

## **II-1379 - CODIGESTÃO ANAERÓBIA DE VINHAÇA E LODO DE ESGOTO SANITÁRIO: ESTUDOS PRELIMINARES**

**Clarissa da Silva Moura<sup>(1)</sup>**

Graduanda em Engenharia de Bioprocessos pela Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Santa Cruz, 141 - Araçariguama - SP - CEP: 18147-000 - Brasil - Tel: (11) 99122-4091 - e-mail: [clarismoura@eq.ufrj.br](mailto:clarismoura@eq.ufrj.br)

**Isabelli Dias Bassin<sup>(2)</sup>**

Engenheira Química, D.Sc. em Engenharia Química (PEQ/COPPE/UFRJ)

**Endereço<sup>(2)</sup>:** Escola de Química – Universidade Federal do Rio de Janeiro (EQ/UFRJ). Av. Athos da Silveira Ramos, 149 - Cidade Universitária da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - RJ, 21941-909 - e-mail: [isabelli@eq.ufrj.br](mailto:isabelli@eq.ufrj.br)

**Ronei de Almeida<sup>(3)</sup>**

Engenheiro Químico, D.Sc. em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos (EPQB/ EQ/ UFRJ)

**Endereço<sup>(3)</sup>:** Rua São Francisco Xavier nº 524 - Maracanã, 4º andar – Sala 5008 – Faculdade de Engenharia – Universidade do Estado do Rio de Janeiro (DESMA/FEN/UERJ), Rio de Janeiro, RJ, CEP: 20550-013 e-mail: [rnyalmeida@gmail.com](mailto:rnyalmeida@gmail.com).

### **RESUMO**

O despejo, no meio ambiente, da vinhaça de etanol – subproduto da destilação do mosto da fermentação da cana-de-açúcar – tem um elevado potencial poluidor devido à sua elevada carga orgânica. Da mesma forma, o lodo – resíduo sólido gerado no tratamento de águas residuárias – é uma problemática ambiental, devido à quantidade gerada nas estações de tratamento, associada ao crescimento urbano e expansão do saneamento básico. A vinhaça apresenta potencial para aproveitamento energético. Complementarmente, o lodo é uma matéria-prima comumente utilizada como co-substrato em processos de biodegradação anaeróbia visando a produção de biogás. Portanto, o presente trabalho avaliou a codigestão da vinhaça e do lodo de esgoto, em diferentes proporções, para determinar o potencial de geração de biometano a partir dessas matérias-primas. A produção de biometano foi monitorada durante 30 dias de operação em sistema fechado com temperatura controlada em 35°C. A relação substrato/inóculo aplicada foi 1:1 (v:v) e as proporções de vinhaça:lodo foram 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 e 0:100 %v/v. Para todos os sistemas foi avaliado a remoção de carga orgânica e de sólidos além da produção de biometano. O sistema formado por 75:25 vinhaça:lodo (v:v) apresentou a maior remoção de DQO e ST – 65% e 21%, respectivamente, com produção acumulada de metano de 1.446,65 mL. Além disso, em termos de produção específica de biometano – volume de gás por massa de DQO removida, essa condição apresentou o maior resultado, atingindo 56,8 mL/g. Em suma, nas condições estudadas e substratos utilizados, a adição de 25% de lodo de esgoto na digestão da vinhaça aumentou a produção específica de biometano, sugerindo estudos mais aprofundados dos mecanismos que podem ter levado a esse aumento, assim como indica uma melhora na condição de produção nesta proporção.

**PALAVRAS-CHAVE:** Codigestão anaeróbia, Vinhaça, Lodo de esgoto, Biometano, BMP.

### **INTRODUÇÃO**

A vinhaça de etanol é um subproduto da destilação do mosto da fermentação da cana-de-açúcar, sendo que, para cada litro de etanol produzido são gerados de 10 a 15 litros de vinhaça. Como a vinhaça têm baixo pH e alta demanda bioquímica de oxigênio (DBO), seu despejo no meio ambiente tem um elevado potencial poluidor (Carrilho et al., 2016; Chowdhary et al., 2018).

O lodo é um resíduo sólido gerado no tratamento de águas residuárias, tais como, efluentes industriais e esgotos sanitários. Devido à grande quantidade produzida e seu potencial poluidor, tem se tornado um problema ambiental (Zhao, 2010). O lodo é um substrato rico em proteínas, caracterizado por uma relação carbono/nitrogênio relativamente baixa (entre 2 e 3), alta capacidade de tamponamento e substancial conteúdo orgânico biodegradável. Em função destas características, o lodo é comumente utilizado como co-substrato em processos de biodegradação anaeróbia da matéria orgânica visando a produção de biogás (Volshan et al., 2021; Tyagi et al., 2018).

A digestão anaeróbia é um processo bioquímico complexo, composto por reações sequenciais, cada uma com sua população bacteriana específica. A conversão de matéria orgânica pode ser compreendida como um processo em quatro etapas: Hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. O ambiente bioquímico tem efeito direto sobre a ecologia da população microbiana.

Desta forma, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito da codigestão da vinhaça com o lodo de esgoto na produção de biometano em condições controladas de pH e temperatura. Os objetivos específicos foram realizar caracterização química do lodo de esgoto sanitário (LAS) e da vinhaça de cana-de-açúcar, analisar parâmetros físico-químicos no início e no final da fermentação, medir a produção de biometano em sistemas com diferentes proporções %v/v de lodo aeróbio e vinhaça.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Amostras de vinhaça foram coletadas no bioparque Costa Pinto localizado na cidade de Piracicaba, no Estado de São Paulo (22°38'5"S, 47°41'9"W). As amostras de lodo aeróbio foram provenientes de uma estação de tratamento de esgoto sanitário da cidade do Rio de Janeiro. O inóculo foi obtido em uma indústria de bebidas. As matérias primas e o inóculo foram caracterizados e mantidos à temperatura de 4°C antes dos experimentos.

O processo de codigestão anaeróbia foi monitorado por 30 dias utilizando-se o equipamento *Gas Endeavour*, um sistema analítico para medições on-line de baixos fluxos de gás, que monitora o volume de gás produzido durante a digestão anaeróbia (*BPC Instruments*). Os experimentos foram conduzidos a uma temperatura de 35°C em biorreatores com volume útil de 400mL. Utilizou-se uma relação substrato/inóculo de 1:1, variando a proporção das matérias-primas (100:0, 75:25, 50:50, 25:75 e 0:100 vinhaça:lodo (v:v)). O pH foi ajustado inicialmente para 7,5 utilizando solução de NaHCO<sub>3</sub> 1 M.

Análises de Demanda Química de Oxigênio (DQO), Sólidos Totais (ST) e pH foram realizadas no início e final dos experimentos e a produção específica de biometano foi calculada de acordo com a equação 1:

$$Pe = \frac{V_b}{M_{DQO}}$$

Equação 1. Cálculo da produção específica

Onde,

$Pe$  Produção específica [mL/g]

$V_b$  Volume de biometano acumulado [mL]

$M_{DQO}$  Massa de DQO removida [g]

Na Figura 1 é apresentado um fluxograma com as etapas da metodologia do presente estudo.

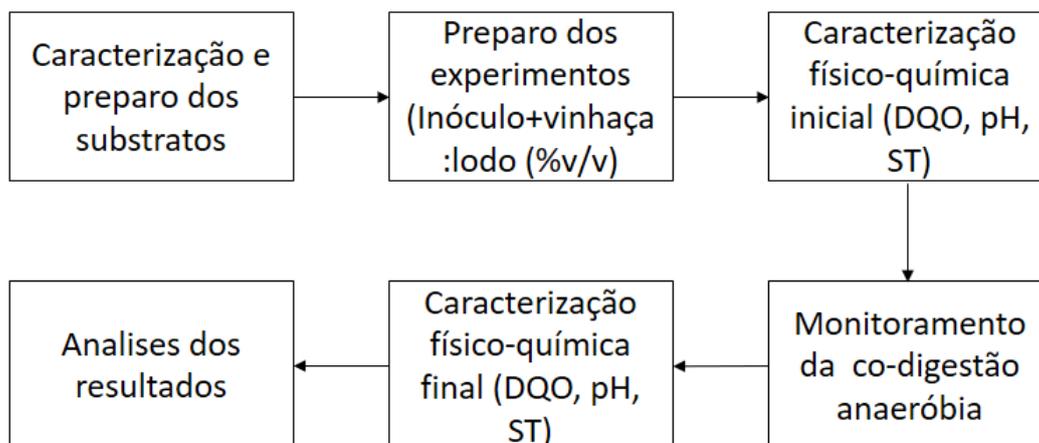


Figura 1. Fluxograma do experimento de codigestão anaeróbia da vinhaça e lodo de esgoto.

## RESULTADOS

A caracterização em termo de pH, DQO e sólidos totais do inóculo e das matérias primar está sumarizada na tabela 1.

Matérias Primas	pH	DQO [g/L]	Sólidos Totais [g/L]
Inóculo	7,6	166,8	42,1
Lodo aeróbio	7,1	8,4	9,0
Vinhaça	7,0	37,1	38,3

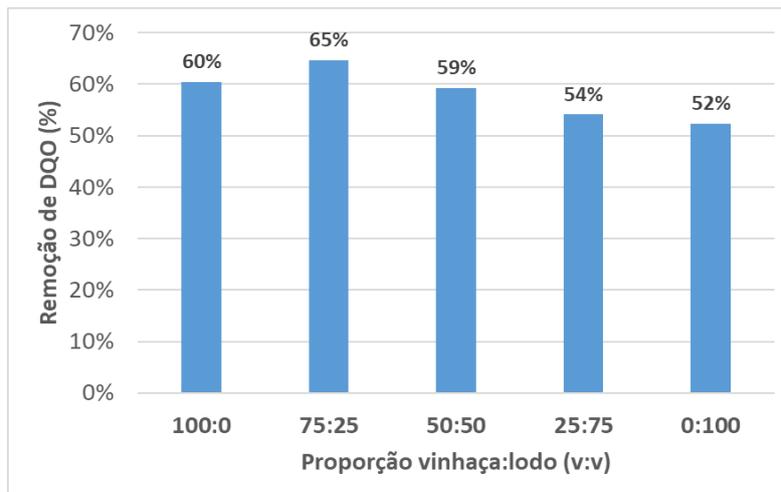
Tabela 1. Caracterização do inóculo e dos substratos

Na tabela 2, estão os resultados da análise de DQO inicial – antes da batelada – e final – após a batelada de codigestão – para cada sistema estudado.

Proporção dos substratos	DQO [g/L]	
	Inicial	Final
100% Vinhaça	102,0	40,3
75% Vinhaça 25% Lodo	98,4	34,7
50% Vinhaça 50% Lodo	94,8	38,7
25% Vinhaça 75% Lodo	91,2	41,9
100% Lodo	87,6	41,8

Tabela 2. DQO inicial e final das misturas vinhaça: lodo aeróbio (% v/v)

Na figura 2 a seguir está representada a remoção percentual de DQO de cada sistema. Nota-se que o sistema vinhaça:lodo na proporção 75:25 % v/v apresentou a maior remoção, de 65%, seguida do sistema 100% vinhaça, com 60%.



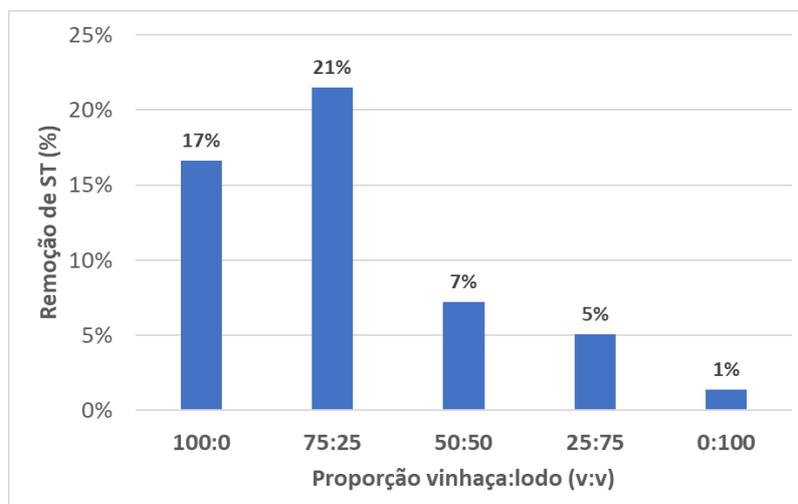
**Figura 2. Gráfico de remoção de DQO (%) durante 30 dias de experimento para as diferentes proporções de substratos**

Na tabela 3, estão os resultados da análise de Sólidos Totais inicial – antes da batelada – e final – após a batelada de codigestão – para cada sistema estudado.

Proporção dos substratos	Sólidos Totais (g/L)	
	Inicial	Final
100% Vinhaça	43,8	36,5
75% Vinhaça 25% Lodo	42,4	33,3
50% Vinhaça 50% Lodo	36,0	33,4
25% Vinhaça 75% Lodo	33,1	31,4
100% Lodo	30,0	29,6

**Tabela 3. ST inicial e final das misturas vinhaça: lodo aeróbio (% v/v)**

Na figura 4 a seguir está representada a remoção percentual de ST de cada sistema. Nota-se que o sistema vinhaça:lodo na proporção 75:25 % v/v apresentou a maior remoção, de 21%, seguida do sistema 100% vinhaça, com 17%.



**Figura 4. Gráfico de remoção de Sólidos Totais (%) durante 30 dias de experimento para as diferentes proporções de substratos**

Na tabela 4, estão os resultados da análise de Sólidos Totais inicial – antes da batelada – e final – após a batelada de codigestão – para cada sistema estudado.

Proporção dos substratos	pH	
	Inicial	Final
100% Vinhaça	7,6	8,2
75% Vinhaça 25% Lodo	7,7	8,2
50% Vinhaça 50% Lodo	7,8	8,2
25% Vinhaça 75% Lodo	7,9	8,1
100% Lodo	7,9	8,0

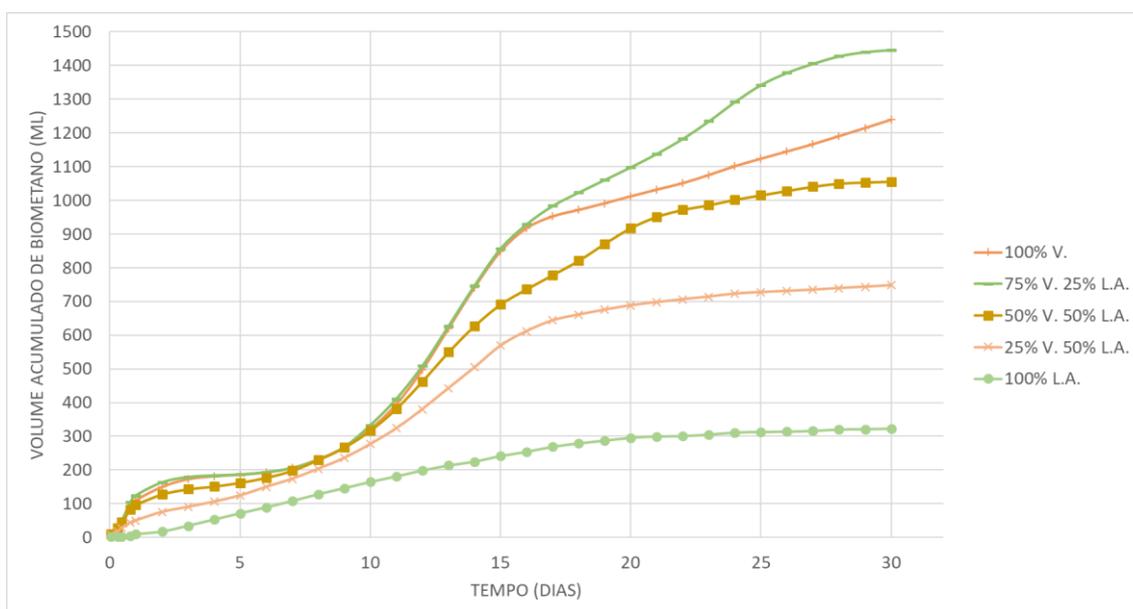
**Tabela 4. pH inicial e final das misturas vinhaça: lodo aeróbio (% v/v)**

Na Tabela 5 são apresentados os volumes acumulados de biometano produzido na digestão anaeróbia durante 30 dias para as diferentes proporções em volume das matérias-primas utilizadas.

Proporção dos substratos	Volume de biometano produzido [mL]
100% Vinhaça	1.239,5
75% Vinhaça 25% Lodo	1.446,65
50% Vinhaça 50% Lodo	1.055,7
25% Vinhaça 75% Lodo	747,8
100% Lodo	322,8

**Tabela 5. Volume acumulado de biometano durante 30 dias**

Na Figura 5, são apresentados os resultados do volume acumulado de biometano ao longo do processo de codigestão anaeróbia.



**Figura 5. Gráfico do volume acumulado de biometano (em mL) por tempo (dias)**

A partir dos resultados das análises realizadas, foi possível calcular a produção específica para cada condição estudada. Os resultados estão sumarizados na Tabela 6. Nota-se que o sistema com maior produção específica, nas condições estudadas, foi o de 75:25 %v/v vinhaça: lodo, com 56,8 mL/g.

Proporção dos substratos	Produção específica de biometano [mL/g DQO removida]
100% Vinhaça	50,3
75% Vinhaça 25% Lodo	56,8
50% Vinhaça 50% Lodo	47,0
25% Vinhaça 75% Lodo	37,9
100% Lodo	17,6

**Tabela 6. Produção específica de biometano em relação à remoção de DQO.**

Resumidamente, o sistema estudado que mais produziu biometano, durante 30 dias de operação, foi o sistema com proporção 75:25 %v/v vinhaça: lodo com uma produção acumulada de biometano de 1.446,65 mL. Os sistemas que mais removeram sólidos totais foram os sistemas 75:25 %v/v vinhaça:lodo e 100:0 %v/v vinhaça: lodo, com 21% e 17% de remoção, respectivamente. Quanto à remoção de DQO, o sistema 75:25 %v/v vinhaça:lodo também apresentou maior remoção, com 65%. Da mesma forma, o sistema 75:25 %v/v vinhaça: lodo apresentou também a maior produção específica de biometano, com 56,8 mL/g de DQO removida durante o experimento.

De acordo com, Santana (2014), no estudo em batelada de 10 dias, no qual houve consumo de 13117 mg/L de DQO pelo sistema e o volume de biometano acumulado neste tratamento foi de 1,65 L. Com base nesse valor da DQO consumida, o rendimento teórico de biometano por grama de DQO removidos é de 0,39 LCH<sub>4</sub> /g DQO removida. Já neste trabalho, a produção de biometano foi de 1,24 L, e a remoção de DQO foi 61700 g/L, ou seja, a produção foi parecida, mas a remoção de DQO foi 4,7 vezes maior. Isso pode ter acontecido devido à alta carga orgânica inicial do experimento. Com isso, a produção específica ficou abaixo da literatura, com 0,05 L/g. DQO removida.

Outros autores, como Lamo (1991), trabalhou em um sistema produtor de biometano com a vinhaça, alcançando o resultado de 0,30 litros de CH<sub>4</sub>/g DQO consumida e Ruiz (2002) fez o tratamento com sucesso da vinhaça em reator batelada sequencial, contendo biomassa suspensa, com o tempo de retenção de 6,6 dias, obtendo um rendimento de biometano de 0,37 litros de CH<sub>4</sub>/g DQO removida.

## CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

- No geral, observou-se uma produção de biometano na codigestão anaeróbia de vinhaça e lodo condizente com trabalho existentes, apesar da produção ter se dado em um tempo (dias) maior do que os estudos anteriores.
- No entanto, a remoção de DQO foi maior do que em outros trabalhos, e estudos mais aprofundados são necessários para entender essa discrepância, como hipótese há a elevada concentração inicial de matéria orgânica, proveniente dos substratos utilizados no trabalho.
- Devido à diferença na remoção de DQO, a produção específica ficou abaixo da produção teórica e como trabalhos futuros pode-se estudar a codigestão com menor concentração orgânica inicial.

## REFERÊNCIAS

1. CHOWDHARY P., KHAN N., BHARAGAVA R.N. Distillery wastewater: it's impact on environment and remedies. *Environ Anal Ecol Stud* 2018;1:14e7. <https://doi.org/10.31031/EAES.2018.01.000507>.
2. ENVM, Labuto G, Kamogawa MY. Destination of vinasse, a residue from alcohol Industry: resource recovery and prevention of pollution. Elsevier Inc.; 2016. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803837-6.00002-0>.
3. FARIA, R. A. P. Avaliação do potencial de geração de biogás e de produção de energia a partir da remoção da carga orgânica de uma estação de tratamento de esgoto – Estudo de caso. 63 f. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel, PR, 2012
4. LAMO, P. Sistema produtor de Gás Metano Através de Tratamento de Efluentes Industriais – METHAX/BIOPAQ – CODISTIL – Piracicaba, 1991. Disponível em: <[http://base.repositorio.unesp.br/bitstream/handle/unesp/90820/granato\\_ef\\_me\\_bauru.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://base.repositorio.unesp.br/bitstream/handle/unesp/90820/granato_ef_me_bauru.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>. Acesso em: 12 abril 2023.
5. MANONMANI, P.; MUAZU, L.; KAMARAJ, M. C.; GOEL, M.; ELANGOMATHAVAN, R. Biogas production potential of food waste. *International Journal of Environment Agriculture and Biotechnology*, v. 2, n. 2, p. 707-711, 2017.
6. RUIZ, C. (2002). Aplicación de digestores anaeróbios discontinuos em el tratamiento de águas residuales industriales. Tese (Doutorado). Universidad de Sevilla, 218p.
7. SANTANA, T. C. Uso da tecnologia de biodigestores descontínuos mesofílicos na produção de biometano. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal da Paraíba, PB, 2014. Acesso em: 12 abril 2023.
8. TENA, M.; LUQUE, B.; PEREZ, M.; SOLERA, R. Enhanced hydrogen production from sewage sludge by cofermentation with wine vinasse, Elsevier Inc.; 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.04.075>.
9. TYAGI, V. K. Anaerobic co-digestion of organic fraction of municipal solid waste (OFMSW): Progress and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 93, p. 380-399, 2018
10. VOLSCHAN, I., ALMEIDA, R., CAMMAROTA, M.C., 2021. A review of sludge pretreatment methods and co-digestion to boost biogas production and energy self-sufficiency in wastewater treatment plants. *J. Water Process Eng.* 40, 101857. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101857>
11. ZHAO, L. Effect of air-flow rate and turning frequency on bio-drying of dewatered sludge. *Water +Research*, v. 44, n. 20, p. 6144-6152, 2010.