

**PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE DIFERENTES DEJETOS ANIMAIS EM CODIGESTÃO COM BAGAÇO DE MALTE**DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.5.22.XV-006>

Maria Eduarda Todeschini Andrade (*), Jeane de Almeida do Rosário, Juliana Ferreira Soares

* Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), dudinhata@gmail.com.

RESUMO

A utilização de recursos não renováveis para obtenção de energia e a poluição gerada com sua utilização evidencia a necessidade de busca por fontes alternativas. A digestão anaeróbia (DA) de materiais orgânicos se destaca como uma alternativa eficaz e econômica para a obtenção de energia a partir de fontes renováveis. A codigestão de diferentes substratos permite um melhor rendimento na produção de biogás. Neste contexto, o objetivo desse estudo foi avaliar a codigestão do bagaço de malte (BM), principal resíduo da indústria cervejeira, com três dejetos animais (ovino, bovino e de aves) para a produção de biogás. Além disso, o processo foi avaliado com e sem agitação do meio. Os ensaios foram conduzidos em sistema de batelada e com temperatura constante a 40 °C. O pH e as concentrações de sólidos totais (ST), sólidos fixos (SF) e sólidos voláteis (SV) foram determinados no início e no final de cada ensaio. O volume de biogás foi quantificado a partir de um sistema de deslocamento de coluna d'água e os resultados expressos em termos de produção (mL) e rendimento (mL/gST e mL/gSV). A maior produção de biogás (505,0 mL) foi obtida no ensaio com BM e dejetos de aves sem agitação, o qual apresentou, também, maior degradação dos sólidos presentes no meio, chegando a 36,89% de remoção de ST, 37,30% de SV e 37,79% de SF. Diferente dos ensaios de codigestão do BM com dejetos bovino e de aves, o ensaio com BM e dejetos ovino evidenciou a necessidade de agitação do meio, sendo observada produção de biogás de 52,5 mL sem agitação e 142,5 mL com agitação. O pH inicial de todos os meios esteve próximo a neutralidade (entre 6,92 e 7,25). No entanto, ao final dos ensaios o pH foi reduzido a valores abaixo de 5,55, evidenciando a liberação de ácidos orgânicos como subprodutos metabólicos do processo de DA. Por fim, conclui-se que, entre as combinações estudadas, a codigestão do BM com o dejetos de aves apresentou melhores resultados de produção e rendimento de biogás. Além disso, a agitação não favoreceu o processo, o que também pode resultar em benefícios econômicos, uma vez que não é necessário o gasto com energia para manter o meio sob agitação.

PALAVRAS-CHAVE: Energias renováveis, digestão anaeróbia, biomassa lignocelulósica.**ABSTRACT**

The use of non-renewable resources to obtain energy and the pollution generated with their use highlights the need to search for alternative sources. Anaerobic digestion (AD) of organic materials stands out as an effective and economical alternative for obtaining energy from renewable sources. The co-digestion of different substrates allows a better of biogas. In this context, the objective of this study was to evaluate the co-digestion of brewer's spent grain (BSG), the main waste of brewing industry, with three animal wastes (sheep, cattle and poultry) for the production of biogas. In addition, the process was evaluated with and without agitation. The assays were carried out in a batch system and with constant temperature at 40 °C. The pH and concentrations of total solids (TS), fixed solids (FS), and volatile solids (VS) were determined at the beginning and end of each assay. The volume of biogas was quantified using a water column displacement system and the results expressed in terms of production (mL) and yield (mL/gST and mL/gSV). The highest biogas production (505.0 mL) was obtained in the assay with BSG and poultry manure without agitation, which also showed greater degradation of the solids present in the medium, reaching 36.89% of TS removal, 37.30% VS and 37.79% FS. Unlike the co-digestion assays of BSG with bovine and poultry manure, the assay with BSG and sheep manure showed the need for medium agitation, with biogas production of 52.5 mL without agitation and 142.5 mL with agitation. The initial pH of all media was close to neutrality (between 6.92 and 7.25). However, at the end of the assays, the pH was reduced to values below 5.55, evidencing the release of organic acids as metabolic by-products of the AD process. Finally, it is concluded that, among the combinations studied, the co-digestion of BSG with poultry manure showed better results in terms of production and yield of biogas. In addition, the agitation did not favor the process, which can also result in economic benefits, since it is not required to spend energy to maintain the medium under agitation.

KEY WORDS: Renewable energies, anaerobic digestion, lignocellulosic biomass.



INTRODUÇÃO

A crescente demanda energética mundial, aliada a escassez das fontes energéticas de combustíveis fósseis e a poluição decorrente destes, evidencia a necessidade de busca por fontes de energias renováveis. O Balanço Energético Nacional 2021, publicado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2021), aponta a participação das fontes energéticas renováveis no Brasil em 48,4% no ano de 2020, sendo 19% da biomassa da cana, 12,6% hidráulica, 8,9% da lenha e carvão vegetal e 7,7% de outras renováveis.

No grupo de outras renováveis, o biogás representa apenas 1,4% (EPE, 2021), o que justifica o desenvolvimento de pesquisas para explorar mais esse biocombustível. O biogás desponta como uma alternativa para a sustentabilidade de atividades industriais, rurais e domésticas, agregando valor à diversos resíduos orgânicos, diminuindo custos energéticos e emitindo menos gases de efeito estufa (LOHANI et al., 2021). A digestão anaeróbia (DA) de materiais orgânicos, tem como produtos o substrato digerido, chamado digestato, e o biogás, que é um combustível gasoso majoritariamente composto de metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂). O biogás possui alto poder calorífico, podendo ser empregado na geração de calor, eletricidade e produção de biocombustível.

O bagaço de malte (BM) é o principal subproduto da indústria cervejeira, representando cerca de 85% dos resíduos gerados. Em termos quantitativos, a cada 100 litros de cerveja são gerados de 14 a 20 kg de BM (CORDEIRO et al., 2012). A maioria das indústrias cervejeiras utilizam combustíveis fósseis em sua operação, sendo que esta grande quantidade de biomassa poderia ser utilizada como fonte alternativa de energia, trazendo melhorias econômicas e ambientais (PANJICKO et al., 2017). O BM é caracterizado como uma biomassa lignocelulósica, ou seja, é constituído por uma estrutura complexa de celulose, hemicelulose e lignina (MUSSATTO et al., 2008). A biomassa se mostra promissora como fonte de carboidrato para o processo de produção de biocombustível, pois é abundante em todas as estações do ano, atrativa economicamente e sustentável.

Dejetos animais são materiais ricos em matéria orgânica e microrganismos, grandes atuantes na DA. A má gestão desses dejetos gera impactos diretamente ao meio ambiente, como o aumento de nutrientes no solo, principalmente nitrogênio e fósforo, contaminação por medicamentos, hormônios, disseminação de patógenos, odores e emissões gasosas (ABDESHAHIAN et al., 2016). Áreas de produção rural com difícil acesso se tornam atrativas para utilização de biodigestores para obtenção de energia elétrica. Além de tornar a atividade sustentável, geram economia e autonomia energética (HARYATI, T. 2006).

A codigestão de substratos garante a relação C/N do meio, o equilíbrio no teor de umidade e evita a inibição causada por compostos presentes em determinados substratos, como a alta concentração de amônia, responsável por inibir a atividade biológica das arqueas metanogênicas. Com a codigestão, a composição do meio fica mais estável, não havendo concentrações excessivas de compostos não desejáveis em comparação a DA de apenas um substrato (ANGELIDAKI, I., AHRING, B.K, 1993; BOUALLAGUI et al., 2009; CHANDRA et al., 2012). Neste sentido, o objetivo deste estudo foi avaliar o potencial de produção de biogás a partir do bagaço de malte em codigestão com três tipos de dejetos animais: ovino, bovino e de aves. Além disso, foi estudada a interferência da agitação no meio e analisados o pH e as concentrações de sólidos totais (ST), sólidos fixos (SF) e sólidos voláteis (SV) antes e após cada ensaio.

METODOLOGIA

Neste estudo, a produção de biogás foi realizada a partir da codigestão anaeróbia do BM com diferentes dejetos animais (ovino, bovino e de aves) utilizados na sua forma bruta, ou seja, sem nenhum pré-tratamento. O bagaço de malte foi obtido de uma cervejaria do município de Lages/SC, e os dejetos animais provenientes de uma propriedade rural localizada no interior do mesmo município. Cabe salientar que os animais estavam sob mesmo regime alimentar, livres ao campo e com suplementação de grãos de milho e casca de soja. Após a coleta, os materiais foram acondicionados em recipientes plásticos nas proporções que foram utilizadas nos ensaios e mantidos sob refrigeração à -4 °C até o momento de uso. O BM e os dejetos animais foram caracterizados de acordo com a metodologia estabelecida pela *American Public Health Association* (APHA, 1999), em termos de umidade, sólidos totais, sólidos fixos, sólidos voláteis e cinzas.

Os ensaios de produção de biogás foram realizados a partir da codigestão do bagaço de malte com dejetos ovino (B+DO), do bagaço de malte com dejetos bovinos (B+DB) e do bagaço de malte com dejetos de aves (B+DA). Além das diferentes combinações de codigestão, o processo de produção de biogás também foi avaliado com e sem agitação. Todos os ensaios foram conduzidos em reatores de 500 mL, sendo o meio constituído por 40 g de bagaço de malte, 40 g de dejetos (ovino, bovino ou de aves) e 320 g de água. A temperatura foi mantida constante a 40 °C e o pH inicial e final monitorado a partir de um pHmetro (MS Tecnopon, Mpa210). Nos ensaios com agitação foram utilizados agitadores magnéticos com controle



de temperatura (Diag-tech, 3120H) e nos ensaios sem agitação foi utilizado banho maria (CenlaB, CE-160/6). Todos os ensaios foram realizados em triplicata. A comparação das médias foi realizada pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

O biogás gerado foi determinado a partir de um sistema de deslocamento de coluna d'água. Neste sistema, o volume produzido é quantificado em uma proveta graduada invertida submersa em um recipiente com água. À medida que o biogás é gerado, este é conduzido por uma mangueira até a proveta, deslocando a água da mesma. Além do biogás, também foi quantificado o teor de ST, SF e SV do meio de digestão antes e após cada ensaio. Tais determinações foram realizadas conforme a metodologia padrão da *American Public Health Association* (APHA, 1999). A caracterização física dos substratos antes e após a DA pode ajudar a explicar o desempenho da produção de biogás e, também, a qualidade do digestato (BRES et al., 2018).

RESULTADOS

Os resultados da caracterização dos substratos utilizados neste trabalho estão apresentados na tabela 1. O BM apresentou 69,33% de umidade e 30,67% de ST, estando de acordo com os resultados de Cordeiro et al. (2012). O dejetto bovino resultou em 79,97% de umidade e 20,03% de ST, corroborando com os resultados de Abdeshahian et al. (2016) e Alvarez e Lidén (2018). O dejetto de aves se caracterizou com 50,51% de umidade, 49,49% de ST e 35,07% de SV, mostrando semelhança com e Li et al. (2015) e maior teor de ST e SV quando comparado com o resultado obtido por Callaghan et al. (2002). Por fim, o dejetto ovino, com 50,35% de umidade, 49,65% de ST e 35,71% de SV, está de acordo com o encontrado por Abdeshahian et al. (2016).

Tabela 1. Caracterização física dos substratos utilizados para produção de biogás.

Fonte: Autora do trabalho.

Composição (%)	Bagaço de malte	Dejetto ovino	Dejetto bovino	Dejetto de aves
Umidade	69,33 ± 0,18	50,35 ± 0,35	79,97 ± 0,25	50,51 ± 0,33
Sólidos totais	30,67 ± 0,18	49,65 ± 0,35	20,03 ± 0,25	49,49 ± 0,33
Sólidos fixos	2,75 ± 0,56	13,94 ± 1,03	2,67 ± 0,01	14,43 ± 0,09
Sólidos voláteis	27,93 ± 0,74	35,71 ± 1,16	17,36 ± 0,24	35,07 ± 0,34
Cinzas	0,79 ± 0,03	12,93 ± 0,73	2,63 ± 0,02	14,11 ± 0,03

A composição de cada dejetto animal pode variar de acordo com a dieta em que estão submetidos, com a taxa de degradação de nutrientes de cada espécie e com as características dos microrganismos intestinais (LI, et al., 2015). De acordo com Cordeiro et al. (2012), as diferenças encontradas na composição do BM são compreensíveis e influenciadas por fatores como variedade da cevada, tempo de colheita e método tecnológico utilizado na cervejaria.

A composição do dejetto bovino foi caracterizada com maior teor de umidade (79,97%), menor concentração de ST (20,03%) e menor concentração de SV (17,36%) em comparação com os demais dejetos, e apresentou maior semelhança com as características do BM, o que pode ter limitado a melhora na composição do meio para a codigestão. A escolha dos substratos para codigestão têm por finalidade melhorar a composição do meio, ou seja, um substrato complementar o que há em déficit na composição do outro, de modo a melhorar o desempenho na produção de biogás. Substratos com características físicas semelhantes, não são ideais para realização de codigestão pois não promovem o equilíbrio na composição do meio (BRES, et al., 2018; BOUALLAGUI et al., 2009).

A tabela 2 apresenta os resultados da produção (mL) e do rendimento (mL/gST, mL/gSV) de biogás obtidos nos diferentes ensaios. De acordo com os resultados, pode-se observar que a codigestão do BM com dejetto de aves foi a configuração que resultou em maior produção de biogás, tanto nos ensaios com agitação quanto nos ensaios sem agitação.

Tabela 2. Produção (P) e rendimento (R) de biogás a partir da codigestão do bagaço de malte com dejetto ovino (B+DO), bovino (B+DB) e de aves (B+DA), com e sem agitação.

Fonte: Autora do trabalho.

Ensaio	Com agitação			Sem agitação		
	P (mL)	R (mL/g _{ST})	R (mL/g _{SV})	P (mL)	R (mL/g _{ST})	R (mL/g _{SV})
B+DO	142,5 ± 7,5aA	4,44	5,60	52,5 ± 12,5aB	1,63	2,06
B+DB	47,5 ± 2,5bA	2,34	2,62	55,0 ± 10,0aA	2,71	3,04
B+DA	172,5 ± 2,5cA	5,38	6,85	505,0 ± 55,0bB	15,75	20,04

Nota: Letras minúsculas - Comparação de médias em cada coluna. Letras maiúsculas - Comparação de médias em cada linha. Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey (5%).



Abdeshahian et al. (2016) também registraram uma maior produção de biogás a partir da DA de dejetos de aves, em comparação com dejetos de grandes ruminantes (búfalos e gado) e pequenos ruminantes (ovelhas e cabras). Os dados da tabela 2 também demonstram que a produção de biogás a partir do B+DA e do B+DB dispensa agitação do meio. No ensaio B+DA sem agitação, a produção de biogás foi quase 3 vezes maior do que no ensaio B+DA com agitação. Esta configuração também pode resultar em benefícios econômicos ao processo, uma vez que não é necessário o gasto com energia para manter o meio sob agitação. Por outro lado, o ensaio com B+DO resultou em uma produção de biogás quase 3 vezes maior quando utilizada agitação.

As curvas cinéticas de produção de biogás, apresentadas na figura 1, nos permitem analisar o desempenho temporal e a influência da agitação sobre cada meio. O ensaio com B+DB, por exemplo, demonstrou a influência positiva da agitação apenas na fase inicial de produção, porém, ao longo do tempo a produção com e sem agitação foi semelhante. Nos ensaios com B+DO observa-se que a agitação favoreceu a produção de biogás desde o início do processo, chegando ao maior volume produzido (142,5 mL) em 24 h. Por outro lado, as cinéticas dos ensaios com B+DA demonstram que a agitação favoreceu a produção de biogás nas horas iniciais dos ensaios, no entanto, após 87 h de digestão observa-se um aumento expressivo na produção de biogás no ensaio sem agitação, resultando no maior volume de biogás obtido entre todos os ensaios (505 mL) em 111 h. Entre 84 e 96 horas houve um pico de produção de biogás no ensaio B+DA sem agitação, enquanto os demais já tinham sessado a produção, alcançando volumes acumulados consideravelmente inferiores. B+DA e B+DO com agitação demonstraram similaridade nas cinéticas de produção de biogás, o que nos remete às características físicas semelhantes dos substratos.

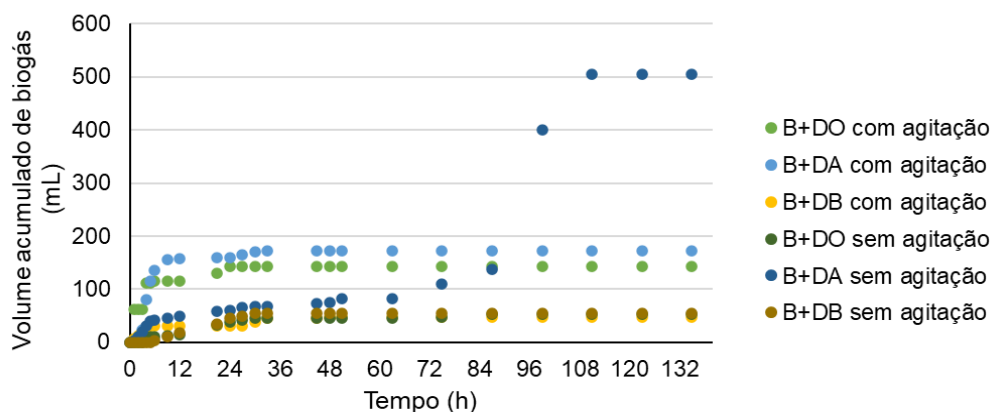


Figura 1: Cinéticas de produção de biogás a partir da codigestão do bagaço de malte com dejetos ovino (B+DO), bovino (B+DB) e de aves (B+DA), com e sem agitação. Fonte: Autora do Trabalho.

Para cada ensaio de codigestão foi realizada a caracterização física do meio antes e após o processo, obtendo-se os dados dispostos na tabela 3. De acordo com os resultados, a maior eficiência de remoção de ST e SV foi observada no ensaio B+DA sem agitação, correspondendo a 36,89% e 37,30%, respectivamente, ensaio este que também resultou no maior volume de biogás produzido. De acordo com Bouallagui et al., (2009) e Callaghan et al. (2002), a degradação da matéria orgânica está associada ao melhor desempenho na produção de biogás. Os resultados obtidos por estes autores demonstraram que a diminuição no teor de SV no digestato da DA resultou no melhor desempenho da produção de biogás, o que também foi evidenciado neste estudo.



Tabela 3. Caracterização física dos meios antes e após os ensaios de codigestão do bagaço de malte com dejetos ovino (B+DO), bovino (B+DB) e de aves (B+DA), com e sem agitação.

Fonte: Autora do trabalho.

Composição	Com agitação								
	B+DO			B+DB			B+DA		
	Inicial (g)	Final (g)	% de remoção	Inicial (g)	Final (g)	% de remoção	Inicial (g)	Final (g)	% de remoção
ST	32,13	29,40	8,50	20,28	18,28	9,86	32,07	27,52	14,19
SV	25,45	23,88	6,17	18,11	16,88	6,79	25,20	22,48	10,79
SF	6,68	5,52	17,36	2,17	1,40	35,48	6,87	5,04	26,64
Composição	Sem agitação								
	B+DO			B+DB			B+DA		
	Inicial (g)	Final (g)	% de remoção	Inicial (g)	Final (g)	% de remoção	Inicial (g)	Final (g)	% de remoção
ST	32,13	26,56	17,33	20,28	15,84	21,89	32,07	20,24	36,89
SV	25,45	24,12	5,22	18,11	14,60	19,38	25,20	15,80	37,30
SF	6,68	2,44	63,47	2,17	1,24	42,86	6,87	4,48	37,79

A composição dos meios iniciais de B+DO e B+DA são semelhantes, porém, a produção de biogás foi bem distinta, o que nos remete a evidenciar a influência de algum fator inibidor presente nos dejetos. A serragem, utilizada na acomodação dos animais, juntamente com outros componentes, como areia, pelos, penas, excesso de nutrientes, são considerados elementos não desejáveis, podendo interferir diretamente na digestão dos substratos, pois podem inibir a ocorrência de alguma das fases da DA e, também, alterar o pH do meio (UNIDO, 2020). Além disso, os tipos de microrganismos presentes no dejetos também podem influenciar no desempenho do processo.

O pH expressa a medida de acidez e alcalinidade da solução, e está diretamente ligado a atividade enzimática dos microrganismos envolvidos no processo (CHANDRA et al., 2012). Neste estudo, foi monitorado o pH do meio de digestão antes e após o cada ensaio, como mostra a tabela 4. Com isso, pode ser analisado o desempenho das fases de digestão e evidenciar alguns fatores. Nas primeiras fases da DA as bactérias acidogênicas e acetogênicas formam ácidos e álcoois em pH ácido, preferencialmente (inferior a 4,5), já as arqueas metanogênicas apresentam melhor desempenho em pH superior a 6,8 e até 7,2. Valores de pH ácidos ao final da DA permitem evidenciar a ocorrência da fase de acidogênese, o que aumenta a concentração de ácidos graxos voláteis no meio e assim inibi ou até interrompe a metanogênese, que é diretamente responsável pela quantidade e qualidade do biogás produzido (ALVAREZ; LIDÉN, 2008; BOUALLAGUI et al., 2009; CHANDRA et al., 2012).

Tabela 4. pH inicial e final dos meios de codigestão do bagaço de malte com dejetos ovino (B+DO), bovino (B+DB) e de aves (B+DA), com e sem agitação.

Fonte: Autora do trabalho.

Ensaio de codigestão	Com agitação		Sem agitação	
	pH inicial	pH final	pH inicial	pH final
B+DO	7,11	4,02	7,25	3,47
B+DB	6,95	3,67	6,92	3,19
B+DA	6,98	4,59	7,13	5,55

De acordo com os dados, podemos observar o pH inicial em todos os ensaios próximo a neutralidade (entre 6,92 e 7,25), demonstrando uma condição favorável para a codigestão. No entanto, ao final dos ensaios o pH foi reduzido a valores abaixo de 5,55, evidenciando a liberação de ácidos orgânicos como subprodutos metabólicos do processo de DA. Comparados aos ensaios B+DA, os ensaios B+DO e B+DB apresentaram pH final mais ácido, o que pode ser decorrente da acidificação do meio pela maior liberação de ácidos orgânicos, e assim justificar a menor produção de biogás.



CONCLUSÕES

A codigestão do bagaço de malte com o dejetos de aves, sem a utilização de agitação no meio, resultou no melhor desempenho para produção de biogás quando comparado aos demais ensaios, o que demonstra a oportunidade de economia em energia e manutenção com sistemas de agitação. Além disso, neste ensaio também foi observado maior percentual de remoção de SV, indicando que esta condição favoreceu a degradação do material orgânico. Para o dejetos ovino a codigestão com bagaço de malte mostrou o oposto, sendo necessário um mecanismo de agitação para homogeneizar o meio e degradar melhor os sólidos presentes. Já o dejetos bovino se mostrou menos eficiente na codigestão com bagaço para produção de biogás, tanto com como sem agitação do meio, o que nos remete ao déficit da composição do meio, pois ambos os substratos mostraram semelhança em suas características físicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abdeslahian, P.; Lim, J.S.; Ho, W.S Hashim, H.; Lee, C.T. **Potential of biogas production from farm animal waste in Malaysia**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 60, p. 714-723, 2016.
2. Alvarez, R.; Lidén, G. **Semi-continuous co-digestion of solid slaughterhouse waste, manure, and fruit and vegetable waste**. Renewable Energy, v. 33, p. 726-734, 2008.
3. Angelidaki, I., Ahring, B.K. **Thermophilic anaerobic digestion of livestock waste: the effect of ammonia**. Microbiol Biotechnol, v. 38, p. 560-564, 1993. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/BF00242955>>.
4. APHA - American Public Health Association. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20 ed. Washington, 1999.
5. Bouallagui, H.; Lahdheb, H.; Romdan, E.B.; Rachdi, B.; Hamdi, M. **Improvement of fruit and vegetable waste anaerobic digestion performance and stability with co-substrates addition**. Journal of Environmental Management, v. 90, p. 1844-1849, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.12.002>>.
6. Bres, P.; Beily, M.E.; Young, B.J.; Gasulla, J.; Butti, M.; Crespo, D.; Candal, R.; Komilis, D. **Performance of semi-continuous anaerobic co-digestion of poultry manure with fruit and vegetable waste and analysis of digestate quality: A bench scale study**. Waste Management, v. 82, p. 276-284, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.10.041>>.
7. Callaghan, F.J.; Wase, D.A.J.; Thayanithy, K.; Forster, C.F. **Continuous co-digestion of cattle slurry with fruit and vegetable wastes and chicken manure**. Biomass and Bioenergy, v. 22, p.71-77, 2002. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953401000575>>.
8. 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. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.11.035>>.
9. Cordeiro, L.G.; El-Aouar, A.A.; Gusmão, R.P. **Caracterização do bagaço de malte oriundo de cervejarias**. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 7, n. 3, p. 20-22, 2012. Disponível em: <dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7419858.pdf>.
10. EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2021 - Relatório Síntese/Ano Base 2020**. Rio de Janeiro-RJ, 2021. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2021>>.
11. Haryati, T. **Biogas: limbah peternakan yang menjadi sumber energi alternatif**. WARTAZOA, v. 16, n. 3, p. 160-169, 2006. Disponível em: <<http://medpub.litbang.pertanian.go.id/index.php/wartazoa/article/view/858/867>>.
12. Li, K.; Liu, R.; Sun, C. **Comparison of anaerobic digestion characteristics and kinetics of four livestock manures with different substrate concentration**. Bioresource Technology, v. 198, p.133-140, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.08.151>>.
13. Lohani, S.P.; Dhungana, B.; Horn, H.; Khatiwada, D. **Small-scale biogas technology and clean cooking fuel: Assessing the potential and links with SDGs in low-income countries – A case study of Nepal**. Sustainable Energy Technologies and Assessments, v. 46,101301, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101301>>.
14. Panjicko, M.; Zupancic, G.D.; Fanel, L.; Logar R.M.; Tisma, 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, v. 166, p. 519-529, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.197>>.
15. UNIDO - Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial Fundamentos da Digestão Anaeróbia de Substratos Agroindustriais/ Thiago Edwiges – UTFPR, Ricardo Muller – UNIDO|CIBiogás, Daiana Gotardo Martinez – UNIDO|CIBiogás. Agosto, 2020.