



## X Congresso Brasileiro de Engenharia Química Iniciação Científica

*“Influência da pesquisa em Engenharia Química no desenvolvimento tecnológico e industrial brasileiro”*

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Universidade Severino Sombra  
Vassouras – RJ – Brasil

### INVESTIGAÇÃO DO EFEITO DA TEMPERATURA NA PRODUÇÃO BIOLÓGICA DE HIDROGÊNIO POR FERMENTAÇÃO ESCURA

**T.F. SOARES<sup>1</sup>, J.G. SILVEIRA<sup>2</sup>, J.G. SANTOS<sup>2</sup>, B.B. ROMAO<sup>3</sup>, F.R.X. BATISTA<sup>4</sup>; V.L. CARDOSO<sup>4</sup> e J.S. FERREIRA<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Bolsista de Iniciação Científica – PIBIC/FAPEMIG <sup>2</sup>Aluno de Iniciação Científica – FEQ/UFU

<sup>3</sup>Bolsista de Doutorado CAPES/PPGEQ/FEQ/UFU <sup>4</sup>Docente – FEQ/UFU

Faculdade de Engenharia Química – Universidade Federal de Uberlândia - UFU

Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1K, Campus Santa Mônica – Uberlândia, MG – CEP 38408-144

email: juliana@feq.ufu.br

**RESUMO** - Devido aos impactos negativos sobre o meio ambiente, há a necessidade se encontrar fontes de energia alternativas aos combustíveis de origem fóssil. Neste contexto, o hidrogênio apresenta características atrativas, pois possui o mais alto teor de energia por unidade em peso (143GJ/ton), é livre de carbono e as rotas biológicas para sua produção permitem a utilização de fontes renováveis de energia. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da temperatura sobre fermentação escura para produção de hidrogênio. O processo fermentativo foi conduzido em batelada em condições anaeróbias, utilizando um consórcio microbiano e na ausência de luz. O volume reacional consistiu de 1,6% v/v de inóculo e 98,4% v/v de meio sintético, cuja composição foi de: 3 g/L de KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 7g/L de K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, 1 g/L de MgSO<sub>4</sub>, 3g/L de extrato de levedura, 1 g/L de extrato de carne e soro de queijo permeado contendo 20g/L de lactose. As seguintes temperaturas 30°C, 35°C e 40°C foram usadas nos ensaios para produção de hidrogênio. As variáveis respostas foram volume de biogás produzido e a produtividade de hidrogênio e os resultados dos ensaios realizados em temperaturas diferentes foram comparados com o intuito de avaliar qual a temperatura que conduz a maior produção de hidrogênio.

**Palavras chave:** biocombustível, soro de queijo permeado, consórcio microbiano.

### INTRODUÇÃO

Devido à grande procura de fontes alternativas e renováveis de energia nos dias atuais, destaca-se a produção de hidrogênio. O hidrogênio é visto como uma das principais alternativas de energia para o futuro, pois não é poluente (sua combustão completa libera

apenas água), sua fonte é inesgotável e possui o mais alto poder calorífico por unidade de peso comparado a qualquer outro combustível conhecido (Das *et al*, 2008). Pode-se produzir hidrogênio de várias formas, dentre elas estão as rotas térmicas, de eletrólise da água e rotas biológicas (fotofermentação, biofotólise e fermentação escura). A fermentação escura,

também chamada de fermentação anaeróbia, vem ganhando destaque, pois pode-se empregar fontes renováveis de energia combinando o reaproveitamento de resíduos industriais, o que diminui a quantidade de subprodutos gerados (Mathews e Wang, 2009; Levin *et al.*, 2004). Além disso, não requer exposição à luz e a taxa de produção de hidrogênio é superior as demais rotas biológicas. Os parâmetros que influenciam são diversos, envolvendo pH, temperatura e substratos (Gioannis *et al.*, 2013). Assim, é avaliado o melhor ajuste para cada parâmetro analisado para que ocorra maior produção de hidrogênio.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da temperatura na condição mesofílica sobre fermentação escura para produção de hidrogênio em batelada, usando permeado de soro de leite como substrato usando cultura mista.

Dentre os resíduos agroindustriais, o soro de queijo representa uma importante fonte para a produção de hidrogênio por fermentação escura por apresentar alto teor de matéria orgânica (lactose, proteínas solúveis, lipídios e sais minerais) (Siso, 1996).

Dentre as faixas de temperatura, geralmente usa-se mais a condição mesofílica (25°C a 40°C) na produção de H<sub>2</sub> por fermentação escura, sendo que a condição termofílica (50°C a 60°C) apresenta mais vantagens, dentre elas a diminuição de bactérias metanogênicas e favorecimento da cinética da reação (Gadow *et al.*, 2013).

## MATERIAIS E MÉTODOS

O consórcio microbiano proveniente de um reator anaeróbico de fluxo ascendente e cedido pela Cooperativa Agropecuária Ltda de Uberlândia (CALU) foi previamente adaptado em um meio sintético composto de (g/L): 3 KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 7 K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, 1 MgSO<sub>4</sub>, 3 extrato de levedura, 0,5 extrato de carne, e 1 (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e 20 de lactose proveniente do permeado do soro de leite que foi adquirido da empresa Sooro Concentrado Indústria de Produtos Lácteos Ltda. O mesmo meio foi utilizado nos ensaios de fermentação escura para produção de H<sub>2</sub>. O processo fermentativo foi conduzido em reatores batelada de 100 mL, sendo o volume

reacional 75 mL e *headspace* de 25 mL. A fermentação foi realizada, em condição de anaerobiose e na ausência de luz por um período de dois dias. Os frascos foram inoculados com 1,6 % v/v de micro-organismo e 98,4 % v/v de meio sintético.

Variou-se o valor da temperatura no meio fermentativo com intuito de avaliar a influência deste no processo. As temperaturas estudadas foram de 30°C, 35°C e 40°C, de acordo com a literatura analisamos a faixa de temperaturas mesofílicas (Gadow *et al.*, 2013). Avaliamos a produtividade de acordo com a Equação 1.

$$\text{Produtividade} = \frac{\text{mol H}_2}{\text{volume reacional} \cdot \text{tempo de fermentação}} \quad (1)$$

O gás produzido foi coletado em seringas graduadas, conforme ilustrado na Figura 1 e sua composição determinada através de cromatografia gasosa.



**Figura 1 - Produção de H<sub>2</sub> por fermentação escura em batelada**

A análise cromatográfica foi realizada nas seguintes condições: cromatógrafo a gás marca Shimadzu modelo GC 17A, coluna utilizada foi capilar Carboxen 1010 (comprimento de 30m, diâmetro interno 0,53mm), a temperatura do injetor foi de 230°C, temperatura da coluna 30°C e temperatura do detector 230°C.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

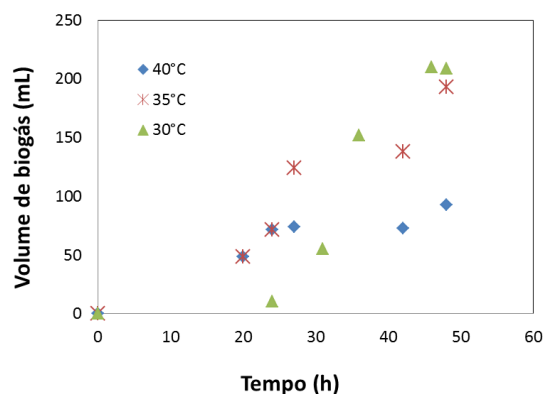
Os resultados obtidos durante o processo estudado estão mostrados na Tabela 1.

Dentre as três temperaturas estudadas (30°C, 35°C e 40°C), a maior produtividade e o maior volume de biogás encontrados foram na temperatura de 30°C.

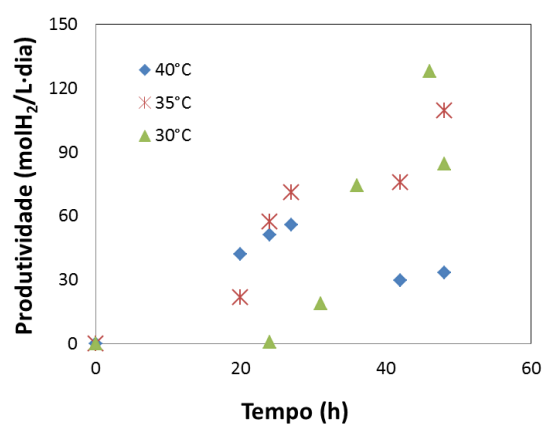
**Tabela 1 – Volume de biogás e produtividade para 30°C, 35°C e 40°C**

| 30°C      |                       |  |
|-----------|-----------------------|--|
| Tempo (h) | Volume de biogás (mL) | Produtividade (molH <sub>2</sub> /L.dia) |
| 0         | 0                     | 0  |
| 24        | 10,5                  | 0,67                                     |
| 31        | 55,5                  | 18,68                                    |
| 36        | 152,0                 | 74,46                                    |
| 46        | 210,0                 | 128,11                                   |
| 48        | 208,5                 | 84,35                                    |
| 35°C      |                       |  |
| Tempo (h) | Volume de biogás (mL) | Produtividade (molH <sub>2</sub> /L.dia) |
| 0         | 0                     | 0  |
| 20        | 48,5                  | 21,61                                    |
| 24        | 71,5                  | 57,17                                    |
| 27        | 124,0                 | 71,20                                    |
| 42        | 138,0                 | 75,92                                    |
| 48        | 193,0                 | 109,44                                   |
| 40°C      |                       |  |
| tempo (h) | Volume de biogás (mL) | produtividade (molH <sub>2</sub> /L.dia) |
| 0         | 0                     | 0,00                                     |
| 20        | 49                    | 42,01                                    |
| 24        | 72                    | 51,21                                    |
| 27        | 74                    | 55,79                                    |
| 42        | 73                    | 29,79                                    |
| 48        | 93                    | 33,47                                    |

As Figuras 2 e 3 apresentam os perfis de variação do volume de biogás e da produtividade de H<sub>2</sub>, respectivamente, durante o processo de produção de hidrogênio por fermentação escura.



**Figura 2 – Volume de biogás formado durante o processo de síntese de hidrogênio por fermentação escura**



**Figura 3 – Produtividade do processo de síntese de hidrogênio por fermentação escura**

A análise da Figura 2 mostra que o maior volume de biogás produzido foi obtido a 30°C, com um volume de 210 mL em um tempo de fermentação de 46 horas. Analisando a Figura 3 tem-se que a maior produtividade também foi obtida a 30°C (128,11 molH<sub>2</sub>/L.dia), no mesmo tempo de fermentação.

É interessante notar que os piores resultados tanto para volume de biogás produzido (10,5 mL) quanto para produtividade (0,67 molH<sub>2</sub>/L.dia) também foram obtidos a 30°C, porém com um tempo de fermentação menor (24 h).

A temperatura ótima encontrada neste trabalho, caracterizada como uma temperatura mesofílica (25-40°C) possibilita ao processo a vantagem de não haver necessidade de

aquecimento do biorreator, minimizando o consumo energético no processo.

Para cada processo existe uma temperatura ótima, que depende de vários fatores como o tipo de microrganismos utilizados, condições operacionais do sistema e suplementos adicionados ao meio (Sá, 2011). Gadow *et al* (2013), estudaram o efeito da temperatura na produção biológica de hidrogênio. Durante 160 dias e sob uma temperatura mesofílica (37°C), o biogás produzido constituiu-se de 18,5%, 28,2% e 53,3% de hidrogênio, metano e dióxido de carbono, respectivamente. Para uma temperatura termofílica (55°C), a constituição do biogás produzido foi 55% de hidrogênio e 45% de dióxido de carbono, não havendo então a formação de metano. Os resultados mostram que temperaturas termofílicas ou mais altas inibem a atividade de bactérias metanogênicas, o que representa uma vantagem ao processo já que essas bactérias são consumidoras de H<sub>2</sub>.

Resultado semelhante foi obtido por Kargi *et al.* (2012). No estudo destes autores, a formação de H<sub>2</sub> acumulado (171 mL) e a conversão em H<sub>2</sub> (111 mL H<sub>2</sub>/g de açúcar total) foram maiores em condições termofílicas (55°C) do que em temperaturas mesofílicas (35°C).

Além da inibição de bactérias consumidoras de H<sub>2</sub>, temperaturas termofílicas, além de inibir a atividade de organismos consumidores de H<sub>2</sub>, otimizam a atividade enzimática durante o processo fermentativo. (Gioannis *et al*, 2013).

Apesar da temperatura encontrada neste trabalho ter sido uma temperatura mesofílica, na análise do biogás produzido não foi observada a presença de metano. Isso mostra que a cultura mista de microrganismos utilizada não há bactérias metanogênicas (formadoras de metano), o que representa uma grande vantagem ao processo.

Cástello *et al*, (2009) e Venetsaneas *et al.*, (2009), que também avaliaram a produção de H<sub>2</sub> por fermentação escura empregando soro de queijo como substrato e consórcio microbiano, tiveram bons resultados em temperaturas mesofílicas (30°C e 35°C, respectivamente).

## CONCLUSÃO

Através deste trabalho pode-se confirmar a possibilidade de síntese de hidrogênio através da fermentação escura de uma cultura mista de bactérias.

Verificou-se que dentre as temperaturas estudadas (30°C, 35°C e 40°C), o maior volume de biogás produzido foi 210 mL e a maior produtividade foi 128,11 molH<sub>2</sub>/L.dia, ambos obtidos a 30°C, caracterizada como uma temperatura mesofílica, minimizando então o consumo energético no processo.

A cultura mista de microrganismos utilizada não possui bactérias metanogênicas (consumidoras de H<sub>2</sub>), já que não houve formação de metano durante a fermentação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CÁSTELLO, E., GÁRCIA y SANTOS, C., IGLESIAS, T., PAOLINO, G., WENZEL, J., BORZACCONI, L., ETCHEBEHERE, C. (2009), Feasibility of biohydrogen production from cheese whey using a UASB reactor: links between microbial community and reactor performance. *International Journal of Hydrogen Energy*, 34, 5674-5682.
- DAS, D., VEZIROGLU, T. N. (2008), Advances in biological hydrogen production processes. *International Journal of Hydrogen Energy*, 33, 6046-6057.
- FIKRET KARGI, NUR SEZA EREN, SERPIL OZMIHCI. (2012), Biohydrogen production from cheese whey powder (CWP) solution: Comparison of thermophilic and mesophilic dark fermentations. *International Journal of Hydrogen Energy*, 37, 8338-8342.
- GADOW, S. I., JIANG, H., WATANABE, R., LI, Y. (2013) "Effect of temperature and temperature shock on the stability of continuous cellulosic-hydrogen fermentation", 142, 304-311.
- GIOANNIS, G. De, MUNTONI, A., POLETTINI, POMI, R. (2013) "A review

of dark fermentative hydrogen production from biodegradable municipal waste fractions”, 33, 1345-1361.

LEVIN, D. B.; PITT, L.; LOVE, M., 2004. Biohy-drogen production: prospects and limitations to practical application. International Journal of Hydrogen Energy, 29, 173-185.

MATHEWS, J.; WANG, G., 2009. Metabolic path-way engineering for enhanced biohydrogen production. International Journal of Hydrogen Energy, 34, 7404-7416.

SÁ, L. R. V. (2011) Produção biológica de hidrogênio por bactérias fermentativas utilizando diferentes carboidratos ou glicerina como substrato. Escola de Química/UFRJ, Rio de Janeiro – RJ (Dissertação de Mestrado)

SISO, M.I.G. (1996),”The Biotechnological Utilization of Cheese Whey: A Review”, Bioresource Technology, v. 57, 1-11.

VENETSANEAS, N., ANTONOPOULOU, G., STAMATELATOU, K., KORNAROS, M., LYBERATOS, G. (2009), “Using cheese whey for hydrogen and methane generation in a two-stage continuous process with alternative pH controlling approaches”, Bioresource Technology, 100, 3713-3717.

### **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem ao apoio financeiro da FAPEMIG, da Vale S.A., do CNPq, da CAPES e agradecem também a Universidade Federal de Uberlândia e a Faculdade de Engenharia Química.