximo em cada caso de estudo para, em seguida, diminuir lentamente até o final do processo. O hidrogênio começa a ser produzido após 20 horas, tem sua taxa de produção reduzida ao iniciar a alimentação, mas volta a assumir uma produção linear cerca de 80 horas depois do início do processo.

Comparando todos os resultados obtidos neste trabalho com o reportado por Zhang et al. (2015), que corresponde a 1529 mL/L, pode-se observar que foi possível obter uma quantidade maior de hidrogênio por volume de cultura em dois dos estudos de caso. Levando em consideração o melhor resultado, de 1871,4 mL/L, é possível notar um aumento significativo de 22,4 % na

produção de hidrogênio quando comparado com a literatura. É válido dizer que o PSO encontra uma solução melhor, mas não assegura que essa solução corresponda ao ótimo global.

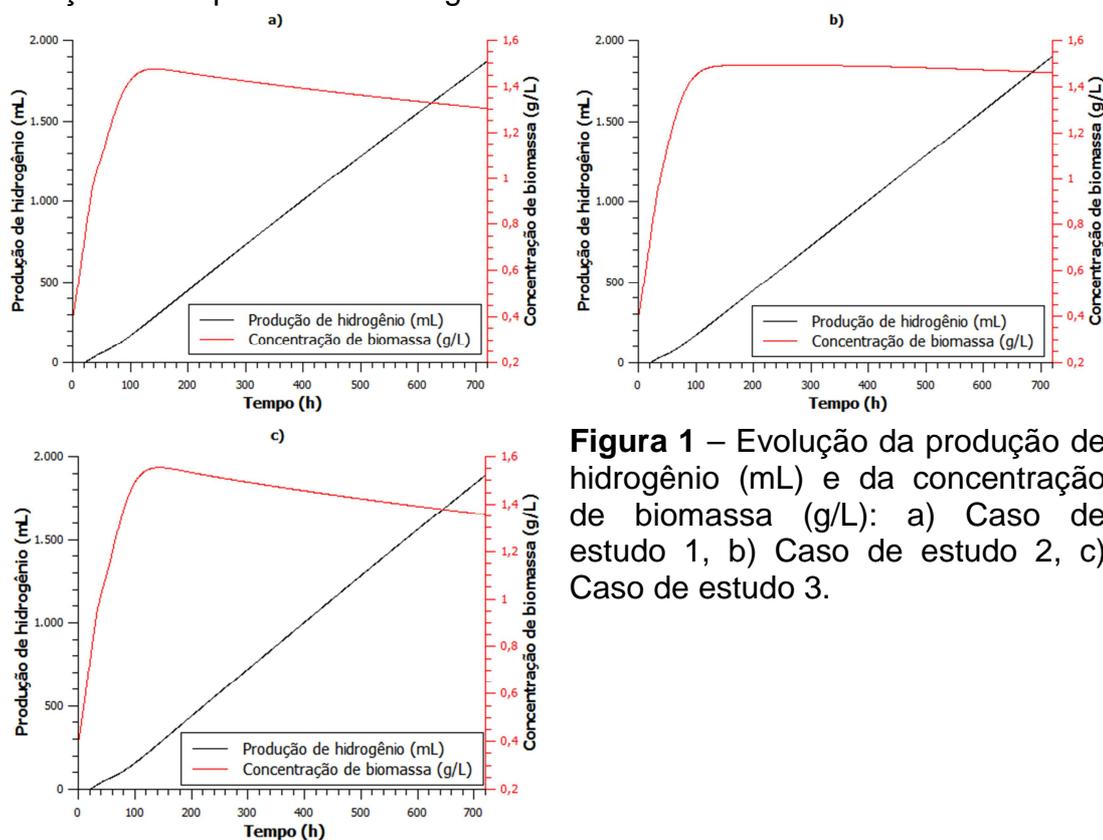


Figura 1 – Evolução da produção de hidrogênio (mL) e da concentração de biomassa (g/L): a) Caso de estudo 1, b) Caso de estudo 2, c) Caso de estudo 3.

Conclusões

Levando em consideração que, das três estratégias estudadas, duas foram eficazes, aumentando significativamente a quantidade final de hidrogênio gerado no processo por volume de cultura em comparação ao valor reportado na literatura e o método PSO mostrou-se efetivo nos casos analisados, pode-se concluir que os objetivos do trabalho foram atingidos.

Referências

- DEL RIO-CHANONA, E. A. et al. Optimal Operation Strategy for Biohydrogen Production. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, v. 54, n. 24, p. 6334–6343, 2015.
- SHOW, K. Y. et al. Hydrogen production from algal biomass – Advances, challenges and prospects. **Bioresource Technology**, v. 257, p. 290-300, 2018.
- ZHANG, D. et al. Analysis of the cyanobacterial hydrogen photoproduction process via model identification and process simulation. **Chemical Engineering Science**, v. 128, p. 130–146, 5 maio 2015.