

## AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA DILUIÇÃO DE RESÍDUOS DE FRUTAS E VERDURAS NA DIGESTÃO ANAERÓBIA

Maria Cristina RIZK\*

Rosângela BERGAMASCO

Célia Regina GRANHEN TAVARES

**Resumo:** O tratamento anaeróbio de resíduos orgânicos reduz o volume e estabiliza os resíduos, além de produzir um condicionador de solos e biogás. Assim, o objetivo do presente estudo foi avaliar a biodegradabilidade anaeróbia de resíduos de frutas e verduras, utilizando diferentes concentrações de sólidos totais em reatores anaeróbios. Os resíduos foram picados, triturados e diluídos com água em concentrações que variaram de 0 a 40%. Os experimentos foram realizados em reatores de vidro, nos quais foram colocadas seringas para coletar e medir o biogás. Os reatores foram submetidos a condições de ausência e presença de agitação, durante 45 dias. A redução no teor de sólidos totais praticamente não exerceu efeito na aceleração da degradação dos resíduos. A agitação exerceu um efeito significativo na estabilização do resíduo.

**Palavras-chave:** digestão anaeróbia; resíduos orgânicos; concentração de sólidos.

### EVALUATION OF THE EFFECTS OF DILUTION OF WASTE FRUITS AND GREENS IN ANAEROBIC DIGESTION

**Abstract:** Anaerobic treatment of organic wastes reduces the volume and stabilizes the wastes, besides producing a soil conditioner and biogas. So, the aim of the present study was to evaluate the fruit and vegetable anaerobic biodegradability using different concentrations of total solids in the

---

\* Endereço eletrônico: [mc\\_rizk@yahoo.com.br](mailto:mc_rizk@yahoo.com.br). Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, Bloco D90, 87020-900, Maringá – PR, Brasil. Telefone: (55) 44 3261-4770.

anaerobic reactors. The wastes were shredded, blended and diluted with water in concentrations that had been varied from 0 to 40%. The experiments were conducted in glasses bottles, which it was connected syringes for collecting and measuring the biogas. The tests were run for 45 days with and without mixing. The reduction of the total solid content almost didn't exercise effect in the acceleration of the wastes degradation. The mixing condition exercised a very positive effect in the stabilization of the residue.

**Keywords:** anaerobic digestion of organic waste, solid concentration

## 1. Introdução

Os resíduos sólidos urbanos representam, atualmente, um dos mais graves problemas ambientais, pois a sua geração é crescente e se deve, principalmente, ao aumento populacional e ao desenvolvimento industrial.

Os resíduos de frutihortícolas são gerados em grandes quantidades nos atacados de frutas e verduras, feiras e supermercados, entre outros. Tais estabelecimentos exercem influência significativa na quantidade de matéria orgânica presente no lixo urbano (LASTELLA et al., 2002).

Tratamentos sustentáveis de resíduos, que favorecem a reciclagem e recirculação de nutrientes para o solo, apresentam benefícios para o ambiente. Assim, a digestão anaeróbia de resíduos orgânicos, além de oferecer um ganho pela produção de energia por meio do gás metano, produz adubo orgânico (HARTMANN; AHRING, 2005).

A digestão anaeróbia envolve a degradação e estabilização de materiais orgânicos, por meio de microrganismos, sob condições anaeróbias. A biodigestão é um dos processos mais eficientes de tratamento de resíduos e efluentes e vem sendo muito utilizada no tratamento de resíduos urbanos, porém apresenta limitada aplicação no tratamento de resíduos orgânicos industriais incluindo resíduos do processamento de frutas e verduras, entre outros (CHEN et al., 2008).

A biodigestão de resíduos orgânicos, como frutas e verduras, inicia-se com a fase de liquefação, em que celulose, hemicelulose, pectina e lignina, entre outros, sofrem ação das enzimas extracelulares, sendo quebradas em moléculas menores e servindo de substrato para as bactérias acidogênicas. Na etapa acidogênica, ocorre a produção de ácidos orgânicos, alcoóis, hidrogênio e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que são consumidos pelas

bactérias acetogênicas e convertidos em ácido acético, hidrogênio e dióxido de carbono. Os produtos da etapa acetogênica são, finalmente, aproveitados pelas bactérias metanogênicas para a formação de metano (Bouallagui *et al.*, 2005).

A digestão anaeróbia pode ser realizada com diferentes teores de sólidos. A digestão úmida ocorre com um teor de sólidos totais entre 8 e 16%, sendo que esta faixa pode ser conseguida com adição de água ao meio. A digestão seca ocorre sem nenhuma adição de água e o teor de sólidos deve ser superior a 30% (GALLERT *et al.*, 2003).

Assim, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o potencial de biodegradabilidade anaeróbia de resíduos de frutas e verduras em diferentes diluições.

## **2. Metodologia**

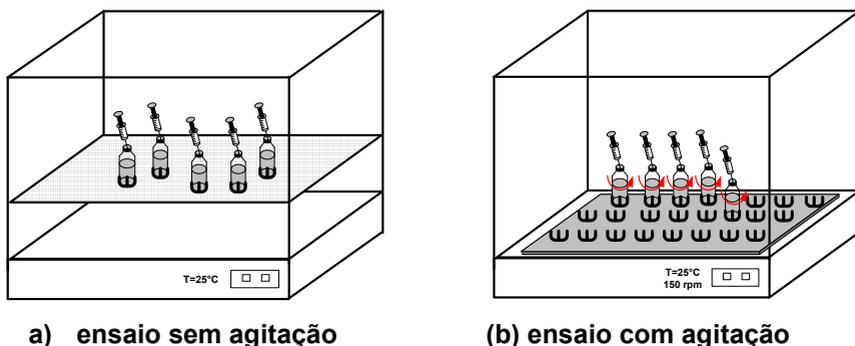
### **2.1. Resíduo**

Os resíduos frutihortícolas utilizados no presente trabalho foram coletados em uma Central de Abastecimento (CEASA). Os resíduos foram picados, triturados e diluídos em água. Foram testadas cinco diluições (m/m): 0% (resíduo puro), 10% (1:9 – água:resíduo), 20% (2:8 – água:resíduo), 30% (3:7 – água:resíduo), 40% (4:6 – água:resíduo). Cada amostra foi analisada por meio de parâmetros físico-químicos, antes dos experimentos de digestão anaeróbia.

### **2.2. Desenvolvimento experimental**

Os experimentos foram realizados em reatores de vidro de 100 mL, preenchidos com 90% de sua capacidade total. Os reatores foram lacrados e suas tampas foram vedadas com silicone gel. Em cada um dos recipientes foi inserida uma seringa plástica para a medição da quantidade de biogás produzido nos ensaios, que tiveram duração de 45 dias. Foram avaliadas as condições de mistura e ausência de mistura. No primeiro caso, os reatores foram colocados em uma incubadora refrigerada (*shaker*) a 25°C, sob agitação de 150 rpm e, no segundo, os reatores foram colocados em uma estufa a 25°C. Ao final dos experimentos, cada uma das amostras foi

analisada em termos dos parâmetros de caracterização. A figura 1 apresenta um desenho esquemático do experimento.



**a) ensaio sem agitação**

**(b) ensaio com agitação**

Figura 1 – Desenho esquemático do experimento

### 2.3. Procedimento analítico

O resíduo foi caracterizado e avaliado no final dos experimentos em termos de pH (pHmetro digital Digimed – DM2); acidez volátil (AV), alcalinidade total (AL) (Silva, 1977); carbono orgânico (C) (Kiehl, 1985); nitrogênio Kjeldahl (N) (IAL, 1985); demanda química de oxigênio (DQO), sólidos totais (ST) e sólidos totais voláteis (STV) (APHA, 1998).

### 3. Resultados e discussão

Os resíduos de frutihortícolas foram diluídos em água em diferentes concentrações e a caracterização destes resíduos está apresentada na Tabela 1.

Pode-se observar que o valor do pH em todas as amostras foi baixo, em torno de 3,5. Esse fato pode prejudicar o processo de tratamento anaeróbio, pois o valor ótimo deste parâmetro na biodigestão é de 6,5 a 8,0, segundo Cassini (2003). Em estudos realizados por Rizk *et al.* (2007), verificou-se que o pH inicial dos resíduos de frutas e verduras situava-se abaixo dos valores estabelecidos teoricamente, porém a adição de alcalinizantes, elevando o pH para valores próximos de 6,5-7,7, exerceu baixa

influência na biodegradação do resíduo. Deste modo, optou-se por não ajustar o pH e verificar a capacidade de degradação anaeróbia do resíduo.

Os parâmetros sólidos totais, sólidos totais voláteis e DQO diminuíram conforme a diluição do resíduo foi aumentada. A alta quantidade de matéria orgânica facilmente biodegradável nos resíduos de frutas e verduras, com elevada umidade, facilita o tratamento biológico.

A relação C/N acima de 50/1, em todas as amostras, é devida à alta concentração de matéria orgânica dos resíduos de frutas e verduras. Segundo Bouallagui *et al.* (2005), o valor ótimo de C/N na fase inicial da biodigestão é de 25 a 32/1.

Embora alguns parâmetros de caracterização dos resíduos não estivessem dentro da faixa ótima, este trabalho optou por estudar o processo de tratamento sem ajustes operacionais, para se verificar o real potencial de biodegradabilidade dos resíduos de frutas e verduras.

PARÂMETROS	DILUIÇÃO				
	0%	10%	20%	30%	40%
pH	3,49	3,59	3,56	3,61	3,55
Sólidos totais (%)	4,8	4,2	4,0	3,6	3,2
Sólidos suspensos totais (%)	92,0	91,6	90,5	89,6	87,0
Acidez volátil (mg L <sup>-1</sup> )	4500	3529	3220	3158	2229
Demanda química de oxigênio (mg L <sup>-1</sup> )	57125	56915	55530	48905	47355
Carbono orgânico (%)	52,0	51,5	50,4	50,9	51,0
Nitrogênio Kjeldahl (%)	1,4	1,5	1,7	1,7	1,7
C/N	69/1	62/1	52/1	54/1	54/1

Tabela 1 – Caracterização dos resíduos frutihortícolas

A figura 2 apresenta a variação dos valores de pH obtida durante o estudo. Pode ser observado que o pH aumentou para valores em torno de 4,5. O aumento nos valores de pH pode ser explicado pelo consumo dos ácidos graxos voláteis, que deixam o pH do meio ácido e são gerados durante a degradação da matéria orgânica. Nos testes com agitação, o pH

final foi um pouco superior ao obtido nos testes sem agitação. Assim, pode-se dizer que a mistura dos resíduos favoreceu o maior contato dos microrganismos com o meio, permitindo um maior consumo dos ácidos graxos voláteis.

Ainda, pode-se dizer que baixos valores finais de pH representam um meio não favorável para a sobrevivência das bactérias responsáveis pela degradação do resíduo e que a diluição dos resíduos não exerceu efeito no valor final de pH.

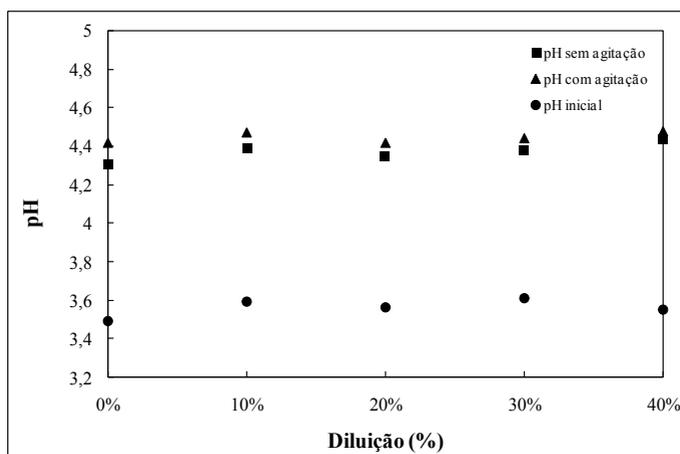


Figura 2 – Monitoramento do pH

A Figura 3 apresenta os valores obtidos no monitoramento da relação acidez volátil/alcalinidade total. Os valores da relação AV/AL inicial de todas as amostras não puderam ser determinados, pois o pH do meio estava muito baixo o que não permitiu a determinação da concentração da alcalinidade total. Após o período de digestão anaeróbia, com o consumo da acidez do meio, foi possível se determinar a alcalinidade das amostras e sucessivamente a relação AV/AL. Os valores de AV/AL situaram-se em torno de 6,5 nos ensaios sem agitação e em torno de 4,5 nos ensaios com agitação. Assim, novamente a agitação favoreceu a digestão anaeróbia, pois quanto menor o valor de AV/AL, mais facilmente ocorre a digestão anaeróbia. Segundo LEITE *et al.* (2004), o valor ótimo de AV/AL deve situar-se em torno de 0,5. As diluições do resíduo praticamente não exerceram

efeito no cálculo da relação AV/AL e o resíduo puro apresentou valores de AV/AL maiores que nas diluições estudadas.

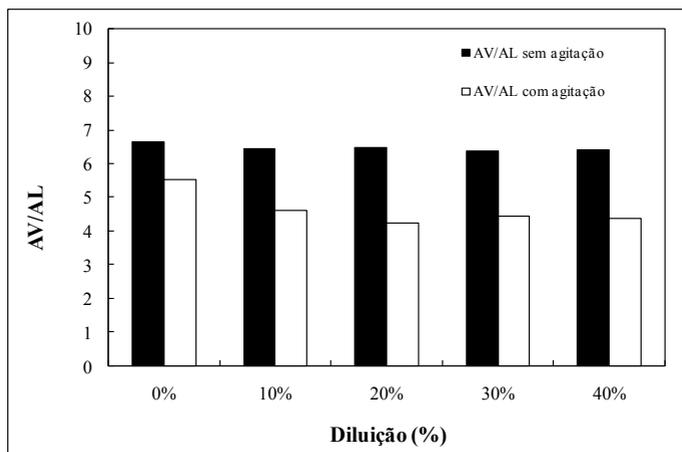


Figura 3 – Monitoramento da relação AV/AL

O monitoramento da razão C/N obtido no presente estudo está apresentado na Figura 4. Pode-se dizer que a razão C/N reduziu consideravelmente ao longo do experimento, pois as razões iniciais que eram de aproximadamente 70/1 reduziram para valores em torno de 30/1, nos ensaios com agitação e sem agitação. Assim, a eficiência de degradação do resíduo pode ser considerada como sendo superior a 50%.

A relação C/N inicial, nos pontos sem diluição e com diluição de 10%, foi maior que nas demais diluições. Essas mesmas amostras apresentaram uma redução de C/N no ensaio sem agitação inferior aos valores obtidos no ensaio com agitação. Nos pontos de menor diluição, o resíduo apresentou-se sob a forma de uma pasta consistente, o que provavelmente dificultou a atuação dos microrganismos anaeróbios, fazendo com que houvesse uma remoção menor do carbono orgânico. O sistema de agitação auxiliou nesse caso, pois a matéria orgânica esteve em contato direto com os microrganismos, e a eficiência de degradação foi superior.

Pode-se dizer, ainda, que a diluição não exerceu efeito na relação final de C/N no ensaio com agitação, pois todas as razões finais de C/N foram próximas de 30/1.

A relação C/N é um parâmetro frequentemente utilizado para avaliar a estabilização da matéria orgânica e a qualidade do composto digerido. De acordo com Rao e Singh (2004), para que o resíduo seja considerado estabilizado, a relação C/N deve ser de 15 a 17/1. Como os valores obtidos foram superiores ao teórico, pode-se dizer que o resíduo não atingiu a faixa de estabilização, porém as reduções de carbono foram bastante consideráveis (figura 4).

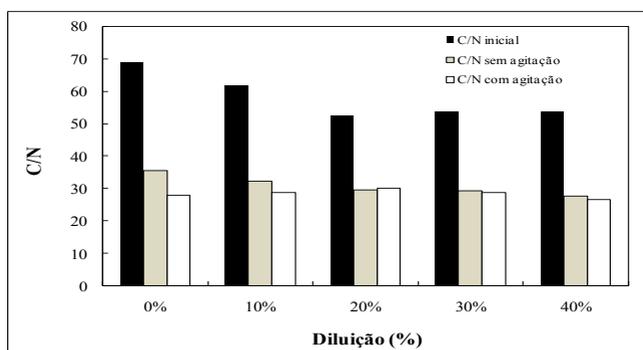


Figura 4 – Monitoramento da relação C/N

A DQO foi monitorada como parâmetro de estabilização da matéria orgânica e a eficiência de remoção da DQO solúvel e total está apresentada na Figura 5.

Pode-se observar que a remoção de DQO solúvel e total foi maior nos ensaios com agitação do que nos ensaios sem agitação. As amostras sem diluição e com diluição de 10% apresentaram remoções de DQO menores do que as obtidas nas diluições de 20, 30 e 40%, que foram de, aproximadamente, 60%. Assim, pode-se dizer que a diluição das amostras exerceu efeito na remoção da matéria orgânica nos testes submetidos à condição de agitação.

Nos ensaios em que não houve agitação, pode-se dizer que a remoção de DQO solúvel e total foi aproximadamente igual e em torno de

15%. A diluição não exerceu efeito nos testes sem agitação, pois apenas na diluição de 40% houve uma remoção de DQO levemente superior as demais (figura 5).

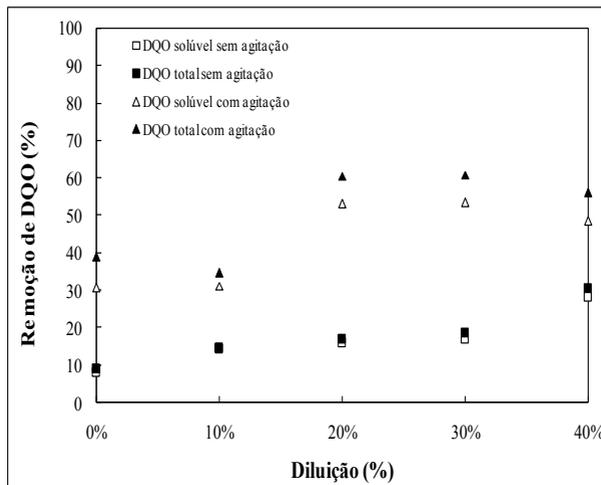


Figura 5 – Eficiência de remoção da DQO solúvel e total

A eficiência de remoção de sólidos totais voláteis e sólidos totais está apresentada na figura 6.

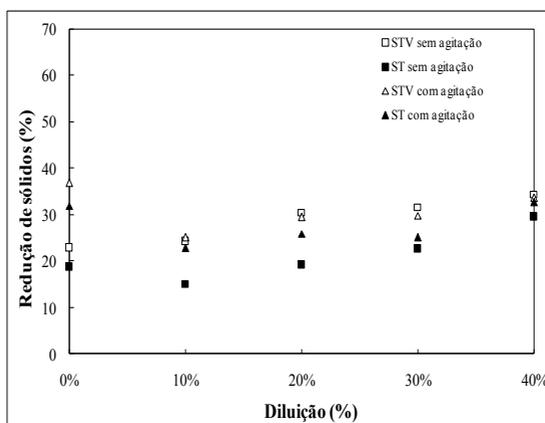


Figura 6 – Eficiência de remoção de sólidos.

Pode-se dizer que as amostras mais diluídas apresentaram as maiores reduções na concentração de sólidos. As remoções de sólidos totais voláteis foram maiores que as remoções de sólidos totais, independente da condição de agitação. Em todos os ensaios e condições de estudo, as remoções de sólidos foram de, aproximadamente, 25%.

A produção de biogás gerada em cada um dos testes foi quantificada e os valores estão apresentados na Figura 7. A produção total de biogás foi de aproximadamente 250 mL. Nos ensaios com agitação, a produção foi levemente superior e as diluições em ambos os ensaios praticamente não exerceram efeito sob a produção de biogás.

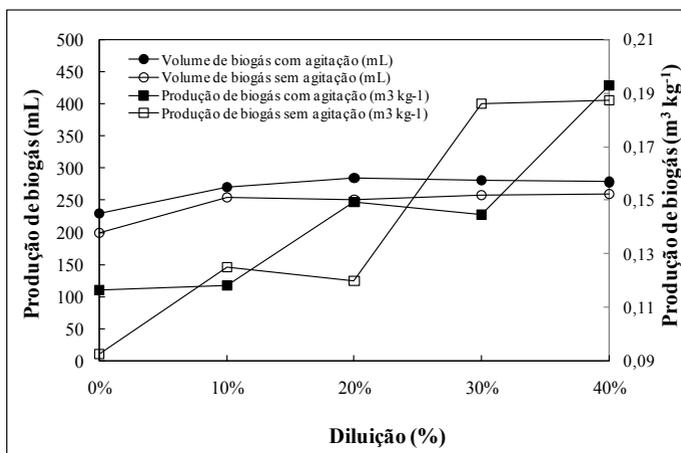


Figura 7 – Produção de biogás

A figura 7 ainda apresenta a produção de biogás em função da concentração de sólidos voláteis totais. A literatura indica que a produção de biogás durante a degradação anaeróbica de resíduos de frutas e verduras situa-se entre  $0,429$  e  $0,568 m^3 Kg^{-1}$  de sólidos voláteis (Rao *et al.*, 2000), assim, pode-se dizer que a produção de biogás foi inferior à média teórica, provavelmente pela elevada concentração de ácidos graxos voláteis. Segundo (Chen *et al.*, 2008), a elevada concentração de amônia e ácidos graxos voláteis, na digestão anaeróbica, pode diminuir a atividade metanogênica e o seu acúmulo pode inibir o processo anaeróbico.

Pôde-se observar também que conforme a diluição aumentou, em ambos os ensaios, houve um aumento na produção de biogás, porém esse aumento é devido pela redução da concentração dos sólidos voláteis que ocorreu com o aumento da diluição.

#### 4. Conclusões

Os resultados obtidos no presente experimento permitem concluir que o resíduo puro e com diluição de 10%, em geral, apresentou menor capacidade de biodegradação do que nas diluições de 20, 30 e 40%. Nas diluições de 20, 30 e 40% os valores finais de pH, C/N, remoção de DQO e remoção de sólidos foram bastante próximos e indicaram uma maior capacidade de biodegradação do material. Ainda, pode-se concluir que os parâmetros analisados apresentaram melhores resultados nos ensaios com agitação, pois o resíduo esteve em contato com os microrganismos ao longo do processo, auxiliando na biodegradação do material.

#### 5. Referências Bibliográficas

APHA – American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20th ed. Washington D.C., 1998.

BOUALLAGUI, H., TOUHAMI, Y., CHEIKH, R. B., et al. Bioreactor performance in anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes. **Process Biochemistry**, v. 40, pp. 989-995, 2005.

CASSINI, S. T. **Digestão de Resíduos Sólidos Orgânicos e Aproveitamento do Biogás**. Rio de Janeiro: ABES, RiMa – Projeto PROSAB, 2003.

CHEN, Y., CHENG, J. J., CREAMER, K. S. Inhibition of anaerobic digestion process: A review. **Bioresource Technology**, v. 99, pp. 4044-4064, 2008.

GALLERT, C., HENNING, A., WINTER, J. Scale-up of anaerobic digestion of the biowaste fraction from domestic wastes. **Water Research**, v. 37, pp. 1433-1441, 2003.

HARTMAN, H., AHRING, B. K. Anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste: Influence of co-digestion with manure. **Water Research**, v. 39, pp. 1543-1552, 2005.

IAL – Instituto Adolfo Lutz. **Métodos Químicos e Físicos para Análises de Alimentos**. 3<sup>a</sup> edição. São Paulo: Editoração Débora D. Estrella Rebocho, 1985.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes Orgânicos**. São Paulo: Editora Agronômica – CERES, 1985.

LASTELLA, G., TESTA, C., CORNACCHIA, G., et al. Anaerobic digestion of semi-solid organic waste: biogas production and its purification. **Energy Conversion and Management**, v. 43, pp. 63-75, 2002.

LEITE, V. D., LOPES, W., S., SOUSA, J. T., et al. Tratamento anaeróbio de resíduos orgânicos com baixa concentração de sólidos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 9, pp. 280-284, 2004.

RAO, M. S., SINGH, S. P. Bioenergy conversion studies of organic fraction of MSW: kinetic studies and gas yield–organic loading relationships for process optimization. **Bioresource Technology**, v. 95, pp. 173-185, 2004.

RAO, M. S., SINGH, S. P., SINGH, A. K., et al. Bioenergy conversion studies of the organic fraction of MSW: assessment of ultimate bioenergy production potential of municipal garbage. **Applied Energy**, v. 66, pp. 75-87, 2000.

SILVA, M. O. S. A. **Análises Físico-Químicas para Controle das Estações de Tratamento de Esgotos**. São Paulo: CETESB, 1977.

## **6. Agradecimentos**

Os autores agradecem à CAPES e à Universidade Estadual de Maringá pelo apoio financeiro e suporte técnico.