

### **III-430 - INFLUÊNCIA DA GRANULOMETRIA NO PROCESSO DE CÓ-DIGESTÃO ANAERÓBIA DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS**

**Crislânne Lemos Viriato<sup>(1)</sup>**

Licenciada em Química pela Universidade Estadual da Paraíba. Especialista em Geo- Ambiência e Recursos Hídricos do Semiárido pela Universidade Estadual da Paraíba. Mestre em Ciência e Tecnologia pela Universidade Estadual da Paraíba.

**Valderi Duarte Leite**

Engenheiro Químico pela Universidade Federal da Paraíba. Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba. Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Professor do DESA/CCT/UEPB.

**José Tavares de Sousa**

Engenheiro Químico pela Universidade Federal da Paraíba. Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal da Paraíba. Doutor em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Professor do DESA/CCT/UEPB.

**Elaine Gurjão de Oliveira<sup>\*</sup>**

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba. Mestre em Ciência e Tecnologia pela Universidade Estadual da Paraíba. Doutoranda em Engenharia Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Universidade Estadual da Paraíba, Av. das Baraúnas, 351 - Bodocongó - Campina Grande - Paraíba - CEP: 58109-753 - Brasil. \*e-mail: elaine\_gurjao@hotmail.com.

#### **RESUMO**

Neste trabalho foi estudada a influência da granulometria e da concentração de sólidos totais no processo de bioestabilização anaeróbia de resíduos sólidos vegetais e lodo anaeróbio de esgoto sanitário. O sistema experimental era constituído de 27 reatores anaeróbios em batelada e capacidade volumétrica unitária de 2 L, com zona de reação e de acúmulo do biogás produzido. Os tamanhos de partículas investigados foram de 1,6; 2 e 3,3mm e a concentração de sólidos totais igual a 30 gST. L<sup>-1</sup>, com período de monitoração de 200 dias. A eficiência mais representativa de transformação de material carbonáceo e nitrogenado foi constatado no tratamento com substrato constituído por resíduos sólidos vegetais e lodo de esgoto sanitário com tamanho de partícula de 1,6 mm e concentração de sólidos totais de 30 gST.L<sup>-1</sup>. Portanto, foi constatado que a taxa de produção de biogás é diretamente proporcional a granulometria dos resíduos sólidos vegetais e do lodo de esgoto sanitário submetidos a digestão.

**PALAVRAS-CHAVE:** Anaeróbio, Resíduos Sólidos Vegetais, Lodo de Esgoto, Granulometria, Concentração de Sólidos.

#### **INTRODUÇÃO**

Segundo Borgatto (2010) as alternativas de tratamento de RSU têm como objetivos reduzir o volume de resíduos a ser disposto, impedir o descarte destes em ambientes ou locais inadequados bem como promover mudanças em suas propriedades, transformando-os em materiais inertes ou biologicamente estáveis. Segundo ZHU *et al.* (2009), a fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos é degradada naturalmente com o passar do tempo, quando depositados em aterros sanitários, produzindo vários tipos de gases, inclusive aqueles responsáveis pelo efeito estufa. A digestão anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos tem sido apresentada como uma tecnologia amplamente utilizada e eficiente no tratamento de destes resíduos, resultando na produção de energia renovável a partir da geração do biogás (CUETOS *et al.*, 2008).

Em um sistema de degradação anaeróbia de resíduos celulósicos, a redução granulométrica do substrato resultou numa maior taxa de hidrólise e acidogênese e, um tempo de biodegradação reduzido, haja vista a hidrólise ser considerada o processo chave da digestão anaeróbia para a conversão biológica desses resíduos (ZHENG-HU HU *et al.*, 2005). Para Sanders *et al.*, (2000) a redução do tamanho da partícula de resíduos orgânicos é benéfica para a hidrólise, consequentemente favorece as etapas sequenciais da digestão anaeróbia,

fato que pode ser parcialmente atribuído ao aumento da área de superfície de contato disponível do substrato, onde os microrganismos se aderem, aumentando assim a degradação do material orgânico. O processo de degradação anaeróbia de fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos depende da distribuição granulométrica da matéria prima utilizada como substrato, logo com redução da granulometria do substrato a área de superfície de contato usada pelos microrganismos anaeróbios será aumentada, implicando num maior taxa de produção de biogás (ESPOSITO et. al., 2011).

Segundo Menardo *et al.*, (2012) o pré-tratamento mecânico aplicado a redução do tamanho da partícula dos subprodutos agrícolas usados como substrato na biodigestão anaeróbia, aumentou a produção de metano em mais de 80%, assim como o pré-tratamento térmico que aumentou em mais de 60%. O mesmo foi observado por González-Fernández *et al.* (2008) usando resíduos de suínos, o potencial de produção de biogás, cuja a massa é difícil de digerir, aumentou a sua biodegradabilidade com a redução da granulometria do substrato através do pré-tratamento, que promoveu uma melhor ação dos microrganismos anaeróbios.

Em trabalhos realizados por Izuma *et. al* (2010), foi constatado que a redução do tamanho das partículas dos resíduos sólidos orgânicos aumentou substancialmente a eficiência de Bioestabilização da DQO total e consequentemente o aumento da produção de gás metano. Entretanto, deve ser levado em consideração que a diminuição excessiva do tamanho da partícula de resíduos sólidos orgânicos, poderá resultar em acúmulo de ácidos graxos voláteis (AGV), causando elevada carga orgânica. Portanto, o objetivo principal deste trabalho foi estudar a influência de três diferentes tamanhos de partículas e de concentrações de sólidos totais no processo de digestão anaeróbio de resíduos sólidos vegetais mais lodo de esgoto sanitário.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O sistema experimental foi instalado e monitorado nas dependências físicas da Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgotos Sanitários (EXTRABES), localizada no bairro do Tambor na Cidade de Campina Grande no Estado da Paraíba, Nordeste do Brasil (7° 13' 11" S, 35° 52' 31" O).

Os resíduos sólidos vegetais eram constituídos de restos de frutas e verduras e foram coletados na Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas (EMPASA), localizado na cidade de Campina Grande-PB, enquanto o lodo anaeróbio foi coletado em reator UASB tratando esgoto doméstico. O substrato utilizado para alimentação dos reatores constituiu da mistura de 48 kg de resíduos sólidos vegetais e 12 kg de lodo anaeróbio, obtendo-se proporção de 80% de RSV para 20% de lodo de esgoto doméstico em base úmida.

O planejamento experimental foi do tipo fatorial completo, utilizando-se o software estatístico minitab 15 para a análise dos resultados. Foram estudados três níveis de granulometrias (1,6; 2 e 3,3mm) e concentração de sólidos totais igual a 30gST. L<sup>-1</sup>, totalizando três tratamentos e nove reatores anaeróbio em batelada. Os reatores utilizados neste estudo possuíam a capacidade volumétrica unitária de dois litros e do volume total de cada reator, cerca de, 25% foi destinado para o *head-space*. Na Tabela 1 são apresentados os dados das granulometrias e das concentrações de sólidos totais dos três tratamentos estudados.

**Tabela 1: Magnitudes das granulometrias e concentração de sólidos totais.**

Tratamentos	Granulometrias (mm)	Concentração de Sólidos Totais (gST.L <sup>-1</sup> )
G1ST1	1,68	30
G2ST1	2,00	30
G3ST1	3,36	30

Legenda: G1 (1,68mm), G2 (2,00mm), G3 (3,36mm); ST1 (30 gST.L<sup>-1</sup>)

O monitoramento do sistema experimental consistia na quantificação diária do volume de biogás produzido e da temperatura ambiente na área em torno dos reatores. As determinações analíticas dos parâmetros físico e químicos foram realizadas de acordo com o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005).

## RESULTADOS

A temperatura ambiente na área do entorno dos reatores, durante o período de monitoração variou de 19 a 32°C, com temperatura média ambiente de 26,4°C. Na Tabela 2 são apresentados os dados advindos da caracterização química dos substratos que alimentaram a série de reatores monitorados durante os 200 dias de operação.

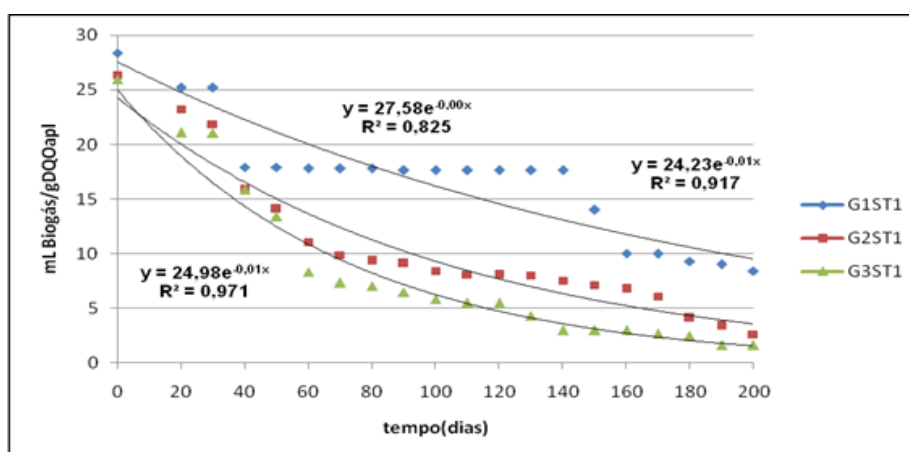
**Tabela 2: Dados da caracterização química dos substratos.**

Substratos/Parâmetros	Substrato 1 (G1ST1)	Substrato 2 (G2ST1)	Substrato 3 (G3ST1)
Umidade (%)	97	97	97
ST (g.L <sup>-1</sup> )	30	30	30
STV (g.L <sup>-1</sup> )	18	18	18
DQO (g.L <sup>-1</sup> )	28	28	28
NTK (mg.L <sup>-1</sup> )	450	450	450
Ptotal (mg.L <sup>-1</sup> )	150	150	150
pH	6,8	6,8	6,8
AT (mg.L <sup>-1</sup> )	8.300	8.300	8.300
AGV (mg.L <sup>-1</sup> )	7.300	7.300	7.300
C/N	22,2	22,2	22,2

Analisando-se os dados apresentados na Tabela 2, pode ser observado que os parâmetros químicos caracterizados apresentaram a mesma magnitude para as três diferentes granulometrias estudadas, haja vista a necessidade de ser inferida no processo de bioestabilização apenas a influência da granulometria.

Na Figura 1 apresenta-se a taxa de produção de biogás em função dos três tipos de granulometrias (1,68; 2,00 e 3,36 mm) e do substrato com concentração de sólidos totais igual a 30gST.L<sup>-1</sup>.

Analisando-se a tendência das curvas apresentadas na Figura 1, observa-se que para o substrato com concentração de sólidos totais igual a 30gST.L<sup>-1</sup>, a maior taxa de produção de biogás foi para o substrato com granulometria igual a 1,68mm (G1). A taxa média de produção de biogás para o substrato com granulometria de 1,68mm e concentração de sólidos totais igual a 30gST.L<sup>-1</sup> foi de 16,8mL de biogás por grama de DQO aplicada aos reatores e esta taxa foi reduzida significativamente para 11,8mLbiogás/gDQO<sub>aplicada</sub> para o substrato com granulometria de 2 mm (G2) e de 8,3 mLbiogás/gDQO<sub>aplicada</sub> para a granulometria de 3,36mm (G3).



**Figura 1: Taxas de produção de biogás em função das granulometrias, para substrato com concentração de sólidos totais igual a 30gST.L<sup>-1</sup>.**

Em termos quantitativos, para uma aumento no tamanho da partícula de 19% em média, a taxa de produção de biogás foi reduzida em 42,3%, do substrato com granulometria igual a 1,68mm para granulometria igual a 2 mm. Com relação a granulometria de 3,36mm, a taxa de produção de biogás foi reduzida em 42,1% em

comparação a granulometria de 1,68mm, porém, nesta situação, a granulometria do substrato foi aumentada em 68%. Em termos estatísticos, ficou constatada a existência de diferença significativa entre os três diferentes tipos de granulometrias em relação a taxa de produção de biogás ( $p < 0,05$ ).

Na Tabela 3 são apresentados os dados advindos da caracterização química dos resíduos parcialmente bioestabilizados descarregados dos reatores após o período de monitoração que foi de 200 dias.

**Tabela 3: Magnitude dos dados dos parâmetros químicos dos resíduos parcialmente bioestabilizados.**

Substratos/Parâmetros	Substrato 1 (G1ST1)	Substrato 2 (G2ST1)	Substrato 3 (G3ST1)
Umidade (%)	97,7	97,8	97,9
ST (g.L <sup>-1</sup> )	23	22	21
STV (g.L <sup>-1</sup> )	11,7	13,8	14,9
DQO (g.L <sup>-1</sup> )	11,7	20,1	23,5
NTK (mg.L <sup>-1</sup> )	300	340	360
Ptotal (mg.L <sup>-1</sup> )	100	120	120
pH	5,1	5,8	5,5
AT (mg.L <sup>-1</sup> )	4.900	4.900	5.100
AGV (mg.L <sup>-1</sup> )	2.200	2.300	2.580
C/N	17,8	18,8	21,7

Analisando-se os dados apresentados da Tabela 3, pode ser constatado que as eficiências de transformação de material carbonáceo expresso em termos de DQO foi diretamente proporcional as granulometrias dos substratos, que no caso deste trabalho foram respectivamente de 58,2; 28,2 e 17,5% para os substratos 1, 2 e 3. Com relação a concentração de NTK, as eficiências de bioestabilização foram diretamente proporcional as granulometrias dos substratos, haja vista as eficiências estabelecidas serem de 33,3, 24 e 20% respectivamente. Pode ser constatado ainda na massa bioestabilizada pH variando de 5,1 a 5,8, caracterizando um meio relativamente ácido e não propício para produção de gás metano. A concentração de ácidos graxos voláteis acumulada no interior do meio reativo, poderá ter contribuído negativamente para a redução da taxa de hidrólise. Na Tabela 4 são apresentadas as constantes de cinéticas de primeira ordem para o processo de bioestabilização dos três diferentes tipos de substratos. A magnitude da constante de hidrólise é um indicativo da velocidade de consumo do substrato e varia em função da temperatura, da concentração, da granulometria das partículas e da natureza química do substrato.

**Tabela 4: Magnitude das constantes cinéticas de primeira ordem para DQO total, STV e NTK.**

Substrato/Parâmetro	DQO <sub>total</sub> (dia <sup>-1</sup> )	STV (dia <sup>-1</sup> )	NTK (dia <sup>-1</sup> )
G1ST1	$2,3 \cdot 10^{-3}$	$2,3 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$
G2ST1	$1,7 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$
G3ST1	$9,5 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$

Analisando os dados apresentados na Tabela 4, pode ser constatada a influência do tamanho da partícula no processo de bioestabilização deste tipo de substrato, haja vista a redução da magnitude de k ter sido diretamente proporcional a granulometria dos substratos. Portanto, pode-se constatar que quanto menor a granulometria do substrato maior a eficiência de bioestabilização do material orgânico e nitrogenado, visto que, a área específica do substrato ser maior e contribuir mais favoravelmente para o processo de hidrólise.

Na Tabela 5 são apresentados os dados percentuais quantitativos (eficiência) do processo de bioestabilização para os três tipos de substratos estudados, com tempo de bioestabilização de 200 e 365 dias.

**Tabela 5: Eficiência estimada do processo de bioestabilização dos substratos com tempo de bioestabilização de 200 e 365 dias.**

Substrato/Parâmetro	DQO <sub>total</sub> (200/365 dias)	STV (200/365 dias)	NTK (200/365 dias)
G1ST1 (%)	37,7/57,9	37,5/57,6	32,6/47,8
G2ST1 (%)	29,4/47,0	25,9/42,2	26,0/43,4
G3ST1 (%)	17,4/29,5	20,4/34,0	21,7/36,9

Em termos quantitativos a eficiência de bioestabilização do substrato G1ST1 foi de 37,7% para o período de monitoração de 200 dias e atingiu o patamar de 57,9% para o período de monitoração de 365 dias. Esta tendência pode ser constatada para os demais substratos e dos três parâmetros analisados. Os RSV são considerados materiais que apresentam baixa biodegradabilidade, haja vista a presença de compostos químicos como a celulose, onde a lignina (substância que une as fibras de celulose) rodeia a estrutura da celulose formando um selo que a protege, dificultando o ataque das bactérias ao substrato. Portanto, a redução do tamanho das partículas, propiciou a elevação da área superficial e conseqüentemente favoreceu o processo de bioestabilização em todas as suas etapas.

## CONCLUSÕES

A eficiência do processo de bioestabilização anaeróbia de resíduos sólidos vegetais e lodo anaeróbio de esgoto sanitário foi diretamente proporcional ao tamanho das partículas. Para substrato com concentração de sólidos totais de 30g.L<sup>-1</sup> e granulometrias de 1,68; 2 e 3,36mm e tempo de monitoração de 200 dias, as taxas de produção de biogás foram de 16,8; 11,8 e 8,3mL de biogás produzido por grama de DQO alimentada ao reator respectivamente. Esta mesma tendência pode ser constatada para tempo de monitoração de 365 dias, que mesmo sendo aumentada a eficiência de bioestabilização da massa de DQO, a taxa de produção de biogás permaneceu diretamente proporcional a granulometria do substrato.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA - American Public Health Association. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th ed. Washington, DC: American Public Health Association, 2005.
2. BORGATTO, A. V. A. Estudo das Propriedades Geomecânicas de Resíduos Sólidos Pré-Tratados. Rio de Janeiro-RJ, 2010. Tese (Doutorado) - Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil (COPPE), UFRJ, 2010.
3. CUETOS, M.J., FOMEZ, S., OTERO, M., MORAN, A. Anaerobic Digestion solid slaughterhouse waste (SHW) at Laboratory Scale: Influence of Co -digestion With the Organic Fraction of Municipal Solid Waste (OFMSW). Biochemical Engineering Journal, v. 40, p. 99-106, 2008.
4. ESPOSITO, G., FRUNZO, L., PIROZZI, F. Modelling the Effect of the OLR and OFMSW Particle Size on the Performances of an Anaerobic Co- digestion Reactor Process. Biochemistry, v. 46, p. 557-567, 2011.
5. GONZALES-FERNANDEZ, C., LEON-COFRECES, C., GARCIA-ENCINA, P. Different Pretreatment for Increasing the Anaerobic Biodegradability in Swine Manure. Bioresource Technology, v. 99, p. 8710-8714, 2008.
6. IZUMA, K., OKISHIO Yu-Ki, NAGAO, N., NIWA, C., YAMAMOTO, S., TODA, T. Effects of Particle Size on Anaerobic Digestion of Food Waste. Biodeterioration & Biodegradation, v. 64, p. 601-608, 2010.
7. MENARDO, S., AIROLDI, G., BOLSARI, P. The Effect of Particle Size and Thermal Pré-Treatment on the Methane Yield of Four Agricultural by Products. Bioresource Technology, v. 104, p. 708 -714, 2012.
8. SANDERS, W. T. M., GEERINK, M., ZEEMAM, G., LETTINGA, G. Anaerobic Hydrolysis Kinetics of Particulate Substrates. Water Science & Technology, v. 41 (3), p. 17-24, 2000.
9. ZHEN-HU H., HAN-QING, Y. U., REN-FA Z. A. Influence of Particle Size and pH on Anaerobic Degradation of Cellulose by Ruminant Microbes. International Biodeterioration & Biodegradation, v. 55, p. 233 -238, 2005.
10. ZHU, B., GIKAS, P. ZHANG, R, LORD, J., JENKINS, B., XIUJIN, L. Characteristics and Biogas Production Potentia l of Municipal Solid Wastes Pretreated With a Rotary Drum Reactor. Bioresource Technology, p. 111 - 122, 2009.