



EDIÇÃO 2023 – RESUMO EXPANDIDO

PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO VIA FERMENTAÇÃO ANAERÓBIA

HYDROGEN PRODUCTION VIA ANAEROBIC FERMENTATION

Karen Cristina Rocha de Oliveira Silva^I
Rose Maria Duda^{II}

RESUMO

Com o aumento do consumo de energia, aliado ao esgotamento das fontes fósseis e seus problemas ambientais, a procura por fontes de energia renováveis tem aumentado rapidamente, levando ao desenvolvimento e exploração de novas tecnologias. Desenvolver e estudar fontes alternativas de energia, menos poluentes que as atuais, tem sido o grande desafio. Então surge uma alternativa bastante atraente, a produção de hidrogênio. Porém, a matéria prima utilizada deve ser considerada ao se analisar os ganhos ambientais efetivos. Dentre os sistemas biológicos para produção de hidrogênio, a fermentação anaeróbia tem se destacado, em virtude principalmente à maior produção de hidrogênio, quando comparada aos outros processos biológicos e a possibilidade de utilização de diferentes materiais residuais como substrato. Esse trabalho tem como objetivo revisar a produção de hidrogênio utilizando a digestão anaeróbia.

Palavras-chave: Hidrogênio. Fermentação anaeróbia. Subprodutos. Biocombustíveis. Resíduo.

ABSTRACT

With the increase in energy consumption, combined with the depletion of fossil sources and their environmental problems, the demand for renewable energy sources has increased rapidly, leading to the development and exploitation of new technologies. Developing and studying alternative sources of energy, less polluting than the current ones, has been the great challenge. Then comes a very attractive alternative, the production of hydrogen. However, the raw material used must be considered when analysing the effective environmental gains. Among the biological systems for hydrogen production, anaerobic fermentation has stood out, mainly due to the greater production of hydrogen, when compared to other biological processes and the possibility of using different waste materials as substrate. This work aims to review the production of hydrogen using anaerobic digestion.

Keywords: Hydrogen. Anaerobic fermentation. Byproduct . Biofuel. Waste.

^I Mestranda do Programa de Microbiologia Agropecuária da Unesp de Jaboticabal – São Paulo – Brasil. kcr.oliveira@unesp.br

^{II} Professora Dra. da Faculdade de Tecnologia Nilo de Stéfani de Jaboticabal (FATEC-JB) – São Paulo – Brasil. rose.duda@unesp.br



EDIÇÃO 2023 – RESUMO EXPANDIDO

Área: Biocombustíveis e Química

Data de submissão: 29/08/2023.

Data de aprovação: 15 / 09 /2023.

1 INTRODUÇÃO

As necessidades energéticas mundiais aumentam anualmente. A utilização de combustíveis de origem fóssil tende a diminuir, visto que se trata de uma fonte não renovável, com risco de escassez e grande emissora de gases responsáveis pelo efeito estufa e das mudanças climáticas. O uso de biomassa como fonte de energia renovável está diretamente relacionado com o ciclo do carbono, pois reduz a emissão de gases do efeito estufa por meio do sequestro de carbono pelas culturas e da substituição dos combustíveis fósseis pelos biocombustíveis (FUESS; GARCIA, 2014).

A utilização do hidrogênio é considerada uma alternativa aos atuais combustíveis fósseis. O bio-hidrogênio pode ser gerado por meio de processos fotossintéticos ou fermentativos, sendo este último mais vantajoso por ser um método simples de obtenção desse gás, podendo utilizar várias substâncias orgânicas como substratos e por ter um menor gasto calórico e custo para a implantação. A produção de hidrogênio por meio de processos fermentativos se configura em alternativa energética ainda mais vantajosa quando o substrato utilizado provém de fontes renováveis e baratas, como águas residuárias com quantidades consideráveis de fração orgânica biodegradável (WANG; WAN, 2008).

2 PRODUÇÃO BIOLÓGICA DE HIDROGÊNIO

O consumo global de energia se sustenta essencialmente em dois tipos de fontes de energia: os combustíveis fósseis e as energias renováveis. Mesmo com a crescente conscientização ambiental, a maior parte do consumo energético recai sobre os combustíveis fósseis.

A revisão estatística da energia mundial revela que a pandemia do COVID-19 teve um impacto dramático nos mercados de energia, com a energia primária e as emissões de carbono diminuindo com as taxas mais rápidas desde a Segunda Guerra Mundial. Em 2020, o consumo de petróleo decresceu pela primeira vez desde 2009, em 9,1 milhões barril dia⁻¹. A produção mundial de petróleo também decresceu pela primeira vez desde 2009, em 6,6 milhões barril dia⁻¹. Porém, o petróleo continua a deter a maior fatia do mix energético (31,2%), seguido pelo carvão, com 27,2% do consumo total de energia primária (BP Statistical Review of World Energy, 2021).

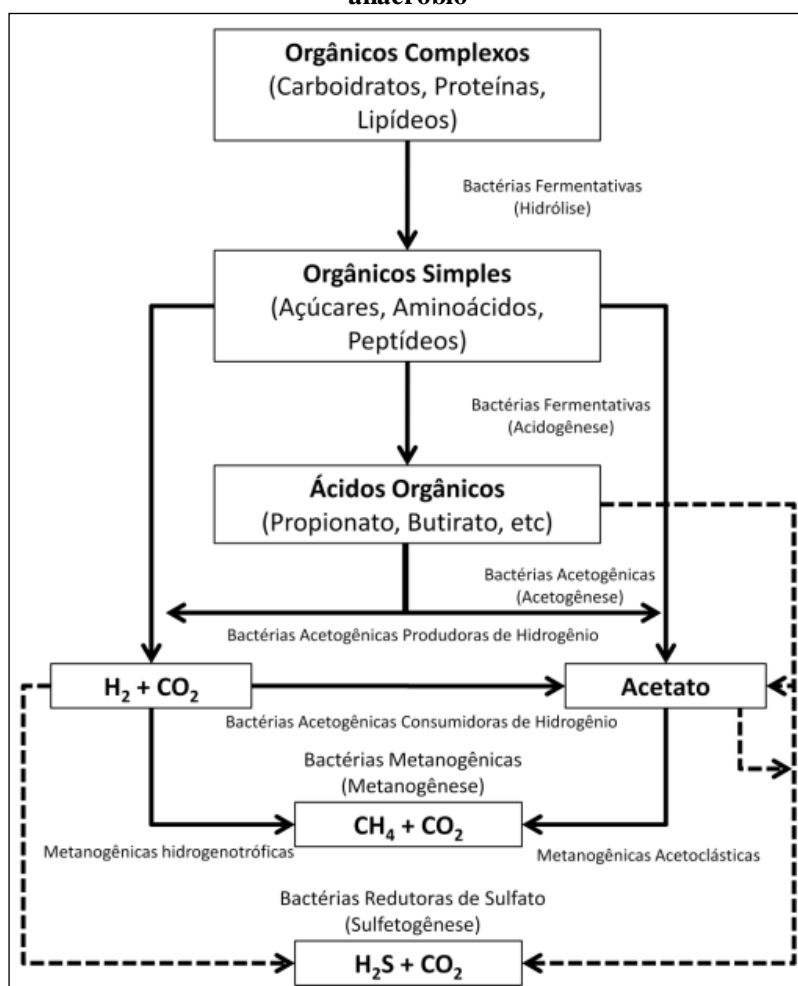
O hidrogênio é o elemento mais abundante no universo, embora não seja encontrado naturalmente na Terra, deve ser extraído de outras fontes. Encontra-se, frequentemente, na forma gasosa compondo o gás H₂, o qual é incolor e inodoro, densidade (0 °C e 0,1013 MPa): 0,0899 kg N⁻¹ m⁻³, ponto de ebulição: -252,8 °C (na pressão de 0,1013 MPa), inflamável entre as concentrações 4% a 75% de H₂ por volume, e 1 g de hidrogênio ocupa o espaço de aproximadamente 11 L sob pressão atmosférica (DA SILVA, 2016).

A produção de hidrogênio por meio de processos biológicos, como a fermentação anaeróbia, oferece várias vantagens, incluindo baixo custo, menor consumo de energia e a capacidade de utilizar resíduos orgânicos como substrato. A fermentação anaeróbia é um

EDIÇÃO 2023 – RESUMO EXPANDIDO

processo biológico natural que envolve uma comunidade de microrganismos que convertem matéria orgânica em uma mistura de gases, incluindo hidrogênio. Ela possui quatro fases: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese, mas pode ser dividida em duas principais etapas: a fermentativa, conhecida como acidogênica, em que ocorre a produção de hidrogênio e outros compostos, e a metanogênica, em que o hidrogênio será consumido para a produção de metano (Figura 1). Sendo assim, a produção de hidrogênio só é possível se a biodigestão anaeróbia for interrompida, pois o hidrogênio caracteriza-se como um intermediário do processo (PENTEADO, 2012).

Figura 1 – Etapas da degradação de compostos orgânicos complexos em um reator anaeróbio



Fonte: Adaptado de CHERNICHARO (1997)

3 FATORES QUE INFLUENCIAM A PRODUÇÃO BIOLÓGICA DO HIDROGÊNIO

A produção de hidrogênio em reatores anaeróbios é muito complexa, sendo dependente de muitos fatores, tais como, o inóculo, temperatura, pH, tipo de reator, tipo de substrato, entre outros.



EDIÇÃO 2023 – RESUMO EXPANDIDO

3.1 Temperatura

A temperatura é um dos fatores de grande importância na produção de hidrogênio, visto que se trata de um processo biológico. Ela está diretamente ligada às taxas de crescimento e atividades metabólicas dos microrganismos.

De acordo com Guo *et al.* (2010), a temperatura ótima para cada processo vai depender do tipo e origem do inóculo, da quantidade de compostos realmente biodegradáveis e das condições operacionais do sistema.

3.2 pH

Assim como a temperatura, o pH tem um importante papel na eficiência da produção de hidrogênio por processos fermentativos, porém, além desta função, o controle do pH é indispensável para a inibição da ação das bactérias metanogênicas que são responsáveis pelo consumo de parte do hidrogênio produzido no processo. Quando há a necessidade de inibir as atividades metanogênicas, são comuns estudos que controlam suas operações em condições de pH abaixo de 6, uma vez que, este também interfere nos teores de produção de hidrogênio e ácidos orgânicos (SÁ, 2011).

3.3 Inóculo

As bactérias produtoras de hidrogênio estão presentes em reatores anaeróbios, sendo assim, a partida de reatores produtores de hidrogênio pode ser dada através de inóculo presente nesses reatores. Porém, antes que esse lodo seja inoculado no reator, muitas vezes é necessário que estes sejam submetidos a um pré-tratamento visando a remoção das bactérias metanogênicas desse meio. Esse pré-tratamento pode ser realizado por meio de um choque de altas temperaturas, pela variação do pH, pela aeração do meio, ou pela combinação destes (REN *et al.*, 2008 apud Inoue, 2011).

3.4 Substrato

Para que se processe uma produção sustentável de hidrogênio, por meio de fermentação, o substrato empregado deve obedecer a alguns critérios. Este substrato deve conter principalmente carboidratos, ser produzido a partir de recursos renováveis, estar em concentração suficiente para que a fermentação e a recuperação da energia sejam energeticamente favoráveis e que, se algum tratamento prévio for necessário, este seja de baixo custo. Os carboidratos (como sacarose e glicose) são os substratos preferidos para a produção de hidrogênio por fermentação (LAMAISON, 2009).

3.5 Reatores

A maioria dos estudos relacionados à produção de H₂ por via fermentativa anaeróbia tem sido conduzida em batelada. Os reatores em batelada possuem a vantagem de serem simples, flexíveis e facilmente operados. No entanto, operações em grande escala requerem



EDIÇÃO 2023 – RESUMO EXPANDIDO

processos de produção contínuos por razões práticas de armazenamento de resíduos e por considerações econômicas (GUO *et al.*, 2010; WANG; WAN, 2008).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A produção de hidrogênio por meio da fermentação anaeróbia de águas residuárias agroindustriais representa uma abordagem promissora para a geração de energia limpa e sustentável. Essa técnica tem o potencial de contribuir significativamente para a transição energética global, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis e minimizando os impactos ambientais. A pesquisa contínua e o desenvolvimento de tecnologias eficientes são essenciais para maximizar o potencial do hidrogênio como fonte de energia alternativa.

REFERÊNCIAS

BP STATISTICAL REVIEW OF WORLD ENERGY. 2021. Disponível em <https://www.bp.com/>. Acesso em: 10 jun. 2022.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores Anaeróbios – Princípio do Tratamento Biológico de Águas Residuárias** – v. 5, 2. ed. Belo Horizonte, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 1997.

DA SILVA, I. A., "Hidrogênio: Combustível do Futuro". **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, v. 20, n.2, pp.122-126 ISSN: 1415-6938. 2006. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=26046651010>. Acesso em: 04 jul. 2022.

FUESS, L.T., GARCIA, M.L. Implications of stillage land disposal: A critical review on the im-pacts of fertigation. **Journal of Environmental Management**, v. 145, p. 210-229, 2014.

INOUE, R. K. ; RODRIGUES, J. A. D; MENDIONDO, E. M. Produção de bio-hidrogênio por processos fermentativos no tratamento de águas residuárias - **XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 2011

LAMAISON, F. C., **Aplicação da água residuária do processamento da mandioca como substrato para a produção de hidrogênio por processo fermentativo**. Dissertação de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

PENTEADO, E.D. **Influência da origem e pré-tratamento do inóculo na produção de hidrogênio a partir de águas residuárias em biorreatores anaeróbicos**. 2012. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Carlos, São Carlos, 2012.

REN, N. Q.; GUO, W.Q.; WANG, X.J.; XIANG, W.S.; LIU, B.F.; WANG, X.Z.; DING, J.; CHEN, Z.B. (008). Effects of different pretreatment methods on fermentation types and



EDIÇÃO 2023 – RESUMO EXPANDIDO

dominant bacteria for hydrogen production. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 33, n. 16, p. 4318-4324, Aug. 2008.

SÁ, L. R. V. **Produção biológica de hidrogênio por bactérias fermentativas utilizando diferentes carboidratos ou glicerina como substrato.** Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro 405 f. Rio de Janeiro, 2011.

WANG, J.; WAN, W. (2008). Effect of temperature on fermentative hydrogen production by mixed cultures. **International Journal of Hydrogen Energy**, v 33, n 6, p 5392-5397, Sep. 2008.