

Produção de biogás a partir de bagaço de laranja *Production of biogas from orange bagasse*

Liliana A. dos Santos¹, André F. M. S. Santos², Rebeca B. Valença¹, José F. T. Jucá¹, Carolinni R. M. Oliveira¹

¹ Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco- UFPE

² Departamento de Engenharia de Alimentos, Unidade Acadêmica de Garanhuns (UAG)-UFRPE
Todos autores contribuíram de forma igualitária

Palavras-Chave:

digestão anaeróbia
biogás
metano
biomassa
bagaço de laranja

RESUMO

Na indústria de suco, após a etapa de processamento da laranja são gerados grande quantidade de resíduos, como bagaço de laranja, que são utilizados como ração animal ou destinados a aterros sanitários, entretanto, esses resíduos podem ser utilizados como fonte de biomassa na digestão anaeróbia para produzir biogás e biofertilizante que pode ser usado no solo. Diante disso o trabalho teve como objetivo avaliar a produção e potencial de geração de biogás de resíduos de bagaço de laranja em combinação com lodo industrial. Foi avaliado o potencial bioquímico de metano (BMP) de bagaço de laranja em reatores em batelada de 250 mL em condições mesófilas durante 47 dias. Em termos de resultado o bagaço de laranja em combinação com lodo industrial apresentou potencial de geração em termos de biogás e metano de 288,0 NmL/gSSV e 85,92 NmL/SSV respectivamente. O resíduo de laranja estudado na digestão com lodos industrial pode ser utilizado na digestão anaeróbia com potencial a sua valorização e aproveitamento energético. O uso do lodo anaeróbio como inóculo na digestão dos resíduos de laranja mostrou favorecer e acelerar a formação biogás com metano de alta qualidade (acima de 54%).

Key-word

anaerobic digestion
biomass
biogas
methane
orange bagasse

ABSTRACTS

In production of juice after the processing of orange, a large quantity of orange bagasse is generated, which are discarded as tailings, they can be used as biomass source in the anaerobic digestion to produce biogas, to be used to generate energy, besides the biofertilizer which can be used in soil. The objective of this work was to evaluate the methane generation potential of orange residue waste in combination with industrial sludge. The biochemical potential of orange bagasse methane (BMP) in 250 mL batch reactors under mesophilic conditions for 47 days was evaluated. In terms of results orange pomace in combination with industrial sludge presented a biogas and methane generation potential of 288.0 NmL / gSSV and 85.92 NmL / SSV respectively. The orange residue studied in the digestion with industrial sludge can be used in anaerobic digestion with the potential for its valorization and energetic utilization. The use of anaerobic sludge as an inoculum in the digestion of orange residues has favored and accelerated the formation of biogas with high quality methane (above 54%).

Informações do artigo

Recebido: 01 Agosto, 2018

Aceito: 26 Setembro, 2018

Publicado: 30 Setembro, 2018

Introdução

No Brasil mais de 85% da produção de laranja é utilizada pela indústria, principalmente de sucos, sendo, o maior produtor e exportador de suco de laranja do mundo faturando em 2016 mais de US\$ 1,9 bilhão (SILVA, 2014). Após a extração do suco de laranja, cerca de 40 a 50 % da fruta é descartada na forma de bagaço. Esse resíduo resultante do processamento de laranja (casca, semente e polpa), pode ser prensado, desidratado e peletizado para facilitar o manuseio e transporte (CYPRIANO et al., 2017).

Esses resíduos são considerados como um problema ambiental devido à sua elevada facilidade de fermentação e biodegradabilidade. Os mesmos são descartados em aterros sanitários ou usados como alimento como ração animais. O bagaço de laranja contém vários polímeros de carboidratos solúveis e insolúveis que são a matéria-prima ideal para conversão em biocombustíveis biológicos, como etanol e biogás (TAGHIZADEH-ALISARAEI et al., 2016). Desta forma, estes resíduos de frutas (cascas, bagaços, sementes) que antes eram descartados pela agroindústria de suco, podem ser utilizados como biomassa para a produção de energia por métodos renováveis como a digestão anaeróbia.

A digestão anaeróbia é uma tecnologia atrativa para tratar esses resíduos, pois além de produzir produtos como biogás (rico em metano) que pode ser utilizado como fonte de energia direta (queima em caldeiras, motogeradores e turbinas a biogás), na produção do gás natural após sua purificação/concentração (para fins de uso como combustível veicular) ou na cogeração de energia elétrica. Outro produto de interesse obtido é o biofertilizante rico em nutrientes que pode ser utilizado na agricultura e reincorporado ao solo agrícola na própria agroindústria.

O bagaço de laranja possui particularidades composicionais que podem ser vistas como desvantagem ao processo de digestão anaeróbia tais como o pH ácido (3-4) e do alto conteúdo de material lignocelulósico.

Além disso, possui na superfície de suas cascas um óleo essencial (*D*-limoneno) que dificultam o seu tratamento em decorrência da inibição e da degradação rápida nos processos biológicos. Entretanto, sua utilização na digestão anaeróbia é viável, desde que seja utilizado um inóculo anaeróbio adequado, contribuindo de forma integral para o seu gerenciamento.

O objetivo desse trabalho foi avaliar a produção e potencial de biogás e metano do bagaço de laranja utilizando lodo industrial como inóculo na digestão anaeróbia.

Material e Métodos

Obtenção e preservação das amostras do bagaço de laranja e inóculo

O bagaço de laranja foi obtido através da extração do suco em espremedor de laranja comercial (Britânia, modelo EJ/250 W) com capacidade para 1000 mL.

O bagaço resultante foi picado de modo manual em pedaços de aproximadamente 2x2cm em seguida seco em estufa (Tecnal TE-394/3) sob de temperatura de 65° C até peso constante. O resíduo seco foi triturado em moinho de facas (SPLabor, modelo MA-340), o qual possui acoplado em seu sistema uma peneira de 2 mm (9 mesh).

A amostra depois de seca e triturada foi acondicionada em saco de polietileno 30 x 44 cm e armazenada em temperatura ambiente (28 °C).

Foi utilizado como inóculo o lodo anaeróbio granular industrial obtido de um reator UASB (*Upflow anaerobic sludge blanket*) em escala real (1000 m³) que produz biogás a partir da vinhaça, instalado na unidade de Bioenergia da Cetrel Bioenergia Ltda., localizada no município de Vitória de Santo Antão, Estado de Pernambuco.

A amostra do inóculo foi coletada em janeiro de 2017, diretamente dos pontos de amostragem de lodo mais baixos do reator anaeróbio supracitado. A amostra foi coletada em bombona de 5 L, vedada e mantida armazenada sob refrigeração a uma temperatura de 4°C.

Caracterização das amostras

As amostras de bagaço de laranja e inóculo (lodo industrial) foram caracterizados através das análises de potencial hidrogeniônico (pH), teor umidade, sólidos totais, sólidos voláteis, análise elementar (carbono, nitrogênio e relação C/N).

Na Tabela 1 apresentam-se listadas as metodologias utilizadas para cada parâmetro analisado.

Tabela 1 – Caracterização físico-química do bagaço de laranja e inóculo.

Parâmetro	Metodologia	Equipamento
pH	Potenciométrico	pHmetro Digimed DM23
Umidade, STV C, N	Who (1978) -	Estufa e mufla Analisador elementar, Carlo-Erba – Instruments, modelo EA 1110

Fonte: Autor, 2018

Ensaio do Potencial Bioquímico de Metano (Ensaio BMP)

Os ensaios de potencial bioquímico de metano (BMP) avalia a capacidade de biodegradação de substratos através da produção de biogás e metano (CH₄) sob condições ideais de pH, temperatura, umidade e sólidos voláteis (FIRMO, 2013).

Várias metodologias são utilizadas para o ensaio BMP. Neste estudo, foram utilizadas adaptações da metodologia de Firmo (2013).

Foram utilizados frascos de borossilicato de 250 mL, com tampa de Nylon rosqueada com anel de vedação em borracha. A tampa do reator é constituída de duas válvulas-agulha, sendo uma para alívio da pressão do biogás produzido (durante o ensaio) ou para a inserção de N₂ (no início do ensaio) e outra com manômetro mecânico de 1 kgf/cm² para medição da pressão do biogás produzindo no reator.

Os ensaios foram realizados em triplicatas. Em cada reator foi adicionado 5g de resíduo de bagaço de laranja seco e triturado, 50 mL de inóculo (lodo industrial) e 1 g de bicarbonato de acordo com a metodologia de Valença (2017).

As configurações experimentais estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Configurações experimentais utilizadas nos ensaios BMPs.

Configurações	Bagaço de laranja (g)	Lodo industrial (mL)
BL+LI	5,0	-
LI	-	50

Fonte: Autor, 2018

A configuração BL+LI foi realizada para avaliar, a produção de biogás do Bagaço de laranja com o lodo industrial. A configuração LI foi realizada para avaliar, a produção de biogás do inóculo bruto, sem adição de substrato (branco).

Em todos os reatores, foi mantido o headspace de aproximadamente 200 mL. Foram avaliados 6 reatores com 2 configurações. Todas as configurações foram realizadas em triplicatas.

Depois de preenchidos, nas proporções indicadas na Tabela 2, os reatores foram fechados, os manômetros retirados e foi realizada recirculado nitrogênio gasoso com as válvulas abertas por 2 minutos.

O objetivo desse procedimento é expurgar o oxigênio existente no interior do headspace do reator proporcionando condições de anaerobiose.

Após a recirculação as válvulas de saída e entrada de gás foram fechadas, os manômetros reacoplados aos reatores mantendo-se uma pressão em todos os frascos da ordem de 0,1 Kgf/cm². Em seguida,

Os reatores foram levados a uma incubadora com controle de temperatura e com agitação orbital (TECNAL TE 424). A temperatura foi ajustada em 37°C (ótimo mesofílico), sob uma agitação a 60 rpm.

O monitoramento da quantidade de biogás (volumétrica) produzida no teste de BMP, foi realizada diariamente através da leitura da pressão interna indicada pelos manômetros dos reatores.

A pressão interna foi aliviada quando a pressão no frasco reator ultrapassava valores acima de 0,5 kgf/cm² (FIRMO, 2013) e mantida em pressão de 0,2 kgf/cm². O monitoramento da pressão ocorreu por 47 dias.

O cálculo do volume de biogás foi realizado indiretamente através da medição da pressão acumulada de biogás obtida no monitoramento diário. O volume acumulado de biogás e metano foi calculado convertendo-se a diferença de pressão obtida em volume de biogás, através da metodologia de Ivanova et al. (2008).

A composição do biogás (CO₂ e CH₄) foi analisada por cromatografia gasosa utilizando um cromatógrafo a gás APPA GOLD, com detector de condutibilidade térmica (TCD), com uma coluna Porapak "N" que utiliza o H₂ como gás de arraste a uma temperatura do forno de 60°C.

As medições foram realizadas ao 15º dia de transcorrido o experimento

Antes da amostra de biogás ser injetadas foi necessário realizar a calibração do cromatógrafo pela injeção de padrão de biogás conhecido, com composição de 60 % de CH₄ e 40% de CO₂.

Assim, pode-se determinar a composição de biogás pela comparação da amostra padrão com a amostra injetada através do Sistema de Aquisição de Dados Cromatográficos N2000 Chromatostation.

As análises cromatográficas ocorreram no Laboratório do Grupo de Resíduos Sólidos (GRS) do Departamento de Engenharia Civil da UFPE. No ensaio BMP também foi quantificado o potencial de geração de biogás de cada reator por massa de sólidos voláteis (NmL/gSV). Foi obtido através da subtração do volume acumulado de biogás ou metano das configurações (substrato + inóculo) subtraindo o volume acumulado do branco do inóculo (lodo) pela massa (em grama de sólidos voláteis) do resíduo.

Resultados e Discussões

A Tabela 3 apresenta os resultados da caracterização do bagaço de laranja (BL) e inóculo (LI) em termos de pH, umidade, STV, análise elementar de carbono (C) e nitrogênio (N), relação C/N.

Tabela 3 – Caracterização de bagaço de laranja e inóculo utilizados.

Parâmetro	Bagaço de laranja	Lodo industrial
pH	4,0	7,7
Umidade	80,7	89,5
STV	95,2	76,0
C	42,0	23,6
N	1,38	2,63
Relação C/N	30,1	9,0

Fonte: Autor, 2018

O pH do bagaço de laranja (BL) foi considerado ácido, não estando na faixa ideal, favorecendo a etapa de hidrólise e acetogênese, cuja faixa adequada está entre 6,5 e 7,5 (CHERNICHARO, 1997).

O pH é de importância crucial, pois pode afetar a atividades dos microrganismos acidogênicos e metanogênicos, afetando produção de biogás (JABEEN et al., 2015).

Na literatura vários autores encontraram pH ácido variando na faixa de 3,0 a 4,0 de bagaço de laranja, MARTIN et al., 2010; SILES et al., 2016).

O pH do inóculo anaeróbio observado foi neutro, considerado adequado e dentro da faixa ideal para *Archaea* metanogênicas. Inóculos anaeróbios geralmente apresentam pH neutro (faixa de 6,6 a 8,0) (MARTIN et al., 2010; CARVALHO et al., 2017).

Em termos de umidade o bagaço de laranja apresentou teor de umidade acima de 80%, indicando elevado teor de umidade favorável para digestão anaeróbia, facilitando o contato dos microrganismos com substrato e o transporte de nutrientes.

Resultados similares foram obtidos por Siles et al. (2016) e Martin et al. (2010) que obtiveram teores de umidade de 79,83%.

O lodo anaeróbio utilizado como inóculo apresentou um teor de umidade de 89,5%, indicando alta umidade.

O percentual de sólidos totais voláteis obtido para o bagaço de laranja (BL) foi elevado, indicado bastante matéria orgânica para ser degradada pelos microrganismos da digestão anaeróbia.

Calabró et al. (2015) encontraram valores semelhantes para os sólidos totais voláteis de bagaço de laranja de 95,8%.

Os sólidos totais voláteis do inóculo LI foi de 75,9% inferior ao bagaço de laranja.

Alguns autores relatam que é comum lodo anaeróbio apresentar teor de sólidos voláteis inferiores a substratos orgânicos, uma vez que já passaram por algum processo de tratamento (FIRMO, 2013; VALENÇA, 2017).

Os valores de carbono e nitrogênio do bagaço de laranja e inóculo foram próximos do encontrado na literatura. Martin et al. (2010) encontraram valores similares de carbono e nitrogênio de 40,6% e 1,2%, respectivamente, para bagaço de laranja.

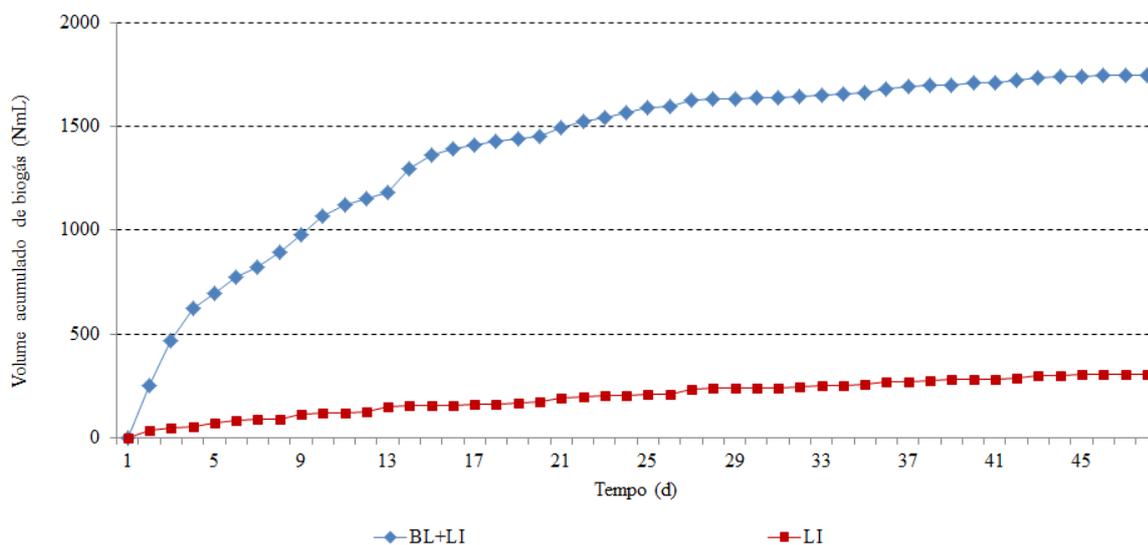
Observou-se que o bagaço de laranja apresentou relação C/N de 30,1, dentro da faixa desejável que pode variar de 20 a 30 para resíduos de frutas (MARTIN et al., 2010; SILES et al., 2016).

Enquanto que os inóculo LI apresentou baixa relação C/N, situando-se dentro da faixa típica para inóculos, que pode variar entre 5,0 a 11,0 (CARVALHO et al., 2017).

Em termos de produção de biogás e metano, considerando o valor médio das configurações experimentais utilizadas no Ensaio (triplicatas) para avaliar o potencial

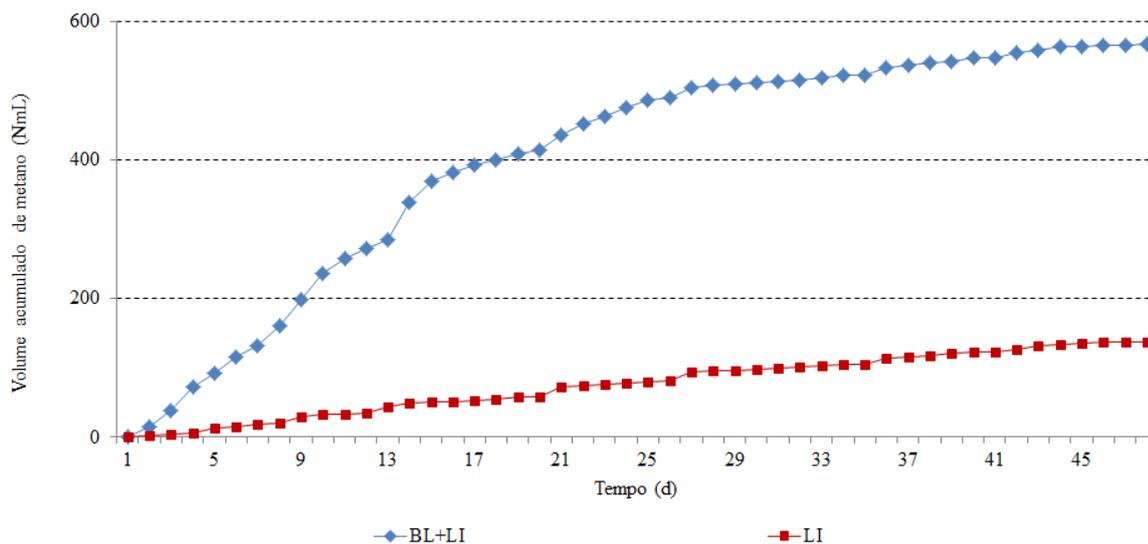
bioquímico de metano (BMP), a configuração BL+LI apresentou volume acumulado de biogás e metano de 1748,0 NmL e 566,11NmL, respectivamente. Já o inóculo sozinho sem adição do bagaço de laranja apresentou volume acumulado de biogás e metano de 308,0 NmL e 136,51 NmL (Figura 1 e 2), respectivamente.

Figura 1- Volume acumulado de biogás (NmL) de Bagaço de laranja e inóculo



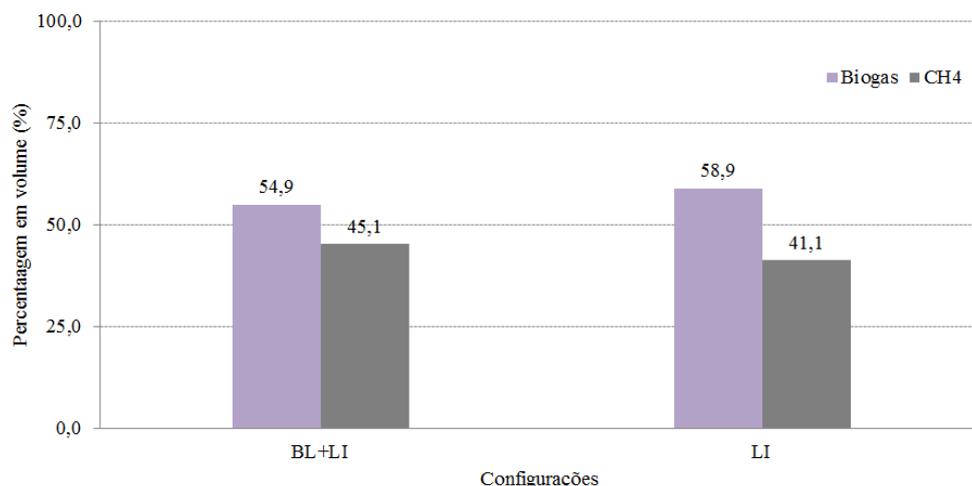
Fonte: Autor (2018)

Figura 2 - Volume acumulado de metano (NmL) das configurações testadas com Bagaço de laranja e inóculo



Fonte: Autor (2018)

Figura 3 - Percentagem máxima de metano, em volume, observada em cada configuração de bagaço de laranja e inóculo



Fonte: Autor (2018)

Pode-se observar que nas curvas médias (triplicatas para cada condição experimental) que, para todas as configurações experimentais, em torno do 30º dia de transcorrido o experimento mais de 80% do total de biogás já havia sido produzido (Figura 1).

Em termos de potencial de geração de biogás e metano a combinação BL + LI apresentou potencial de geração com 288,0 Nml/gSSV de biogás e 85,9 Nml/gSSV de metano. Em termos de geração de metano o inóculo LI utilizado na digestão com o bagaço de laranja foi eficiente na degradação anaeróbia.

Martin et al. (2010) encontraram potencial de metano superior de 230 NmL/gSV utilizando casca de laranja pré-tratada com adição de lodo industrial em condições mesófilicas. Carvalho et al. (2017) nos estudos realizados com casca de laranja pré-tratada com adição de lodo de esgoto obtiveram potencial de biogás e metano de 478 Nml/gSSV e 301 Nml/gSSV, respectivamente em condições mesófilicas.

Em termos de percentagem de volume de metano de acordo com a Figura 3, observou-se que a configuração BL + LI apresentou percentagem em volume de metano 54,9% na amostra de biogás. Ruiz e Flotats (2016) trabalharam com reatores em batelada com resíduos de laranja em combinação com esterco bovino em temperatura mesófila obtiveram percentagem de metano inferior variando de 40 a 42,8%. O inóculo sozinho LI obteve uma percentagem superior de 58,9% indicando que esse inóculo pode ser utilizado em combinação com outros resíduos na digestão anaeróbia.

Conclusão

O bagaço de laranja apresentou pH ácido, elevado teor de umidade e sólidos voláteis, disponibilidade de nutrientes (C, N) e relação C/N dentro da faixa recomendada.

O lodo industrial apresentou pH neutro, teor de umidade e sólidos voláteis elevados, baixa disponibilidade de nutrientes e relação C/N baixa,

A digestão do bagaço de laranja com lodo industrial foi eficiente em termos de produção, potencial de geração e percentagem de metano.

Agradecimentos

Agradecimentos a:



Referências

- CALABRÒ, P. S.; PONTONI, L.; PORQUEDDU, I.; GRECO, R.; PIROZZI, F.; MALPEI, F. **Effect of the concentration of essential oil on orange peel waste biomethanization: Preliminary batch results.** Waste Management, Oxford, v. 48, p. 440-447, 2015.
- CARVALHO, A.; R. FRAGOSO, R.; J. GOMINHO, J.; E. DUARTE, E.; Effect of Minimizing d-Limonene Compound on Anaerobic Codigestion Feeding Mixtures to Improve Methane Yield. Waste Biomass Valor, p. 1-9, 2017.
- CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 1997.
- CYPRIANO, D. Z.; DA SILVA, L. L.; MARIÑO, M. A.; TASIC, L. A. **Biomassa da Laranja e seus Subprodutos.** Revista Virtual Química, v. 9, n. 1, p. 176-191, 2017.
- FIRMO, A. L. B. **Estudo numérico e experimental da geração de biogás a partir da biodegradação de resíduos sólidos urbanos.** Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Pernambuco, 2013.

JABEEN, M.; YOUSAF, S.; HAIDER M. R.; MALIK, R. N. **High-solids anaerobic codigestion of food waste and rice husk at different organic loading rates.** *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 102, p. 149–153, 2015.

MARTÍN, M. A.; SILES, J. A.; CHICA, A.F.; MARTÍN, A. **Biomethanization of orange peel waste.** *Bioresource Technology*, Essex, v. 101, p. 8993–8999, 2010.

RUIZ, B.; FLOTATS, X. **Effect of limonene on batch anaerobic digestion of citrus peel waste.** *Journal Biochemical Engineering*, v. 109, p. 9-18, 2016.

SILES, J. A.; VARGAS, F.; GUTIÉRREZ, M.C.; CHICA, A. F.; MARTÍN, M. A. **Integral valorisation of waste orange peel using combustion, biomethanisation and co-composting technologies.** *Bioresource Technology*, Essex, v. 211, p. 173-182, 2016.

SILVA, C. E. F. **Avaliação do potencial de uso de resíduos do processamento de frutas na produção de etanol 2G.** 2014. 101 f. Dissertação (Mestrado Engenharia Química) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió.

TAGHIZADEH-ALISARAEIA, A.; HOSSEINIA, S. H.; GHOBADIANB, B.; MOTEVALIC, A. **Biofuel production from citrus wastes: A feasibility study in Iran.** *Renewable and Sustainable Energy*, v. 69, p. 1100-1112, 2017.

VALENÇA, R. B. **Avaliação da geração de biometano em diferentes cenários de biodegradação de resíduos alimentares.** 2017. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2017.

WHO – **International Reference Center for Waste Disposal.** *Methods of Analysis of sewage sludge solid wastes and compost.* Switzerland, 1979.