

## REVISTA PETRÓLEO & ENERGIA

### ARTIGO TÉCNICO

#### **Geração de Bioenergia ( $H_2$ e $CH_4$ ) com resíduos industriais (glicerol e vinhaça) integrando o processo produtivo agroindustrial (biodiesel e álcool) com a valorização de resíduos e adequação ambiental**

Giovanna Lovato; Suzana Maria Ratusznei; José Alberto Domingues Rodrigues

Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, Praça Mauá 1, CEP 09.580-900,  
São Caetano do Sul-SP, Brasil. (e-mail [rodrigues@maua.br](mailto:rodrigues@maua.br))

Cerca de 80% da demanda de energia global vem de combustíveis fósseis (petróleo, gás natural e carvão) e a reserva desses combustíveis vem encolhendo com o passar dos anos. Os óxidos resultantes da combustão, tais como CO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> e SO<sub>x</sub>, estão exercendo papel fundamental na mudança climática exacerbada, destruição da camada de ozônio, chuva ácida e poluição. Recentemente, os esforços têm-se centrado no desenvolvimento de alternativas de energia limpa para continuar com o desenvolvimento econômico global sem prejudicar o meio ambiente. Dentre os potenciais candidatos, destacam-se o metano e o hidrogênio produzidos a partir de efluentes industriais por digestão biológica anaeróbia (Leite et al., 2008 e Wu et al., 2013).

A produção de metano ( $CH_4$ ) a partir de uma variedade de resíduos biológicos por digestão anaeróbia está crescendo globalmente, já que é uma tecnologia consolidada e seu teor de energia é de 55,6 kJ.g<sup>-1</sup>, o que representa um aumento de 17% em relação ao teor da gasolina (47,5 kJ.g<sup>-1</sup>). Além disso, os benefícios cruciais oferecidos pelo uso de biogás ao invés do gás natural são: (i) é produzido por fontes renováveis; (ii) é produzido localmente e sem dependência de óleo importado ou reservas de gás natural; (iii) ajuda a reduzir a poluição produzida por resíduos orgânicos, o que é responsável pela maior parte da poluição das águas naturais; e (iv) ajuda a retardar os problemas de gerenciamento de resíduos (Chandra et al., 2012).

Producir metano a partir da digestão anaeróbia de efluentes e resíduos (incluindo lodo de esgoto, esterco e a fração orgânica dos rejeitos municipais) é algo amplamente aplicado. Neste processo, o hidrogênio ( $H_2$ ) é um produto intermediário que, entretanto, não permanece disponível devido à sua rápida utilização e conversão em metano pelos microrganismos metanogênicos.

O hidrogênio é considerado como o combustível do futuro por seu alto teor de energia ( $122 \text{ kJ.g}^{-1}$ ) e, principalmente, por só produzir água ao reagir com o oxigênio em células combustíveis. Diversas pesquisas demonstram a viabilidade da utilização do  $\text{H}_2$ , produzido biologicamente, para geração de energia, mas o mesmo ainda é considerado como uma tecnologia recente e apresenta resultados muito divergentes; mas pelas vantagens desse biogás, um grande esforço tem sido feito para produzi-lo com sucesso. Nos processos biológicos de produção de hidrogênio, a produção e o consumo do  $\text{H}_2$  são desvinculados do processo metanogênico, desta forma o biohidrogênio fica disponível como produto final. Diversas investigações ainda são necessárias antes que seja possível a utilização desta tecnologia em escala comercial, como já acontece com a produção de metano (Khanal, 2008).

Diferentes águas residuárias são utilizadas como substrato para a produção de biogás ( $\text{H}_2$  e  $\text{CH}_4$ ), nas quais a fonte de matéria orgânica carbonácea consta de sacarose, amido de trigo, fração orgânica de resíduos sólidos, efluente de reatores biológicos, óleos vegetais, resíduos da produção de biodiesel, da produção de álcool e açúcar e muitos outros. O objetivo comum de tais estudos consta da avaliação da produtividade e da estabilidade do biorreator. Além disso, investigam a melhoria da composição das águas residuárias em termos do equilíbrio de nutrientes no intuito de possibilitar acréscimo de produção e, assim, otimizar a aplicação desses diversos efluentes.

Neste contexto, o Laboratório de Engenharia Bioquímica da Escola de Engenharia Mauá do Instituto Mauá de Tecnologia (LEB/EEM/IMT) tem desenvolvido e otimizado reatores anaeróbios visando à produção de biohidrogênio e biometano por via acidogênica e metanogênica, respectivamente, com ênfase na otimização de novas propostas de configurações visando à viabilização de uma futura aplicação para uso do sistema em escala plena.

Atualmente, dois tipos de biorreatores (equipamentos onde acontecem as reações entre água residuária e microrganismos com geração de biogás) são utilizados no LEB/EEM/IMT: o ASBR (*Anaerobic Sequencing Batch Reactor*) e o AnSBBR (*Anaerobic Sequencing Batch Biofilm Reactor*) que podem ser operados em batelada e batelada alimentada. O ciclo típico desses dois reatores compreende quatro etapas: (i) alimentação que pode ter o tempo de enchimento variável, definindo a estratégia de enchimento como batelada e/ou batelada alimentada; (ii) tratamento propriamente dito, por meio das biotransformações dos constituintes da água residuária por microrganismos; (iii) sedimentação quando a biomassa se encontrar na forma granulada (ASBR), pois quando a biomassa se encontra na forma imobilizada em suporte inerte (AnSBBR) esta etapa não é necessária; e (iv) descarga, com retirada do líquido tratado e clarificado. As maiores vantagens desse tipo de operação são a sua simplicidade, controle de qualidade eficiente do efluente e possibilidade de aplicação deste tipo de tratamento em diferentes escalas de tamanho.

Entre as águas residuárias estudadas no LEB, destacam-se a glicerina e a vinhaça. A glicerina é o coproducto gerado na etapa de transesterificação no processo de produção de biodiesel (de 10 a 18% em base mássica). Ressalta-se que, com a crescente produção do biocombustível pretendida para os próximos anos, dificilmente ela poderá ser vendida na sua totalidade como matéria-prima para as indústrias. Assim, há a necessidade de tratamento desse efluente, mas a degradação do resíduo bruto é de grande dificuldade. Já a vinhaça é o resíduo da produção de bioetanol por fermentação de caldo de cana de açúcar, obtida na etapa de destilação do meio líquido fermentado; possuindo elevado poder poluente (20-50 gDQO/L) e geração de 12 a 16 litros de vinhaça por litro de etanol anidro produzido.

Resultados recentes de uma pesquisa focada em tratamento do glicerol no LEB/EEM/IMT mostram que é possível chegar a uma produção de mais de 1760 litros de metano por dia para cada m<sup>3</sup> de reator (L-CH<sub>4</sub>/d·m<sup>3</sup>) com remoção de 87% da matéria orgânica que entra no sistema. Em relação ao hidrogênio, é possível gerar aproximadamente 220 L-H<sub>2</sub>/d·m<sup>3</sup> com o resíduo bruto e mais de 2260 L-H<sub>2</sub>/d·m<sup>3</sup> com o glicerol purificado.

Além disso, há um estudo em andamento sobre a possibilidade de co-digestão entre glicerina e soro de queijo (efluente da indústria de laticínios) para produção de metano e, futuramente, hidrogênio no LEB/EEM/IMT. O processo de co-digestão é uma técnica relativamente nova que consiste em misturar resíduos com características complementares para elevar a velocidade de digestão do reator e aumentar sua eficiência. O reator alimentado com essa mistura chegou a produzir mais de 2280 L-CH<sub>4</sub>/d·m<sup>3</sup>, o que representa um aumento de quase 30% em relação à digestão apenas com glicerina.

Pesquisas realizadas com a vinhaça no LEB/EEM/IMT mostram que é possível chegar a uma geração de aproximadamente 1000 L-CH<sub>4</sub>/d·m<sup>3</sup>, com 82% de remoção de matéria orgânica que entra no sistema. Por se tratar de um resíduo de biodegradação extremamente difícil, para produzir hidrogênio, a vinhaça tem sido co-digerida com melâço ou sacarose. A co-digestão de vinhaça com sacarose chegou a produzir mais de 400 L-H<sub>2</sub>/d·m<sup>3</sup> e a de vinhaça com melâço, 84 L-H<sub>2</sub>/d·m<sup>3</sup>.

Os processos biológicos de produção de biohidrogênio e biometano ainda estão sendo pesquisados e desenvolvidos e representam uma peça-chave na geração de energia limpa e na construção de um mundo mais sustentável.

## Referências

- CHANDRA, R.; TAKEUCHI, H.; HASEGAWA, T. Methane production from lignocellulosic agricultural crop wastes: A review in context to second generation of biofuel production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.16, p. 1462-1476, 2012.
- KHANAL, S. K. *Anaerobic Biotechnology for Bioenergy Production: Principles and Applications*. John Wiley & Sons, New York, 2008.
- LEITE, J. A. C.; FERNANDES, B. S.; POZZI, E.; BARBOZA, M.; ZAIAT, M. Application of an anaerobic packed-bed bioreactor for the production of hydrogen and organic acids. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 33, p. 579-586, 2008.
- WU, X.; ZHU, J.; MILLER, C. Kinetics study of fermentative hydrogen production from liquid swine manure supplemented with glucose under controlled pH, **Journal of Environmental Science and Health, Part B: Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes**, v. 48, n. 6, p. 477-485, 2013.

## Os Autores

**Giovanna Lovato**, graduada em Engenharia Química pelo Instituto Mauá de Tecnologia, mestra em Ciências pela Universidade de São Paulo e aluna de doutorado em Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo. Tem experiência profissional em pesquisa, na área de processos anaeróbios aplicados ao tratamento de águas residuárias (com ênfase em glicerol) com reatores operados em batelada alimentada aplicados à produção de bioenergia (metano e hidrogênio).

**Dra. Suzana Maria Ratusznei**, graduada em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá, mestra em Engenharia Química pela Universidade Federal de São Carlos e doutora em Engenharia Química pela Universidade Federal de São Carlos. Atualmente é Professora Titular do Instituto Mauá de Tecnologia. Tem experiência profissional em docência de Engenharia Química nas áreas de conhecimento relacionadas a reatores químicos/bioquímicos; e pesquisa na área de conhecimento Engenharia de Processos Biológicos com ênfase em estudos e caracterização de efluentes industriais. Atua principalmente em temas ligados a processos anaeróbios de tratamento biológico relacionados à análise e otimização de reatores biológicos, em configurações convencionais e avançadas, aplicados à produção de bioenergia (metano e hidrogênio) e à adequação ambiental de efluentes industriais e domésticos.

**Dr. José Alberto Domingues Rodrigues**, graduado em Engenharia Química pela Universidade Federal de São Carlos, mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal de São Carlos, doutor em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas e livre-docente pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. Atualmente é Professor Titular do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia. Tem experiência profissional em docência de Engenharia Química nas áreas de conhecimento relacionadas a fundamentos de processos, reatores químicos/bioquímicos, e modelagem/controle de processos; e pesquisa na área de conhecimento Engenharia de Processos Biológicos com ênfase em processos anaeróbios aplicados ao tratamento de águas residuárias, desenvolvendo projetos com reatores operados em batelada e/ou batelada alimentada sequenciais aplicados à produção de bioenergia (metano e hidrogênio) e à adequação ambiental de efluentes industriais e domésticos.



Visão geral no Laboratório de Engenharia Bioquímica do Instituto Mauá de Tecnologia.



Dois dos reatores usados atualmente no Laboratório de Engenharia Bioquímica.