

CORRELAÇÕES ENTRE A PRODUÇÃO DE BIOGÁS E PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DO LODO, PROVENIENTES DE REATORES ANAERÓBIOS DO TIPO UASB MODIFICADO, TRATANDO ESGOTO DOMÉSTICO, EM ESCALA REAL

Ana Caroline de Paula⁽¹⁾

Engenheira Química pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC-PR). Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Doutoranda em Sustentabilidade Ambiental Urbana pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Bolsista no programa PARANÁCLIMA da Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável e do Turismo (SEDEST).

Fernanda Janaína Oliveira Gomes da Costa⁽²⁾

Engenharia de Alimentos pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) e Engenharia Química pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC-PR). Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela UEPG. Doutora em Engenharia de Alimentos pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Engenheira técnica da Gerência de Pesquisa e Inovação da Diretoria de Meio Ambiente e Ação Social da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR).

Miguel Mansur Aisse⁽³⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Mestre em Engenharia Civil - Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (USP). Doutor em Engenharia Civil - Engenharia Hidráulica pela Universidade de São Paulo. Professor da Universidade Federal do Paraná (UFPR), junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (PPGERHA).

Gustavo Rafael Collere Possetti⁽⁴⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal do Paraná (UFPR) e Engenheiro Eletricista pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Mestre em Ciências e Doutor em Ciências pela UTFPR. Gerente de Pesquisa e Inovação da Diretoria de Meio Ambiente e Ação Social da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR). Professor do Programa de Mestrado Profissional em Governança e Sustentabilidade do Instituto Superior de Administração e Economia do Mercosul (ISAE-FGV).

Charles Carneiro⁽⁵⁾

Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Mestre em Ciências do Solo pela UFPR. Doutor em Geologia – Geoquímica de Águas pela UFPR. Pós-Doutor em Engenharia e Ciência da Água pela UNESCO-IHE. Professor do Programa de Mestrado Profissional em Governança e Sustentabilidade do Instituto Superior de Administração e Economia do Mercosul (ISAE-FGV). Coordenador de Gestão Ambiental na Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável e do Turismo (SEDEST).

Endereço⁽¹⁾: Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável e do Turismo (SEDEST) - Rua Desembargador Motta, nº 3384, Mercês, Curitiba - PR, CEP: 80430-200, Tel.: +55 (41)99721-7793, e-mail: aanacarolinepaulaa@gmail.com.

RESUMO

Durante a operação dos sistemas anaeróbios ocorre a formação de alguns subprodutos, dentre os principais pode-se citar o lodo e o biogás. O lodo consiste em uma complexa mistura de substâncias orgânicas, inorgânicas e microrganismos e pode ser utilizado na agricultura como fertilizante. O biogás, formado por uma mistura gasosa, possui em sua composição metano (70 a 80)%, nitrogênio (10 a 25)%, dióxido de carbono (5 a 10)% e concentrações de (1000 a 2000) ppm de sulfeto de hidrogênio e pode ser utilizado como combustível alternativo e para a geração de energia elétrica e/ou térmica. Assim, tendo em vista que esses dois subprodutos formados durante o tratamento do esgoto doméstico em reatores do tipo UASB são de grande importância, e a fim de buscar esclarecimentos quanto as relações entre eles, o presente trabalho objetivou avaliar as correlações entre a produção de biogás e parâmetros físico-químicos do lodo, proveniente de reatores anaeróbios do tipo UASB modificado, tratando esgoto doméstico, em escala real. Com os resultados obtidos pode-se concluir que as correlações encontradas foram inferiores ao nível de significância adotado ($\alpha = 5\%$), indicando que há evidências inconclusivas sobre a significância da associação entre as variáveis.

PALAVRAS-CHAVE: Correlações, Lodo, Reatores UASB.

INTRODUÇÃO

Um subproduto gerado durante a etapa de tratamento do esgoto doméstico é o lodo e, suas características são consequência da composição do esgoto afluente, do sistema de tratamento implantado e do método de operação adotado (BITTENCOURT, 2014).

A composição do lodo oriundo do tratamento anaeróbio consiste em uma complexa mistura de substâncias orgânicas, inorgânicas e microrganismos, sendo que alguns dos principais compostos, como os nutrientes (nitrogênio, fósforo, cálcio, magnésio e outros), são extremamente benéficos, podendo ser utilizados na agricultura. Contudo, a presença de patógenos, metais pesados e outros compostos prejudiciais, faz com que seja necessário o adequado gerenciamento e condicionamento do lodo, visando evitar possíveis contaminações ao meio ambiente e a saúde humana (MANARA; ZABANIOTOU, 2012; WIECHMANN et al. 2013).

Além disso, assim como o biogás, o lodo é um subproduto com potencial para aproveitamento e quando condicionado corretamente pode ser aplicado para fins energéticos.

Segundo von Sperling e Gonçalves (2001), a produção de lodo está diretamente relacionada com o sistema e a etapa de tratamento utilizado para fase líquida, por exemplo os processos que recebem esgoto bruto em decantadores primários, geram o lodo primário, composto principalmente por sólidos sedimentáveis. Na etapa biológica de tratamento, tem-se a geração do lodo biológico, também denominado de lodo secundário, composto pela biomassa que cresceu utilizando o esgoto afluente como alimento. A mistura do lodo primário com o lodo secundário, gera o lodo misto. E, em sistemas de tratamento físico-químicos, tem-se a produção do lodo químico.

A frequência, quantidade e forma de descarte do lodo também variam conforme os sistemas de tratamento de esgoto utilizados nas ETEs. O descarte do lodo biológico de reatores do tipo UASB, por exemplo, normalmente ocorre de 15 em 15 dias, sendo necessário para manter o sistema em equilíbrio, uma vez que como esse lodo compreende a biomassa de microrganismos, está em constante crescimento por conta da entrada contínua de matéria orgânica (VON SPERLING; GONÇALVES, 2001).

OBJETIVO

Isto posto, o presente trabalho teve por objetivo relatar os resultados das correlações entre a produção de biogás (vazão de biogás e de metano) e parâmetros físico-químicos do lodo (DQO, ST, STF e STV), proveniente de reatores anaeróbios do tipo UASB modificado, tratando esgoto doméstico, em escala real.

METODOLOGIA

Área de estudo

O experimento foi realizado na cidade de Curitiba, estado do Paraná, em uma ETE de porte médio (vazão média afluente de 320 L.s⁻¹), que possui gradeamento manual grosseiro e fino, gradeamento mecanizado, medidor de vazão do tipo calha Parshall, 6 reatores anaeróbios do tipo UASB modificado, lagoa aerada mecanizada e lagoa de decantação. Durante o tratamento do esgoto doméstico na respectiva ETE, ocorre a produção de biogás e lodo. O biogás é destruído na própria Estação, em queimadores enclausurados com eficiência de aproximadamente 99%. O lodo é encaminhado para uso agrícola, sendo que para isso passa pelos processos de desaguamento e estabilização alcalina prolongada (EAP).

Coleta e caracterização do biogás

A amostragem da vazão de biogás foi realizada através de um medidor por dispersão térmica, modelo *Thermathel® TA2 Enhanced*, marca *Magnetrol* (faixa de medição de 0,05 a 200 N.m.s⁻¹ e resolução de $\pm 1\%$), instalado na tubulação de saída do biogás para o queimador. Para leitura dos resultados mensurados foi conectado ao medidor de vazão um *datalogger*, configurado para memorizar os dados a cada 30 segundos, o que totalizou 43.200 dados amostrados.

A amostragem da concentração de metano presente no biogás foi realizada através de um medidor fixo de gases (BioControl, marca Sewerin, modelo Multitec 545), por meio do método infravermelho. Os resultados foram transmitidos a cada 5 minutos para uma plataforma online, totalizando 4.320 dados amostrados.

Coleta e caracterização do lodo

A amostragem do lodo foi realizada no perfil dos seis reator UASB, sendo que primeiramente foi realizada uma amostragem pontual em cada reator, e posteriormente o lodo coletado pontualmente foi misturado, objetivando uma amostragem composta dos seis reatores presentes na ETE.

As análises para cada parâmetro foram realizadas 3 vezes ao dia, em 3 dias consecutivos de uma semana, às 8h, 12h e 16h semana (segunda-feira, terça-feira e quarta-feira), sendo que esse procedimento foi repetido ao longo de cinco meses. Como foram realizadas 5 campanhas de monitoramento, totalizou-se 45 dados amostrados para cada um dos parâmetros do lodo biológico (DQO, ST, STF e STV), correspondendo a um total de 180 dados gerados. Todas as análises foram realizadas em laboratório, seguindo as orientações do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012).

Análise estatística

Foram realizadas análises estatísticas de correlação pelo método de Spearman, por meio do software Minitab® 18. Para avaliação dos resultados, considerou-se a magnitude dos coeficientes de acordo com o estabelecido por McSeveny et al. (2009) (Tabela 1). Ademais, o nível de confiança empregue foi de 95% ($\rho = 0,05$) e a incerteza das medições foi avaliada por intermédio do desvio padrão.

Tabela 1: Magnitude dos coeficientes de correlação de Spearman

Magnitude	Interpretação
0,00	Não há correlação
0,00 – 0,19	Muito fraco
0,20 – 0,39	Fraco
0,40 – 0,59	Moderado
0,60 – 0,79	Forte
0,80 – 1,00	Muito forte

Fonte: McSeveny et al. (2009).

RESULTADOS OBTIDOS

A Tabela 2 apresenta a estatística descritiva dos dados de vazão de biogás e de metano. A vazão média de biogás foi de 12,05 ($\pm 6,17$) N.L.s⁻¹ e a vazão de metano foi em média 10,00 ($\pm 5,26$) N.L.s⁻¹.

Tabela 2: Valores de vazão de biogás e de metano

Parâmetros	Vazão de biogás (N.L.s ⁻¹)	Vazão de metano (N.L.s ⁻¹)
Média	12,05	10,00
Mediana	10,59	8,60
Desvio padrão	6,17	5,26
Máximo	29,33	24,54
Mínimo	2,07	1,70

A Tabela 3 apresenta as estatísticas descritivas dos dados de DQO e sólidos. Quanto à DQO, o lodo avaliado apresentou valor médio de (60,95 $\pm$ 5,26) g.L⁻¹. Com relação aos sólidos do lodo, a média de ST foi de (5,17 $\pm$ 3,04)% m/m. Deste total, a média de STV foi de (3,76 $\pm$ 2,16)% m/m e a média de STF foi de (1,41 $\pm$ 0,91)% m/m.

Tabela 3: Estatística descritiva dos dados de DQO, ST, STF e STV do lodo

Parâmetros	DQO (g.L ⁻¹)	ST (% m/m)	STF (% m/m)	STV (% m/m)
Média	60,96	5,17	1,41	3,76
Mediana	59,20	4,76	1,27	3,49
Desvio padrão	35,26	3,04	0,91	2,13
Máximo	163,52	21,17	6,22	14,95
Mínimo	11,20	2,05	0,51	1,54
Número de amostras	45	45	45	45

A Tabela 4 apresenta os coeficientes de correlação de Spearman, entre a DQO, ST, STF e STV do lodo com vazão de biogás e de metano.

Tabela 4: Coeficiente de correlação de Spearman para DQO, ST, STF e STV do lodo biológico

Parâmetros	DQO	ST	STF	STV
Vazão de biogás	-0,153	0,037	0,014	0,042
Vazão de metano	-0,137	0,019	0,000	0,018

A Figura 1 apresenta o comportamento temporal da vazão de biogás, vazão de metano e dos parâmetros físico-químicos do lodo (DQO, ST, STF e STV).

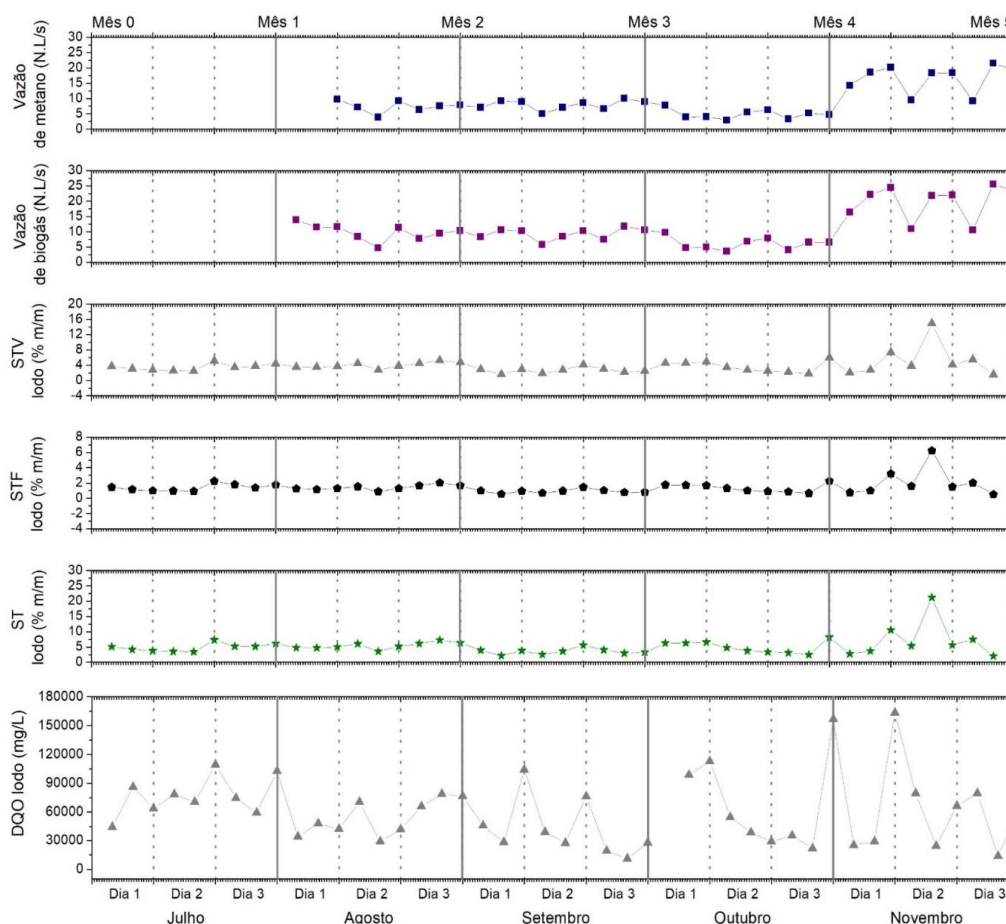


Figura 1: Curvas de vazão de metano (a), vazão de biogás (b), STV do lodo (c), STF do lodo (d), ST do lodo (e) e DQO do lodo (f) em função do tempo para um intervalo de 5 meses

Nota: As linhas dos gráficos representam guias visuais, para auxiliar na verificação do comportamento de cada parâmetro ao longo do tempo.

ANÁLISE E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

De acordo com von Sperling e Gonçalves (2001), o lodo oriundo de reatores UASB geralmente apresenta concentrações de sólidos totais de 3 a 6%. Assim, conforme pode ser verificado da Tabela 3, os valores de sólidos totais do lodo, obtidos na ETE objeto de estudo, estão dentro do reportado na literatura.

Ademais, a relação entre SVT/ST indicou média de $(0,73 \pm 0,02)$, sendo que este valor encontra-se dentro da faixa de 0,55 e 0,80 indicada por von Sperling e Gonçalves (2001) e Jordão e Pessoa (2011) para lodo anaeróbico oriundo de reatores do tipo UASB. O valor obtido indica também que o lodo amostrado encontra-se quase estabilizado (não apresenta potencial de geração de odores e atratividade de vetores), podendo certamente ser utilizado na agricultura após higienização, uma vez que a Resolução Conama 375/06 define que para uso agrícola a relação entre sólidos voláteis totais e sólidos totais deve ser inferior a 0,70. Destaca-se, que como a amostragem foi realizada no perfil do reator, foram amostrados tanto lodo antigo quanto novo, assim provavelmente a relação não atingiu valores inferiores a 0,70 pela presença de lodo recente.

Como pode ser verificado na Tabela 4, os coeficientes de Spearman indicam que as correlações entre a DQO do lodo e as duas variáveis do gás (vazão de biogás e vazão de metano), são muito fracas e inversamente proporcionais. Além disso, os valores de ρ obtidos (0,372 e 0,441) são superiores ao nível de significância adotado ($\rho > 0,05$), indicando que as correlações não são estatisticamente significativas. Na Tabela 4 também estão apresentadas correlações de Spearman entre ST, STF e STV do lodo com vazão de biogás e de metano, as quais indicaram correlações nulas ou muito baixas. Além disso, os valores de ρ obtidos foram maiores do que o nível de significância de 0,05, indicando que há evidências inconclusivas sobre a significância da associação entre as variáveis.

Observando-se a Figura 1 percebe-se que o comportamento da DQO é variável ao longo do tempo e apresenta mínimos e máximos em horários distintos do dia. Na Figura 1 pode-se verificar também o comportamento característicos dos ST, STF e STV do lodo biológico, sendo que para os três parâmetros verifica-se pequenas amplitudes ao longo do tempo, diferentemente do constatado para produção de biogás e de metano.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A produção de biogás e de metano, apresentou curvas-padrão com intervalo de aproximadamente 1 dia, com as vazões máximas e mínimas apresentando comportamento temporal variável, periódico e não-estacionário, conforme literatura.

A DQO obtida para o lodo biológico foi em média igual a $(60,95 \pm 5,26) \text{ g.L}^{-1}$. As estatísticas descritivas para os sólidos (ST e STV), permitiram constatar que os parâmetros estão dentro dos limites pré-estabelecidos na literatura.

Para o lodo biológico as correlações obtidas entre DQO, ST, SVT, SFT e a produção de biogás e de metano, foram inferiores ao nível de significância adotado ($\alpha = 5\%$). Além disso, apenas por meio dos gráficos não foi possível verificar de forma clara o comportamento da DQO. As concentrações de sólidos apresentaram pequenas amplitudes ao longo do tempo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) e ao Projeto Brasil – Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil (PROBIOGÁS), pelo financiamento da pesquisa. A Universidade Federal do Paraná (UFPR), a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Estações de Tratamento de Esgoto Sustentáveis (INCT ETES Sustentáveis), a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e a Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável e do Turismo (SEDEST) pelo apoio demonstrado. E ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão das bolsas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA, American Public Health Association, AWWA, American Water Works Association, WEF, Water Environment Federation. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21^a Ed. New York, 2012.
2. MCSEVENY, A., CONWAY, R., WILKES, S., SMITH, M. International Mathematics For The Middle Year 5. Pearson Australia, p. 751, 2009.
3. VON SPERLING, M., GONÇALVES, R.F. Lodo de esgotos: características e produção. In: ANDREOLI, C.V., VON SPERLING, M., FERNANDES, F. (Ed.). *Lodo de esgotos: tratamento e disposição final*. Belo Horizonte: UFMG – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Curitiba: Sanepar, 2001. p. 17-67, 2001.
4. JORDÃO, E. J., PESSOA, C.A. Tratamento de Esgotos Domésticos. 6^a ed. Rio de Janeiro: ABES, 1050 p., 2011.
5. PAULA, A. C. Avaliação integrada do desempenho de reatores anaeróbios do tipo UASB tratando esgoto doméstico em escala real. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade Federal do Paraná, 221 pp., 2019.
6. BITTENCOURT, S. Gestão do processo de uso agrícola de lodo de esgoto no estado do Paraná: Aplicabilidade da Resolução CONAMA 375/06. 2014. 257 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Paraná, 2014.
7. MANARA, P., ZABANIOTOU, A. Towards sewage sludge based biofuels via thermochemical conversion – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 16, p. 2566 – 2582, 2012.
8. WIECHMANN, B., DIENEMANN, C., KABBE, C., BRANDT, S., VOGEL, I., ROSKOSCH, A. Sewage sludge management in Germany. Bonn: Umweltbundesamt, 2013.
9. VON SPERLING, M., GONÇALVES, R.F. Lodo de esgotos: características e produção. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. (Ed.). *Lodo de esgotos: tratamento e disposição final*. Belo Horizonte: UFMG – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Curitiba: Sanepar, 2001. p. 17-67, 2001.