

POTENCIAL DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS POR MEIO DA DIGESTÃO ANAERÓBIA DO BAGAÇO DE MALTE

Paula Polastri (*), André Luis Gomes Simões, Ana Paula Jambers Scandelai, Daniel Tait Vareschini, Marcelino Luiz Gimenes

*Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Química, paulapolastri1983@gmail.com

RESUMO

Os resíduos sólidos quando gerenciados de forma inadequada causam impactos à saúde humana e a qualidade ambiental. Desta forma, aproveitamento energético de resíduos sólidos orgânicos por meio da digestão anaeróbia torna-se uma alternativa viável visando a destinação adequada de resíduos orgânicos gerados no processo industrial e possibilitando a geração de energia limpa. O presente estudo teve por objetivo analisar a digestão anaeróbia do resíduo orgânico bagaço de malte gerado no processo cervejeiro para a geração de biogás. Neste prisma, a presente pesquisa teve por objetivo analisar a co-digestão do resíduo industrial orgânico para a geração de biogás, sendo o bagaço de malte (BDM), gerado no processo cervejeiro. De acordo com a quantidade de resíduo gerado na produção de cerveja no Brasil, bem como conforme estudos correlados, o tratamento do bagaço de malte por meio da digestão anaeróbia, fornece uma alternativa interessante para produção de energia com o uso do biogás. Mostrando que, a co-digestão de dois ou mais substratos pode possibilitar ganhos significativos na produção de metano, considerando o bagaço de malte como um dos substratos. No entanto, a análise quanto a aplicação de um pré-tratamento para uso do bagaço de malte torna-se necessária, visando aumento na eficiência na degradação do material fibroso presente no resíduo.

PALAVRAS-CHAVE: Aproveitamento energético, Tratamento de resíduos, Energia limpa.

ABSTRACT

Solid waste when improperly managed causes impacts on human health and environmental quality. In this way, the use of organic solid wastes through anaerobic digestion becomes a viable alternative for the adequate disposal of organic waste generated in the industrial process and allowing the generation of clean energy. The present study had the objective of analyzing the anaerobic digestion of the organic waste malt bagasse generated in the brewing process for the generation of biogas. In this prism, the present research had the objective of analyzing the co-digestion of the organic industrial waste for biogas generation, being the malt bagasse (BDM), generated in the brewing process. According to the amount of residue generated in beer production in Brazil, as well as according to correlated studies, the treatment of malt bagasse through anaerobic digestion, provides an interesting alternative for energy production with the use of biogas. By showing that the co-digestion of two or more substrates may lead to significant gains in methane production, considering malt bagasse as one of the substrates. However, the analysis of the application of a pre-treatment for the use of malt bagasse is necessary, aiming at increasing the degradation efficiency of the fibrous material present in the residue.

KEY WORDS: Energy utilization, Waste treatment, Clean energy.

INTRODUÇÃO

Para garantir a gestão integrada e o gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos, foi instituída no Brasil a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), conforme Lei Federal nº 12.305, de 02 de agosto de 2010 (BRASIL, 2010).

Na gestão e no gerenciamento de resíduos sólidos deve-se seguir a ordem e prioridade como a não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. De forma que na destinação final ambientalmente adequada inclui-se a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos ambientais competentes (BRASIL, 2010).

Frente às exigências ambientais cada vez mais rígidas, a valorização por meio do aproveitamento energético de resíduos orgânicos tem sido crescentemente aplicada no gerenciamento de resíduos sólidos, pois além de possibilitar a adequação ambiental, contribui na composição da matriz energética brasileira no âmbito de energias renováveis.

Nesse contexto, a matriz energética brasileira em 2014 contou com 40% de energias renováveis (75% de renováveis na oferta de energia elétrica), o que representa três vezes a participação média mundial (MMA, 2018).



Adicionalmente, em 2016, o Brasil ratificou o Acordo de Paris aprovado pelos 195 países Parte da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC, na sigla em inglês), para reduzir emissões de gases de efeito estufa (GEE) no contexto do desenvolvimento sustentável (MMA, 2018).

Desta maneira, o Brasil se propôs a contribuir com as reduções das emissões de GEE em 43% abaixo dos níveis de 2005, em 2030. Para isso, o país se comprometeu a aumentar a participação de bioenergia sustentável na sua matriz energética para aproximadamente 18% até 2030, bem como alcançar uma participação estimada de 45% de energias renováveis na composição da matriz energética em 2030 (MMA, 2018).

Portanto, uma alternativa à contribuição para o aumento em energia renovável, a digestão anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos de origem industrial, vem sendo estudada e aplicada, tendo como resultado do processo o biofertilizante e o biogás, podendo ser aplicados na agricultura e na geração de energia térmica ou elétrica, respectivamente (COLUSSI et al., 2016; VITANZA et al., 2016; PANJIČKO et al., 2017). Ainda, torna-se importante examinar uma abordagem alternativa para digestão anaeróbia, como a aplicação da co-digestão anaeróbia, de forma a superar as deficiências da mono-digestão (ZHANG et al., 2013).

OBJETIVOS

O presente estudo teve por objetivo analisar a digestão anaeróbia do resíduo orgânico bagaço de malte gerado no processo cervejeiro para a geração de biogás.

METODOLOGIA

Realizou-se uma pesquisa bibliográfica por meio de estudos correlatos sobre a aplicação e características do bagaço de malte gerado no processo de fabricação de cerveja como substrato na digestão anaeróbia, bem como o seu potencial para a produção de biogás

RESULTADOS

Bagaço De malte: geração e características

A produção de cerveja no Brasil apresenta uma tendência crescente nos últimos 30 anos (de 1985 a 2016) alcançando um patamar de 133 milhões de hectolitros (mi hl) produzidos em 2016, colocando o Brasil em terceiro lugar no ranking mundial atrás apenas da líder China (460 mi hl) e dos EUA (221 mi hl) e a frente da Alemanha (95 mi hl) e da Rússia (78 mi hl) (BARTH et al., 2017).

Atualmente estão registradas 610 cervejarias no Brasil, e somente em 2017 foram concedidos 91 novos registros de estabelecimentos produtores de cerveja. O crescimento no número de novos estabelecimentos deve-se principalmente às aberturas de pequenas cervejarias, muitas vezes categorizadas como “microcervejarias” ou “artesaniais” pelos proprietários ou méis de comunicação. Porém, ainda não há classificação legal aplicável que diferencie este estabelecimento dito micro/artesanal das demais cervejarias, portanto, atualmente o MAPA não é capaz de dimensionar o número de (micro)cervejarias artesanais no Brasil (MARCUSO; MULLER, 2017).

Na fabricação de cerveja, a cevada (*Hordeum vulgare L.*), cereal pertencente à família das Gramíneas e ao gênero *Hordeum*, é a matéria-prima utilizada para produzir cerveja. Os carboidratos são a maior fonte de energia do grão de cevada, representam cerca de 80% do peso seco do grão e estão localizados principalmente no endosperma. O maior componente da cevada é o amido, seguido pelas fibras alimentares e por proteínas, outros constituintes como açúcares (frutose, sacarose e glucose) também fazem parte da composição do grão (MUSSATO; DRAGONE; ROBERTO, 2006).

A maltagem é o principal uso econômico da cevada para a produção de cerveja, no qual a cevada passa por um processo de germinação controlada, que serve para aumentar o conteúdo enzimático do grão. O produto obtido pela maltagem da cevada denomina-se malte e caracteriza-se por seu alto poder diastásico (capacidade para hidrolisar o amido) e pelo conteúdo de substâncias extraíveis (açúcares, aminoácidos e proteínas) (MUSSATO; DRAGONE; ROBERTO, 2006).

No processo cervejeiro, o bagaço de malte (em inglês *beer spent grain - BSG*) é gerado na etapa de filtração do mosto (Figura 1), sendo o mosto a fração líquida utilizada no processo de fermentação, caracterizando-se em uma solução de açúcares oriundos da sacarificação do amido presente no malte e no adjunto, por ação das enzimas do malte.

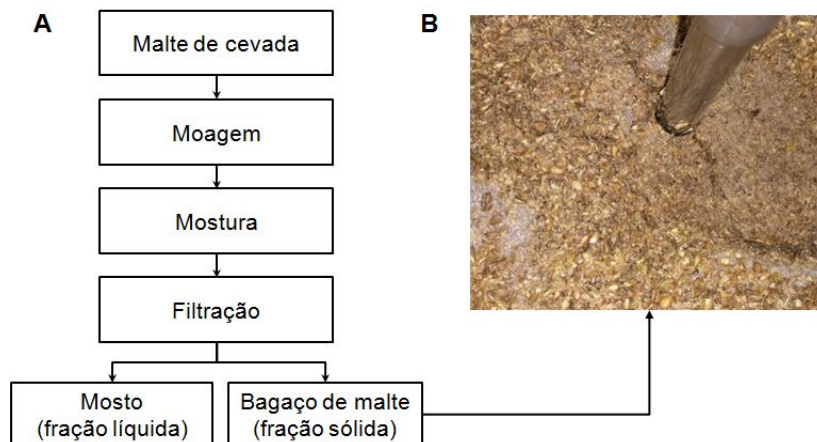
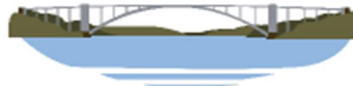


Figura 1: Processo de fabricação de cerveja e geração do bagaço de malte: (A) geração de bagaço de malte no processo cervejeiro; (B) bagaço de malte. Fonte: Adaptado de Mussatto, Dragone e Roberto (2006) e os autores (2019).

O bagaço de malte representa a fração sólida após filtração do mosto, podendo representar 85% dos resíduos gerados no processo cervejeiro, portanto, é quantitativamente o principal resíduo gerado, sendo a proporção de 14 a 20 kg de bagaço de malte para cada 100 litros de cerveja produzida (SANTOS, 2005; MUSSATO; DRAGONE; ROBERTO, 2006).

De acordo com Santos (2005), o bagaço de malte é constituído principalmente de restos de casca e polpa de malte, mas dependendo do tipo de cerveja a ser produzida, pode se constituir de grãos do adjunto utilizado, como arroz, milho e trigo (fontes de açúcares fermentáveis não maltados).

Logo, como os principais componentes do bagaço de malte são a casca do pericarpo e a casca no grão de cevada, este resíduo é constituído de celulose, lignina e polissacarídeos não celulósicos, podendo conter alguma proteína e lipídeo. Bem como por minerais, vitaminas e aminoácidos, mas em geral, o bagaço de malte pode ser considerado um material lignocelulósico rico em proteínas e fibras, que responde por cerca de 20 e 70% de sua composição, respectivamente (MUSSATO; DRAGONE; ROBERTO, 2006).

Adicionalmente, deve-se considerar que a composição química do bagaço de malte varia de acordo com a variedade de cevada, tempo de colheita, condições de maltagem, qualidade e o tipo de adjuntos adicionados no processo de fermentação (SANTOS, 2005).

Digestão anaeróbia no tratamento de resíduos industriais orgânicos

A digestão anaeróbia (DA) ou biometanização tem sido implementada com sucesso no tratamento de resíduos agrícolas, resíduos alimentares e lodo do tratamento de efluentes devido à sua capacidade de reduzir a demanda química de oxigênio (DQO) e a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e produzir energia renovável. A DA pode ser dividida em quatro fases: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. A Figura 2 apresenta as etapas do processo da degradação do material orgânico por meio da DA.

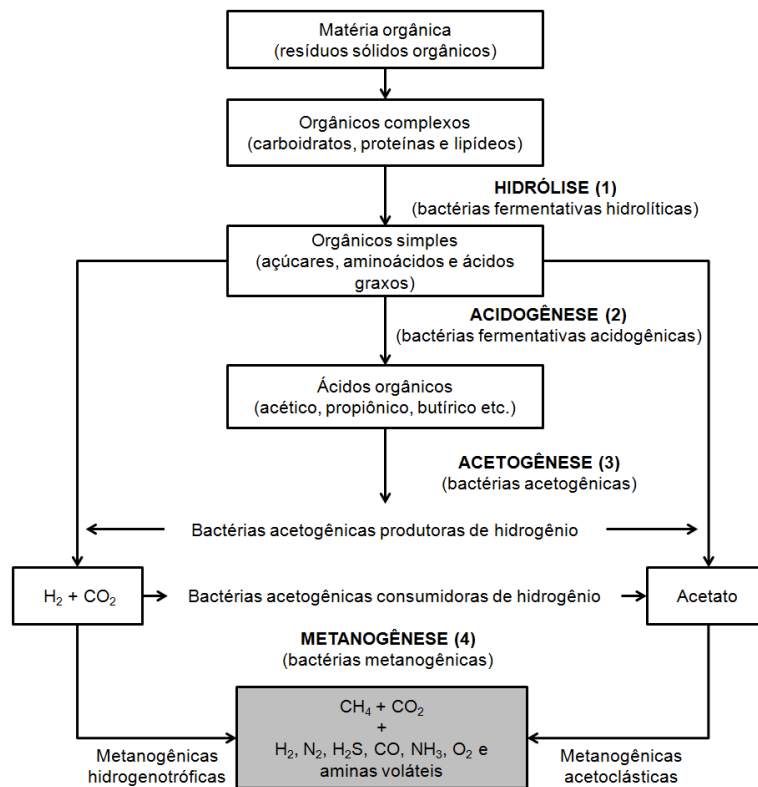
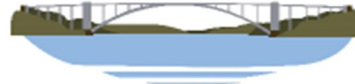


Figura 2: Sequências metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia. Fonte: Adaptado de Chernicharo (1997) e Lima et al. (2001).

De acordo com Lima et al. (2001), no processo de digestão anaeróbia, as bactérias fermentativas hidrolisam polissacarídeos como a celulose, e degradam produtos destes ácidos orgânicos, álcoois, H_2 e CO_2 . Também fermentam proteínas e lipídeos. Logo, as bactérias acetogênicas produtoras de hidrogênio obtêm energia para o crescimento produzindo acetato e H_2 e algumas vezes CO_2 dos ácidos orgânicos e álcoois produzidos na primeira etapa. Por fim, as bactérias metanogênicas utilizam os produtos da etapa 1 e 2, principalmente H_2 e CO_2 e acetato, produzindo CH_4 e CO_2 . A fase limitante é a formação de metano, portanto, condições ótimas são requeridas para o crescimento das metanogênicas, como temperatura entre 35 a 37°C (faixa mesófila) e pH próximo de 7.

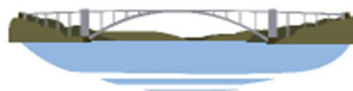
O produto final da DA inclui biogás, composto principalmente por metano (Tabela 1), e o biofertilizante, incluindo a fração sólida e líquida.

Tabela 1: Composição do biogás gerado a partir de resíduos orgânicos. Fonte: Cecchi et al. (2003).

Componentes	Concentração (%)
Metano (CH_4)	55 - 70
Dióxido de carbono (CO_2)	35 - 40
Água (H_2O)	2 - 7
Sulfeto de hidrogênio (H_2S)	2
Nitrogênio (N_2)	< 2
Oxigênio (O_2)	< 2
Hidrogênio (H_2)	< 1
Amônia (NH_3)	< 0,05

Os processos de DA são classificados de acordo com parâmetros críticos de operação como o teor de sólidos do substrato, temperatura de operação, ou com o tipo de alimentação e retirada do composto orgânico, e também de acordo com o modelo do reator.

Logo, por se tratar de um processo biológico, são vários fatores que influenciam o desempenho da digestão anaeróbia, uma vez que o meio deve oferecer as condições requeridas pelos microrganismos para que estes realizem as reações de



conversão da matéria orgânica. Desta forma, dentre os fatores operacionais se destaca: temperatura, pH, umidade; alcalinidade, bem como a presença de nutrientes e relação C/N (carbono/nitrogênio) e, a relação inóculo/substrato.

Alguns estudos sobre digestão anaeróbia do bagaço de malte para geração de biogás

Estudos com resíduos orgânicos gerados no processo cervejeiro estão sendo realizados, pois apresentam características relevantes como substratos para produção de biogás por meio da digestão anaeróbia utilizando mono-substrato ou com a combinação de vários substratos pela co-digestão anaeróbia.

Malakhova et al. (2015) avaliaram a produção de biogás com o uso de bagaço de malte como substrato e como co-substrato folhas e caules moídas de alcachofra de Jerusalém (*H. tuberosus* L.), bem como a aplicação do resíduo fermentado de BDM como aditivo de solo em cultura de alface (*Lepidium sativum* L.). A biotransformação de substrato mais eficaz ocorreu em condições termofílicas, com a mistura do co-substrato em 100 g L⁻¹ de BDM, resultando na produção de 61,0% de metano, enquanto que, sem a adição do co-substrato, apenas 53,6% de metano foi detectado. A suplementação de solo com o resíduo fermentado de BSG resultou na promoção no crescimento das culturas de alface. Logo, os resultados obtidos no estudo, demonstraram um potencial para utilização completa de BDM para produção de biogás e aplicação como aditivo do solo.

Vítanza et al. (2016) avaliaram o potencial bioquímico de metano (PBM) do bagaço de malte por meio da biometanização. Segundo os autores, a produção de biogás foi de 429 mlCH₄.gSV⁻¹, e a composição de metano (CH₄) presente no biogás foi de 52,4%.

Oliveira, Alves e Costa (2018) investigaram o PBM (volume de metano produzido por sólidos voláteis do substrato L kg⁻¹) de dois resíduos da indústria cervejeira, o bagaço de malte e o excedente de levedura, em separado e por meio da co-digestão de ambos. O melhor resultado foi obtido com o excedente de levedura 515 ± 4 L kg⁻¹, mostrando maior biodegradabilidade quando comparado ao bagaço de malte 301 ± 5 L kg⁻¹. No entanto, a mistura dos substratos produziu diferenças significativas nos valores de PBM quando comparado ao PBM do bagaço de malte, chegando a 411 L kg⁻¹. Segundo os autores, as diferenças entre os substratos são devidas a maior DQO solúvel presente no excedente de levedura, e possivelmente, a celulose presente no bagaço de malte que é considerado um dos mais problemáticos compostos na degradação anaeróbia, visto que, o teor de celulose do resíduo pode chegar a 25% (em base seca).

Por fim, para Mussatto, Dragone e Roberto (2006), a hidrólise do material fibroso do bagaço de malte é o passo limitante para a completa degradação do material. No entanto, existem várias possibilidades diferentes de pré-tratamento para aumentar a taxa de fermentação, incluindo tratamento químico-térmico com NaOH 0,2 M a 70 °C, moagem do resíduo, bem como tratamento enzimático com fungos produtores de celulase com bagaço de malte como substrato único.

CONCLUSÕES

Diante do contexto apresentado, conclui-se que frente às exigências ambientais cada vez mais rígidas, a valorização por meio do aproveitamento energético de resíduos orgânicos tem sido crescentemente aplicada no gerenciamento de resíduos sólidos, pois além de possibilitar a adequação ambiental, contribui na composição da matriz energética brasileira no âmbito de energias renováveis.

Portanto, considerando o tratamento dos resíduos orgânicos por meio da digestão anaeróbia, o bagaço de malte fornece uma alternativa interessante para produção de energia com o uso do biogás. De forma que, os estudos correlatos avaliados mostram que a co-digestão de dois ou mais substratos pode possibilitar ganhos significativos na produção de metano, considerando o bagaço de malte como um dos substratos. No entanto, a análise quanto a aplicação de um pré-tratamento para uso do bagaço de malte torna-se necessária, visando aumento na eficiência na degradação do material fibroso presente no resíduo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BARTH, S.J.; BARTH, R.; BARTH, W. A. **The Barth Report**. HOPS 2016/2017. 2017.
2. CECCHI, F.; TRAVERSO, O.; PAVAN, P.; BOLZONELLA, D.; INNOCENTI, L. Characteristics of the OFMSW and behavior of the anaerobic digestion process. In: MATA-ALVAREZ, L. (ed.): **Biomethanisation of the organic fraction of municipal solid wastes**. IWA Publishing, London, 2003.
3. CHERNICHARO, C. A. de L. **Reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 1997.



4. LIMA, U. A.; AQUARONE, E.; BORZANI, W.; SCHMIDELL, W. **Biotecnologia industrial** – Processos fermentativos e enzimáticos. São Paulo: Blucher, 2001.
5. MALAKHOVA, D. V.; EGOROVA, M. A.; PROKUDINA, L. I.; NETRUSOV, A.I.; TSAVKELOVA, E. A. The biotransformation of brewer's spent grain into biogas by anaerobic microbial communities. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 31, p. 2015-2023, 2015.
6. MARCUSSO, E. F.; MULLER, C. V. **A cerveja no Brasil: o Ministério da Agricultura informando e esclarecendo**. 2017. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/pasta-publicacoes-DIPOV/a-cerveja-no-brasil-28-08.pdf/view>. Acesso: 17 de fevereiro de 2019.
7. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Fundamentos para a elaboração da Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada (iNDC) do Brasil no contexto do Acordo de Paris sob a UNFCCC**. 2018.
8. MUSSATTO, S. I.; DRAGONE, G.; ROBERTO, I. C. Brewers' spent grain, generation, characteristics and potential applications. **Journal of Cereal Science**, n. 43, p. 1–14, 2006.
9. OLIVEIRA, J. V.; ALVES, M. M.; COSTA, J. C. Biochemical methane potential of brewery by-products. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 20, P 435–440, 2018.
10. PANJIČKO, M.; ZUPANČIČ, G. D.; FANEDL, L.; LOGAR, M. R.; TIŠMA, M.; ZELIĆ, B. Biogas production from brewery spent grain as a mono-substrate in a two-stage process composed of solid-state anaerobic digestion and granular biomass reactors. **Journal of Cleaner Production**, n. 166, p. 519-529, 2017.
11. SANTOS, M. S. dos. **Cervejas e refrigerantes - Série P+L**. São Paulo : CETESB, 2005. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/consumosustentavel/wp-content/uploads/sites/20/2013/11/cervejas_refrigerantes.pdf. Acesso: 15 de fevereiro de 2019.
12. VITANZA, R.; CORTESI, A.; GALLO, V.; COLUSSI, I.; M. E. DE ARANA-SARABIA, M. E. de. Biovalorization of brewery waste by applying anaerobic digestion. **Chemical and Biochemical Engineering Quarterly**, n. 3; v. 30, p. 351–357, 2016.
13. ZHANG, C.; XIAO, G.; PENG, L.; SU, H.; TAN, T. The anaerobic co-digestion of food waste and cattle manure. **Bioresource Technology**, n. 129, p.170–176, 2013.