

AVALIAÇÃO DA BIODEGRADABILIDADE ANAERÓBIA DE EFLUENTE DE ACEROLA VERDE

Andreza Carla Lopes André¹; Rodrigo Torres Silva²; Kessia Caroline Dantas da Silva³; Paula Tereza de Souza e Silva⁵; Miriam Cleide Cavalcante de Amorim^{1,4}

Autor para correspondência: andreza_carlalopes@hotmail.com

¹Graduanda em Engenharia Agrícola e Ambiental, UNIVASF, Juazeiro-BA; Bolsista PET Saneamento.;

²Graduando em Engenharia Agrícola e Ambiental, UNIVASF, Juazeiro-BA; Bolsista PET Saneamento.;

³Graduanda em Engenharia Agrícola e Ambiental, UNIVASF, Juazeiro-BA; ⁴Prof. do Colegiado de Engenharia Agrícola e Ambiental, UNIVASF, Juazeiro-BA. ; ⁵Pesquisadora da EMBRAPA Semiárido, Petrolina-PE

RESUMO

A agroindústria aceroleira gera efluentes com elevada carga orgânica, portanto, um poluidor em potencial. O objetivo deste estudo é avaliar a biodegradabilidade anaeróbia desse efluente em termos da demanda química de oxigênio e produção de metano. Os ensaios de biodegradabilidade tiveram duração de 288h e foram realizados por meio de frascos reatores utilizando tratamentos com diferentes concentrações de DQO (T1=4g O₂.L⁻¹, T2=8g O₂.L⁻¹ e T3=12g O₂.L⁻¹) e lodo anaeróbio (5 g.L⁻¹). Foram realizadas análises de demanda química de oxigênio, ácidos graxos voláteis, pH e alcalinidade. Conclui-se que nenhum dos tratamentos apresentou capacidade de tamponamento, devendo portanto haver correções constantes de pH. No entanto, todos os tratamentos proporcionaram significativas remoções de DQO, T1 e T2 apresentaram as maiores remoções (89 e 90%, respectivamente) às 192h. Houve relação entre concentração de demanda química de oxigênio aplicada e condições ambientais, onde quanto maior a DQO, mais inadequadas tornaram-se as condições ambientais. Embora tenha apresentado a menor produção de metano às 288h, T1 obteve maior rendimento de metano (42,5%). A avaliação da biodegradabilidade mostrou que o efluente estudado apresentou significativa degradabilidade anaeróbia principalmente para a remoção de carga orgânica.

PALAVRAS-CHAVE: biodigestão; carga orgânica; metanogênica

INTRODUÇÃO

A aceroleira (*Malpighia emarginata* D.C.) é responsável pela produção de frutos ricos em ácido ascórbico (vitamina C) e compostos com ação antioxidante (antocianinas e caratenóides) que segundo dados da EMBRAPA (2012) a depender da variedade o teor de ácido ascórbico pode chegar até 5.000mg.100g⁻¹ de polpa – teor 100 vezes superior ao da laranja e 10 vezes superior ao da goiaba –, características que atraem fruticultores que visam a comercialização do produto.

O efluente oriundo do processamento de acerola apresenta elevada carga orgânica e, por consequência grande potencial poluidor quando disposto no meio ambiente sem um tratamento prévio. Em virtude disso, de acordo com Jerônimo (2012), a aplicação de um tratamento biológico pode ser uma alternativa viável e eficaz, proporcionando também um reaproveitamento energético.

São diversas as vantagens apresentadas por Weber (2006) sobre processos biológicos anaeróbios em comparação aos aeróbios tais como a baixa produção de lodo, menor utilização de energia, além da possibilidade de ser aplicado em locais que não possuem grande disponibilidade de espaço e a geração de metano, fonte de energia renovável.

Na literatura são apresentados diversos métodos para determinação da biodegradabilidade de diversos efluentes (BERTOLINO et al., 2008; AMORIM et al., 2013), sendo segundo Amaral et al. (2008) baseados no monitoramento da formação de um ou mais produtos envolvidos na reação biológica, a exemplo de teses que se baseiam na medição da produção acumulada de metano ou no monitoramento da depleção do substrato.

Há ainda, um conjunto de parâmetros ambientais importantes para auxiliar a avaliação do processo de digestão anaeróbia, tais como potencial hidrogeniônico (pH), ácidos graxos voláteis (AGVs) e alcalinidade total (AT) (CHERNICHARO, 2007). Para Costa (2009), esses parâmetros interagem, pois a alcalinidade do sistema reflete sua capacidade em neutralizar ácidos e tamponar o sistema quando houver acúmulo de AGV's devido a algum distúrbio, sendo estas, portanto, variáveis que determinam as condições de estabilidade do processo de degradação anaeróbia.

OBJETIVOS DO TRABALHO

Avaliar a biodegradabilidade anaeróbia do efluente produzido no processamento da acerola verde, em termos da remoção de demanda química de oxigênio e da produção de metano, avaliando a estabilidade do processo por meio de análises dos parâmetros de pH e relação AGV/AT.

MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida utilizando efluente do processamento de acerola verde proveniente da NIAGRO (Nichirei do Brasil Agrícola Ltda, agroindústria localizada no distrito industrial de Petrolina-PE) e como inóculo lodo anaeróbio de reator UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) tratando esgotos domésticos na Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) em Petrolina-PE.

O ensaio da biodegradabilidade anaeróbia foi conduzido conforme metodologia dos frascos sacrifício de Amorim et al. (2013) que consiste em sacrificar um conjunto de triplicatas para análises do efluente no decorrer do tempo de degradação. Foram avaliadas três concentrações de DQO ($T_1=4 \text{ g O}_2 \cdot \text{L}^{-1}$, $T_2=8 \text{ g O}_2 \cdot \text{L}^{-1}$ e $T_3=12 \text{ g O}_2 \cdot \text{L}^{-1}$), sendo tais valores estabelecidos visando obter dados para aplicação em escala real. A concentração do lodo foi de $5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ (BERTOLINO et al., 2008) e a suplementação nutricional foi feita de acordo com Florêncio (1994). Os ensaios tiveram um tempo de degradação de 288h, com os três tratamentos em triplicata onde eram analisadas e sacrificadas a cada 48 horas (Figura 1), totalizando 81 frascos reatores com volume útil de 0,092 L e mantendo um headspace de 0,026 L conforme recomendado por Aquino et al. (2007).

Figura 1: Esquema da representação dos frascos e suas respectivas identificações.



O pH em todos os tratamentos foi aferido para verificar se este estava próximo à neutralidade, condição ideal para as bactérias constituintes do lodo (CHERNICHARO, 2007). Em seguida os frascos foram vedados com tampas de borracha e lacres de alumínio com o auxílio de um alicate recravador. Na tampa de borracha foi inserida uma agulha acoplada a uma seringa de 10 mL para a coleta do biogás. Os frascos foram incubados em estufa a aproximadamente $30 \pm 2^\circ\text{C}$, temperatura ideal para as bactérias constituintes do lodo (CHERNICHARO, 2007).

Análises de demanda química de oxigênio (DQO), pH, alcalinidade total (AT) e ácidos graxos voláteis (AGV) foram realizadas no dia da montagem do experimento (dia zero), às 24h, 48h, e após esse período realizadas a cada 48 horas até 288h.

Um conjunto de triplicata foi destinado ao branco e à análise da composição do biogás, sendo aos frascos reatores acopladas duas seringas conectadas por duas válvulas de três vias que permitiam a realização das coletas do biogás (Figura 2), as quais foram realizadas a cada 48 horas sendo inseridas em frascos coletores de gás com borracha nitrílica, enviados ao Laboratório de Química Ambiental da EMBRAPA Semiárido, onde foi analisada a composição por meio de um cromatógrafo gasoso da marca agilent modelo 7890A com detector do tipo FID equipado com metanador. A coluna utilizada foi a agilent Hayesep Q80/100, como gás de arraste foi utilizado o N_2 num fluxo de 25 mL min^{-1} , o tempo de corrida foi de 11 minutos e a temperatura do detector e do forno foram 300°C e 60°C , respectivamente. Para os cálculos das concentrações de dióxido de carbono e metano foram construídas duas curvas de calibração, uma para o CO_2 (250, 500 e 1000 ppm) e outra para o CH_4 (0,5, 1 e 3 ppm).

Figura 2: Frascos destinados à análise da composição do biogás.



O metano produzido durante o experimento (V_{CH_4}) foi quantificado sendo calculado o rendimento (RCH_4) em relação ao metano teórico (VT_{CH_4}) segundo Metcalf; Eddy (2003) para uma remoção teórica de 60% de DQO correspondente à DQO removida convertida em metano, à 30 °C e 1 atm.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

- **Relação AGV/AT e pH**

No início da operação (0h) todos os tratamentos apresentaram relação AGV/AT adequada, ou seja, inferior a 0,3 (CHERNICHARO, 2007). Com exceção de T_1 às 24h, todos os tratamentos a partir desse período apresentaram valores elevados da relação, onde a concentração de ácidos superou a alcalinidade, fato que, segundo Chernicharo (2007) sugere condição instável do sistema a partir desse ponto e incapacidade de neutralização dos ácidos.

O T_3 foi o que apresentou maior valor da relação AGV/AT em todas análises, devido à elevada acumulação de ácidos e a baixa capacidade de tamponamento do sistema, fatos decorrentes da aplicação de uma carga orgânica maior nesse tratamento. Em virtude da alta relação, o pH desse tratamento foi o mais baixo em todos os momentos. Já T_1 apresentou menores valores da relação AGV/AT, indicando melhor capacidade de tamponamento em relação aos outros tratamentos, fato que pôde ser comprovado pela baixa variação de pH para esse tratamento em relação aos demais, se mantendo em todos os momentos acima de 6,2. Além disso, os resultados obtidos para a relação em todos os tratamentos se relacionam diretamente com a DQO aplicada em cada tratamento, onde, tratamentos com maior concentração de DQO, a relação AGV/AT também foram as maiores ao longo do tempo, resultados que implicaram em variações no pH e instabilidade do processo de degradação anaeróbia.

- **Matéria Orgânica Removida**

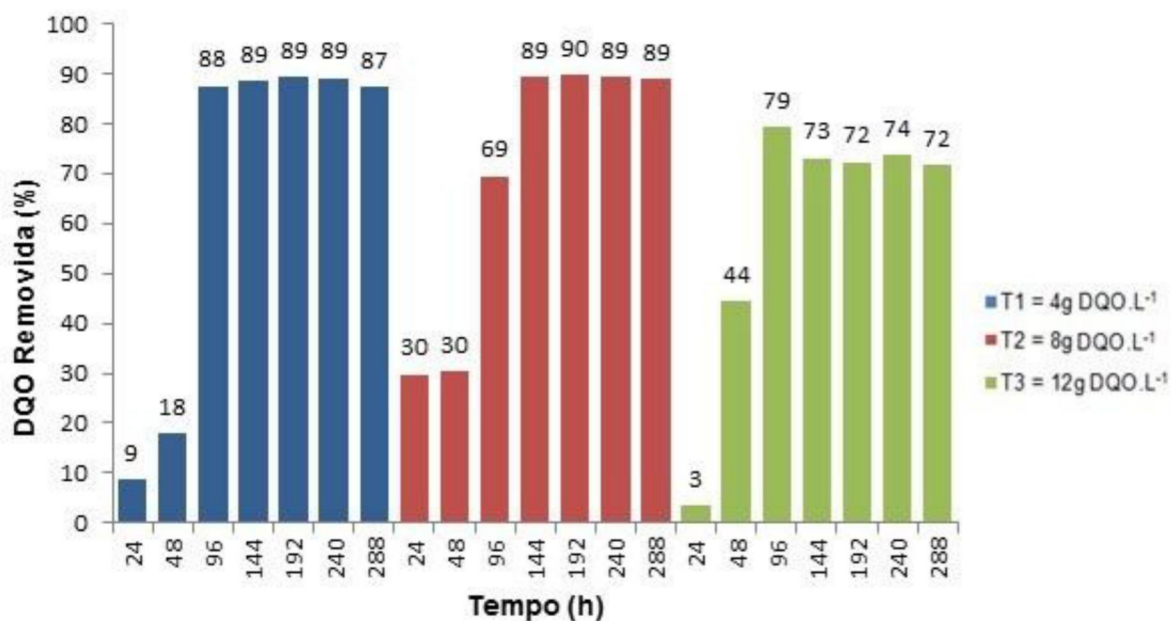
A Figura 3 apresenta os percentuais de remoção da matéria orgânica em relação ao dia zero, no decorrer do ensaio. Observa-se que não houve diferença entre T_1 e T_2 , ambos apresentaram redução progressiva da DQO até 192h, de 89% e 90%, respectivamente. Os resultados encontrados corroboram com outros estudos com efluentes agroindustriais. Amorim et al. (2014) em pesquisa semelhante com manipueira (DQO de 4 g $O_2.L^{-1}$) utilizando lodo anaeróbio como inóculo (4 g L^{-1}) obteve 89% de eficiência de remoção da DQO. Já Barros (2017) em regime de batelada na partida de reator UASB utilizando efluente da agroindústria aceroleira (3 g L^{-1}), obteve remoções de DQO entre 70 e 90%.

No entanto, o T_1 apresentou as melhores condições ambientais, isso leva a crer que toda a matéria orgânica presente pode ter sido totalmente estabilizada até 192h, restando apenas a fração inorgânica, pois após esse período a remoção da DQO se manteve constante. Além disso, como não houve diferença em termos de remoção da DQO entre os tratamentos, a matéria orgânica presente em T_2 também pode ter sido totalmente estabilizada até às 192h, apesar das condições ambientais desse tratamento não serem adequadas, apresentando valores elevados da relação AGV/AT (2,83) e pH mais ácido (5,17), condições que de acordo com Chernicharo (2007) provocam a instabilidade do processo de degradação anaeróbica em virtude de um desequilíbrio entre as populações bacterianas envolvidas no processo.

Já no T₃, a remoção da DQO foi progressiva até 96h (79%), e a partir desse momento a remoção diminuiu, fato que pode ser explicado pelas condições ambientais adversas desse tratamento – que apresentou alta relação AGV/AT (4,07) e pH abaixo de 5 – e pela maior concentração de DQO aplicada (12 g O₂.L⁻¹).

Observa-se que as maiores taxas de remoção da DQO se deram em torno de 192h para T₁ e T₂, o que indica que a biodegradabilidade em sistema piloto pode ser trabalhada com um tempo de detenção hidráulica próximo a isso. Além disso, todos os tratamentos apresentaram remoções da matéria orgânica acima de 65%, isso demonstra que o efluente tem potencial para ser tratado biologicamente, e se forem fornecidas condições ambientais adequadas para os microrganismos degradadores os resultados obtidos para todos os tratamentos podem ser ainda mais expressivos.

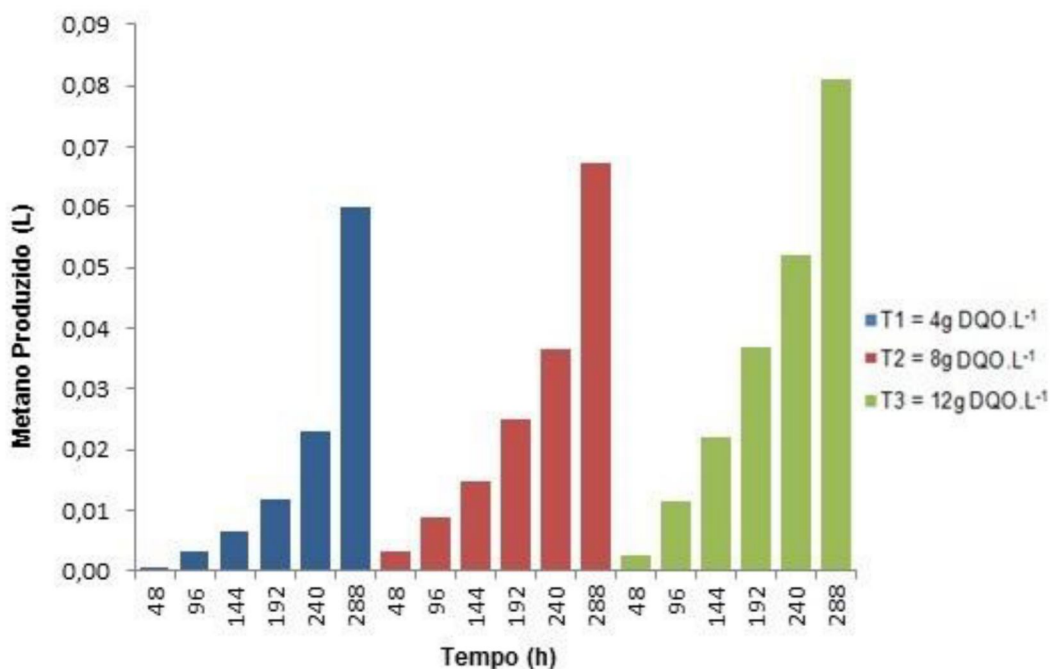
Figura 3: Percentual de remoção da DQO ao longo do tempo de degradação.



- **Produção de Metano e Rendimento**

A figura 4 mostra a produção acumulada de metano dos tratamentos ao longo do tempo. Todos os tratamentos atingiram as maiores produções de metano às 288h, onde T₁ produziu 0,060 L, T₂ 0,067 L e T₃ 0,081 L. Os volumes nos tratamentos foram tanto maiores quanto maiores as concentrações de DQO e corroborando com os percentuais de remoções de DQO. Percebe-se, portanto, que houve uma relação entre a concentração de DQO do efluente aplicada e o volume de metano produzido, onde quanto maior a carga orgânica aplicada, maior a produção de metano.

Figura 4: Produção de metano para todos os tratamentos ao longo do tempo.



Embora T_1 tenha apresentado a menor produção de metano em relação aos demais tratamentos, apresentou o maior rendimento de metano em relação ao metano teórico (42,5%) às 288h (Tabela 1). Isto pode ter ocorrido devido as menores concentrações de AGV do efluente nesse tratamento (2,06), bem como a menor relação AGV/AT (0,96) em relação aos demais tratamentos.

Tabela 1: Rendimento de metano em relação ao metano teórico.

Tratamento	V_{CH_4} (L)	R_{CH_4} (%)
T_1	0,060	42,5
T_2	0,067	29,8
T_3	0,081	25,7

V_{CH_4} : Volume de metano efetivamente medido; R_{CH_4} : Rendimento de metano em relação ao metano teórico;

CONCLUSÃO

Conclui-se que todos os tratamentos demonstraram potencial para a biodegradação com resultados satisfatórios para a remoção de matéria orgânica, com T_1 e T_2 apresentando as melhores remoções em torno de 192h.

A avaliação dos parâmetros ambientais mostrou durante o teste que nenhum dos tratamentos ofereceu capacidade de tamponamento ao sistema, indicando que em reatores anaeróbios deve haver correção constante de pH com a adição de alcalinizantes.

Dentre os tratamentos, T_1 apresentou o maior rendimento de metano (42,5%) às 288h. Esse é um valor considerado baixo quando se leva em consideração a possibilidade de aproveitamento do biogás. Por fim, a avaliação da biodegradabilidade mostrou que o efluente do processamento da acerola verde apresentou significativa degradabilidade anaeróbia principalmente para a remoção de carga orgânica.

REFERÊNCIAS

AMARAL, M. C. S.; FERREIRA, C. F. A.; LANGE, L. C.; AQUINO, S. F. **Avaliação da Biodegradabilidade Anaeróbia de lixiviados de Aterro Sanitários**. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 13, n.1, p. 38-45, 2008.

AMORIM, M. C. C.; SILVA, P. T de S.; GAVAZZA, S.; NUNES, A. C. D.; SANTOS, P. T. T.; MOTTA SOBRINHO, M. A. **Sewage Sludge, Goat Rumen and Cattle Rumen as Inoculum for the Anaerobic Degradation of Manipueira**. XI Simposio Latinoamericano de Digestión Anaerobia Havana, Cuba, 25 a 28 Nov., 2014.

AMORIM, S. M; KATO, M. T; FLORENCIO, L.; GAVAZZA, S. **Influence of Redox Mediators and Electron Donors on the Anaerobic Removal of Color and Chemical Oxygen Demand from Textile Effluent.** Clean – Soil, air, water. V.41, pg 928-933, 2013.

AQUINO, S.; CHERNICHARO, C. A. L.; FORESTI, E.; SANTOS, M. L. F.; MONTEGGIA, L. O. **Metodologias para determinação da Atividade Metanogênica Específica (AME) em lodos anaeróbios.** Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 12, n. 2, p.192-201, 2007.

BARROS, E. S. C. **Remoção de carga orgânica do efluente da agroindústria de acerola (*Malpighia Emarginata D.C.*) em reator UASB.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental) – Universidade Federal do Vale do São Francisco. Juazeiro–BA, 2017.

BERTOLINO S. M.; CARVALHO, C. F.; AQUINO, S.F. **Caracterização e Biodegradabilidade aeróbia e anaeróbia dos esgotos produzidos em campus universitário.** Engenharia Sanitária e Ambiental, vol. 13, nº 3, 271-277, 2008.

CHERNICHARO, C. A. L. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias: Reatores Anaeróbios.** 2. Ed. Vol. 5. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 2007.

COSTA, E. S. **Proposta de protocolo para projeto de engenharia ambiental de reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo.** Dissertação - Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, ministério da agricultura e do abastecimento. **A Cultura da Acerola.** Brasília–DF. 3ª edição, 2012.

FLORÊNCIO, L. **The fate of metanol in anaerobic bioreactors.** PhD thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands, 1994.

JERÔNIMO, C. E. M. **Gestão Agroindustrial: Pontos Críticos de Controle Ambiental no Beneficiamento de Frutas.** Revista de Administração de Roraima – RARR, Ed. 2, Vol. 2, p. 70–77, 2012.

METCALF; EDDY. **Wastewater engineering: treatment and reuse.** 4 ed. New York: McGraw-Hill, p. 1771, 2003.

WEBER, M. I. **Avaliação da eficiência de um reator anaeróbio de leito fluidizado para tratamento de resíduos líquidos da indústria de refrigerantes.** Dissertação (Mestrado) em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, da Universidade Federal do Paraná. p. 166, 2006.