

II-297 - AVALIAÇÃO PRELIMINAR DE DIGESTOR ANAERÓBIO TRATANDO LODO DE ETE SOB CONDIÇÕES MESOFÍLICAS**Wanderli Rogério Moreira Leite⁽¹⁾**

Engenheiro Ambiental pela Universidade do Estado do Pará. Mestrando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina. Bolsista do CNPq.

Anigeli dal Mago

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina. Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina.

Marina Daniele Antao

Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina. Bolsista IC/CASAN.

Christian Milanez Preis

Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina. Bolsista CNPq/PIBIC.

Paulo Belli Filho

Professor do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina. Engenheiro Sanitarista formado pela UFSC. Mestre pela EESC/USP. Doutor pela Université de Rennes.

Endereço⁽¹⁾: Departamento de Engenharia Ambiental - Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Laboratório de Efluentes- Campus Universitário - Trindade - Florianópolis, SC, CEP - 88010-970. Caixa Postal 476, Telefone: (48) 3331-7743. E-mail engleite@gmail.com

RESUMO

Os lodos biológicos são resíduos inevitáveis do tratamento dos esgotos e este processo não pode funcionar corretamente a menos que o lodo residual seja devidamente gerido. A maior preocupação com os lodos restringe-se a sua estabilização e sua desidratação para se atingir um teor de sólidos totais na faixa de 15% a 40%, visando sua retirada por caminhões, porém sem uma definição clara do seu destino final. Devido à ênfase na conservação e recuperação de energia e na conveniência de se obter um uso benéfico do biossólido residual, a digestão anaeróbia continua a dominar os processos de estabilização de lodos. Além disso, a digestão anaeróbia de lodos de esgotos pode em muitos casos, produzir gases suficientes para suprir a demanda de energia do processo e assim valorizar esse resíduo orgânico. Desta forma, o presente trabalho apresenta uma avaliação preliminar de um digestor anaeróbio tratando lodo de ETE adensado sob condições mesofílicas de temperatura com vistas à redução de seu volume, mineralização e produção de gás metano. O estudo ocorreu em um digestor piloto de 100L dotado de sistema de aquecimento e mistura, operado em fluxo semi-contínuo e com incremento gradual da carga orgânica volumétrica - COV. As COV aplicadas foram 0,5, 1,0 e 1,5 kg SV.m⁻³.d⁻¹. A estabilidade do processo anaeróbio em termos do pH e do potencial redox foi mantida no sistema, o que refletiu nas degradações dos STV e na produção de biogás e na composição média de metano (61%) evidenciando a existência de atividade metanogênica dentro do digestor de lodo. A redução de sólidos voláteis foi superior a 50% para as cargas de 0,5 e 1,0 kgSV.m⁻³.d⁻¹. Em 1,5 kgSV.m⁻³.d⁻¹ obteve-se a maior massa de DQO removida (12,1kg.d⁻¹) além de uma satisfatória produtividade de metano (0,10LCH₄.gSV_{degradado}⁻¹.d⁻¹). Verificou-se que o digestor anaeróbio foi capaz de degradar a matéria orgânica do lodo bruto para diferentes vazões afluentes o que valoriza a aplicação de cargas de resíduo cada vez maiores neste sistema.

PALAVRAS-CHAVE: Digestão anaeróbia, lodo de ETE, Carga orgânica volumétrica, Biogás, Gás metano.

INTRODUÇÃO

O objetivo do tratamento dos esgotos domésticos é produzir um efluente que não cause nenhum dano nem aos cursos d'água nem ao ecossistema no qual eles estão inseridos. Ao fazê-lo, no entanto, as estações de tratamento de esgotos (ETE) produzem um indesejável produto: o lodo. Segundo Metcalf e Eddy (2003) o lodo resultante das operações e processos de tratamento se apresentam geralmente na forma líquida ou semi-sólida contendo normalmente entre 0,25 a 12% de sólidos orgânicos e inorgânicos (por peso), dependendo das operações e dos processos utilizados.

Para Mrayyan e Hamdi (2006) o lodo é conhecido como um subproduto inevitável do tratamento das águas residuárias, sendo considerado perigoso devido ao alto conteúdo de metais pesados e oligo-elementos, além de outras substâncias perigosas em sua constituição. Os autores ressaltam ainda que ao se fazer disposição de lodos no solo o teor de substâncias tóxicas deve ser rigorosamente controlado para se evitar a lixiviação e a contaminação de águas subterrâneas.

De acordo com Turonskiy e Mathai (2006) o lodo pode ser considerado indesejável em termos econômicos já que o seu custo de gestão pode variar entre 40% a 50% dos custos totais de uma ETE, embora sua produção seja em média 1% da quantidade de esgotos tratados. Este custo é originário do equipamento sofisticado e do relativo período de tratamento necessário, o qual deve não apenas satisfazer as exigências da regulamentação imposta para proteção do meio ambiente e da saúde pública, como também ser rentável (MATHIOUDAKIS et al., 2009).

A digestão anaeróbia (DA) de lodo de ETE é um processo de elevada importância para a estabilização do excesso de sólidos voláteis e uma via de recuperação de energia a partir do gás metano. A produção de biogás como fonte alternativa de energia renovável, é uma das vantagens da biotecnologia anaeróbia e por isto a razão para o futuro promissor deste processo (ERSAHIN et al., 2001). Para Nges e Liu (2010) as vantagens da digestão anaeróbia incluem ainda: redução de 30-50% do volume requerido para a disposição final, a produção de resíduos inodoros quando totalmente digerido e uma alta taxa de destruição de patógenos particularmente com o processo termofílico.

O objetivo deste trabalho é apresentar os resultados da operação de um digestor anaeróbio, piloto, em condições mesofílicas para tratar lodos de ETE tipo lodos ativados. Foram avaliadas a eficiência de tratamento e produção de metano a partir da biodegradação anaeróbia do lodo bruto, para diferentes cargas volumétricas de sólidos voláteis no digestor.

MATERIAIS E MÉTODOS

O sistema experimental em escala piloto foi instalado nas dependências da ETE Insular no município de Florianópolis, Santa Catarina. A ETE Insular possui um sistema de tratamento de esgotos do tipo lodos ativados de aeração prolongada que atende um equivalente populacional de aproximadamente 130.000 habitantes.

O estudo da digestão anaeróbia do lodo adensado ocorreu em um digestor cilíndrico construído em aço inoxidável, com volume de reação de 100L e 15L para armazenamento de biogás. Dotado de sistema de aquecimento e mistura, o digestor foi operado em fluxo semi-contínuo.

A representação esquemática do digestor de lodo utilizado na presente pesquisa pode ser visualizada na Figura 1.

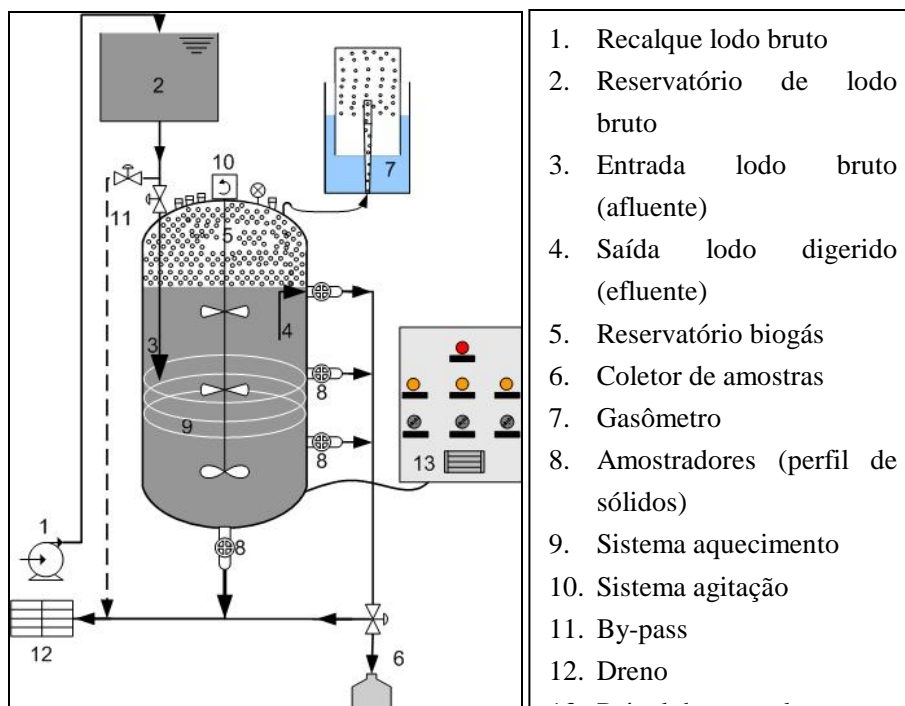


Figura 1 Representação esquemática do sistema de digestão anaeróbia de lodo adensado.

A cada nova alimentação, um volume de lodo bruto era adicionado no digestor. Simultaneamente, e por efeito de pressão hidrostática, um volume teórico de lodo digerido era removido. A saída de lodo digerido estava condicionada, portanto à operação de adição de lodo afluente no digestor.

Para a partida do digestor em condições mesofílicas este foi inoculado com lodo granular proveniente de um reator anaeróbio de manta de lodo (UASB). A relação lodo adensado/lodo anaeróbio obtida foi de 80:20 em volume, o que corresponde a um volume de 74L de lodo adensado e 26L de lodo anaeróbio inicialmente. As concentrações de sólidos totais e sólidos voláteis para o lodo adensado correspondem respectivamente a 33,0 g.L⁻¹ e 23,5 g.L⁻¹. Com relação ao lodo anaeróbio, as concentrações de sólidos totais e sólidos suspensos voláteis correspondem a 18,9 g.L⁻¹ e 9,5 g.L⁻¹, respectivamente. As principais características do inóculo e do substrato usados estão presentes na Tabela 1.

Tabela 1 Características do lodo usado como inóculo e substrato.

Parâmetro	Valor
<i>Inóculo</i>	
Temperatura (°C)	33,5 ± 0,1
Sólidos totais (g.L ⁻¹)	18,9 ± 1,0
Sólidos suspensos voláteis (g.L ⁻¹)	9,5 ± 0,9
pH	6,92 ± 0,9
AME (gDQO-CH ₄ ·gSSV ⁻¹ ·d ⁻¹)	0,02 ± 0,01
<i>Substrato</i>	
Temperatura (°C)	20,1 ± 0,1
Sólidos totais (g.L ⁻¹)	33,0 ± 0,8
Sólidos voláteis totais (g.L ⁻¹)	23,5 ± 0,5
Umidade (%)	97,6 ± 0,1
DQO (g.L ⁻¹)	31,48 ± 0,6
pH	6,6 ± 0,2

Os valores apresentados nas Tabela 2 foram utilizados para a determinação das variáveis hidráulicas do funcionamento do sistema durante a partida do digestor, tais como carga orgânica volumétrica aplicada (COV) e tempo de detenção hidráulico (TDH). Após a inoculação, trabalhou-se com uma COV de 0,5 kgSTV·m⁻³·d⁻¹

para garantir uma adaptação gradativa do inóculo ao substrato, acarretando uma vazão de $2 \text{ L} \cdot \text{dia}^{-1}$ e TDH de 47 dias.

Investigou-se o efeito do aumento da COV na digestão do lodo adensado, objetivando a aplicação de volumes afluentes cada vez maiores no digestor. Apples et al (2008) todavia, ressaltam que a maior desvantagem de tal estratégia seja a perda da eficiência de destruição dos sólidos voláteis, uma condição que leva no incremento do volume de lodo residual para futura disposição final. Entretanto esta estratégia é avaliada por diversos autores, submetendo os sistemas de digestão até a carga orgânica volumétrica limite que garanta a eficiência da remoção dos sólidos voláteis sem prejuízo na qualidade do lodo efluente (NGES;LIU, 2010; BOLZONELLA et al., 2005).

As cargas sofreram incremento ($1,0 \text{ kgSVT} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ e $1,5 \text{ kgSVT} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$) conforme o alcance do mínimo de 50% na remoção de sólidos voláteis totais (SVT) e da demanda química de oxigênio total (DQOt), sendo estas mudanças ocorridas nos 44º ($0,5 \text{ kgSV} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1} \rightarrow 1,0 \text{ kgSV} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$) e 64º dias de operação ($1,0 \text{ kgSVT} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1} \rightarrow 1,5 \text{ kgSVT} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$).

A Tabela 2 exibe as variáveis ambientais relacionados ao sistema de digestão anaeróbia de ETE, seus pontos de coleta, a periodicidade das análises e os respectivos métodos, baseados em APHA *et al.* (2005).

Análise	Local		Periodicidade	Método
	Lodo bruto	Efluente/ Digestor		
pH, Eh, T	X	X	2 x semana	Leitura direta em sonda multiparâmetros
DQO	X	X	2 x semana	Colorimétrico, refluxo fechado
ST, STF, STV	X	X	2 x semana	Gravimétrico
CH ₄ , CO ₂		X	1 x semana	Analisador de gás GEM 2000

RESULTADOS

pH e potencial de oxidação-redução

Observa-se na Figura 2 que o pH do lodo adensado se apresentou nos primeiros 40 dias menos ácido que nos últimos registros. Isto pode ser justificado pela redução da alcalinidade e consequente perda do efeito tampão (verificado *in loco*) nos reatores biológicos aerados onde são produzidos os lodos adensados. O pH do lodo digerido foi invariavelmente superior ao do lodo adensado com picos próximos a neutralidade (7,0), entretanto em geral, permanecendo na faixa de 6,5 e 7,0. As reduções no pH do lodo adensado não influenciaram os resultados para o pH do digestor, em função da existência de características ótimas de degradação no digestor (temperatura, agitação, nutrientes, alcalinidade).

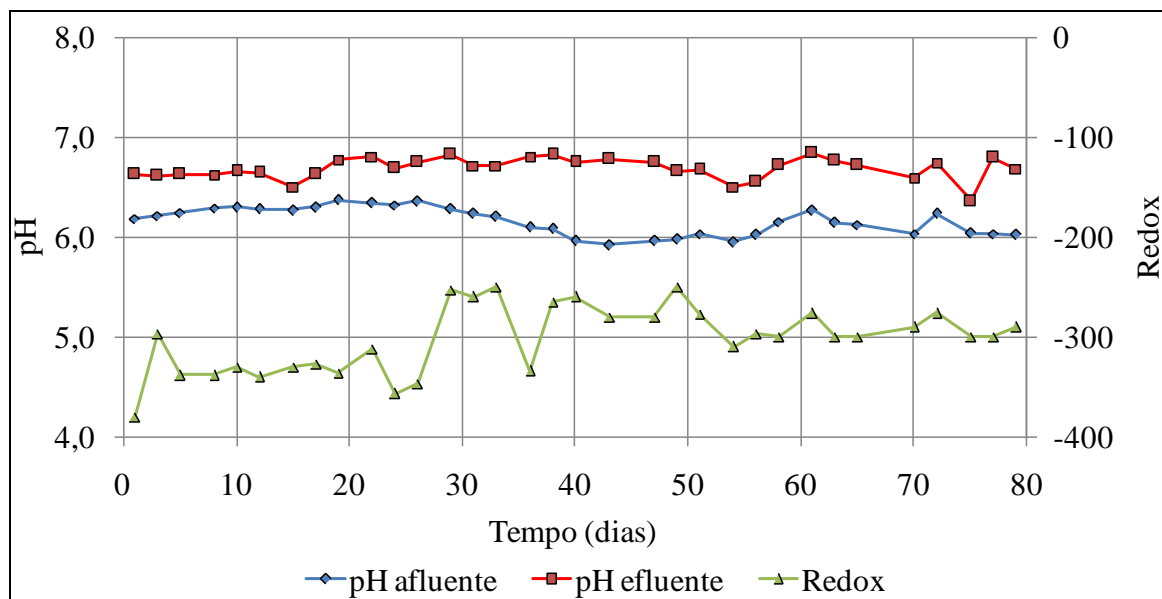


Figura 2 Comportamento do pH e do potencial de oxi-redução durante o período de estudo.

O potencial de oxi-redução do digestor constatado variou entre -400 e -250 (figura 2-b), sendo esta faixa de resultados ótima para o processo anaeróbio (CHERNICHARO, 1997) pois indica a existência de ambiente redutor (ausência de oxigênio). Nessas condições é esperado que o metabolismo anaeróbio produza acetato e hidrogênio os quais são utilizados como aceptores finais de elétrons, com consequente produção de biogás e metano, como é evidenciado na figura 3 pela produção ininterrupta destes gases.

Demanda química de oxigênio

O lodo adensado apresentou uma concentração de DQO constante, em média de $35,0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$, com pequenas variações ao longo do tempo. Para esta variável o lodo digerido apresentou concentração inferior ao lodo adensado, sendo que nas ocasiões de elevação da carga orgânica volumétrica aplicada, a concentração da DQOt deste foi próxima a do lodo adensado (Figura 3).

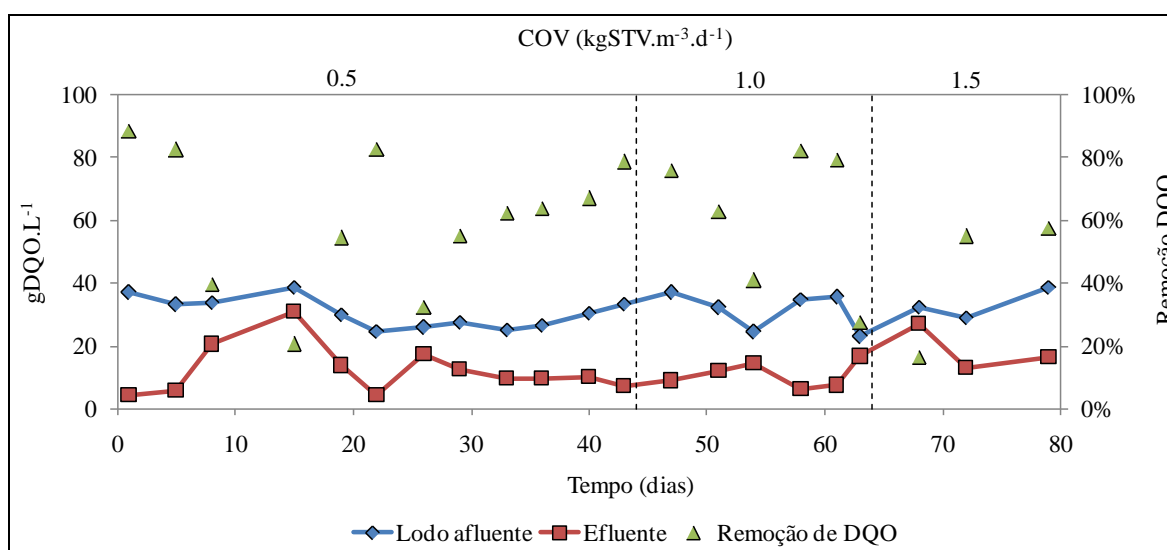


Figura 3 Comportamento da DQO em função da COV aplicada.

O comportamento similar da remoção das duas variáveis atesta a aplicabilidade de validação dos dados de STV com os dados da DQO quanto à remoção da matéria orgânica existente no lodo em pesquisa.

Para o funcionamento em $0,5 \text{ kgSTV} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ a carga afluyente e efluente ao digestor foi respectivamente $64,66 \pm 10,0$ e $25,68 \pm 16,33 \text{ gDQO} \cdot \text{d}^{-1}$, o que resultou em uma degradação de $38,98 \text{ gDQO} \cdot \text{d}^{-1}$. Para a primeira variação da COV, a carga de DQO afluyente aumentou 1,6 vezes ($130,65 \pm 25,31 \text{ gDQO} \cdot \text{d}^{-1}$), enquanto que a degradação duplicou ($84,88 \text{ gDQO} \cdot \text{d}^{-1}$).

A remoção de DQO foi superior a 50% para o funcionamento do digestor com COV $1.5 \text{ kgSV} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$, com taxa de remoção de $12.1 \pm 2.7 \text{ kgDQO} \cdot \text{d}^{-1}$. Em relação ao início do processo anaeróbio, a proporção $\text{DQO}_{\text{efluente}}/\text{DQO}_{\text{afluyente}}$ (m/v) apresentou discreta variação (0.35-0.40) mesmo após as mudanças de carga orgânica volumétrica aplicada, evidenciando o equilíbrio do digestor em suportar o aumento da COV sem prejuízos na eficiência de degradação da matéria orgânica.

Série de sólidos

Verifica-se um comportamento constante da fração volátil no lodo adensado, variando entre $25,35 \pm 3.2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, fato este que evidencia pouca variação na produção de lodo nos tanques de aeração e da operação de adensamento na ETE. O lodo efluente apresentou concentração de sólidos voláteis inferior ao lodo afluyente, com faixa de concentração entre 5,0 e 10,0 $\text{gSTV} \cdot \text{L}^{-1}$, como se observa na Figura 4.

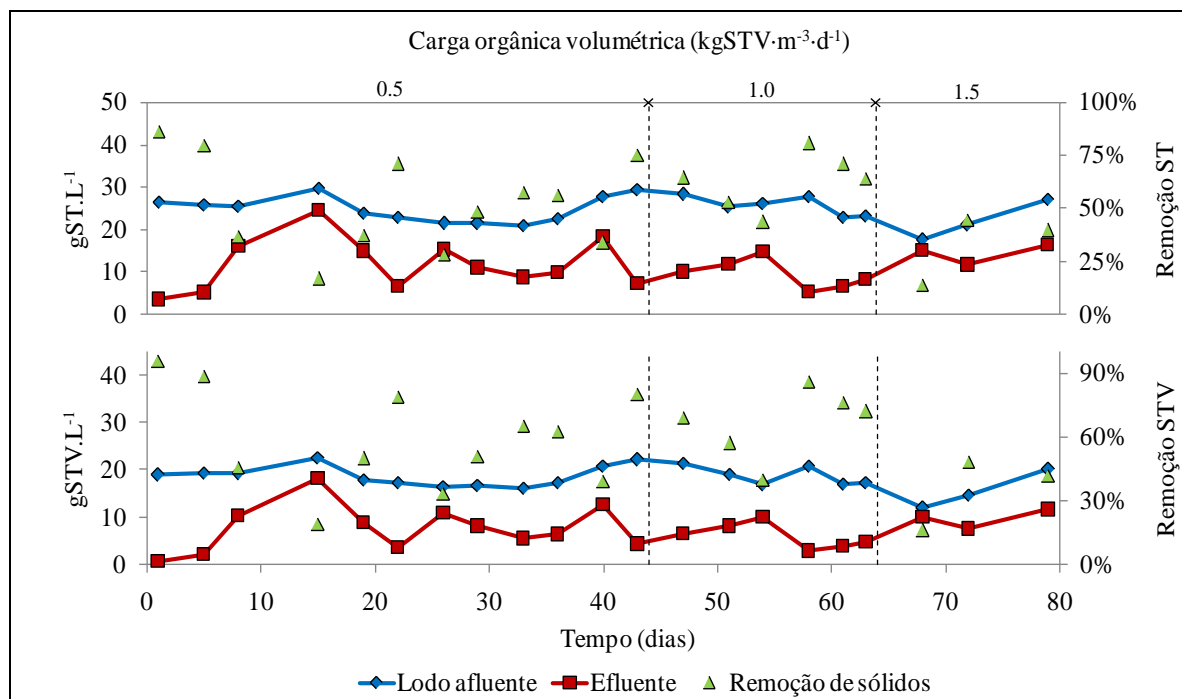


Figura 4 Variação da concentração de sólidos em função da COV aplicada.

O digestor anaeróbio funcionou 43 dias com COV de $0.5 \text{ kgSTV} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ e resultou em eficiências de degradação de sólidos voláteis superiores a 50% logo nos 30 primeiros dias. Com aumento da COV para $1.0 \text{ kgSTV} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$, ocorreu aumento da disponibilidade de SV para os microorganismos, que tiveram uma adaptação equilibrada, elevando a degradação dos SV a uma média de $66.7\% \pm 16.1$ durante os 20 dias de funcionamento nestas condições.

Foi observada uma rápida instabilidade do processo após o aumento da COV para $1.5 \text{ kgSV} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ provavelmente dado pelo aumento da carga hidráulica volumétrica de 0.04 para $0.06 \text{ L} \cdot \text{L}_{\text{digestor}}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$. O digestor porém obteve rápida recuperação. As eficiências de remoção de sólidos voláteis estiveram em geral superiores aos valores comuns, situados entre 27-43,5% (SONG et al., 2004; NGES; LIU, 2010; BOLZONELLA et al., 2005; GE et al., 2011).

Para a COV de $1.5 \text{ kgSV} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ uma massa de aproximadamente 11.2 kgSTV entrou no digestor a cada alimentação. A massa de STV removida nesta carga ($5.0 \pm 0.6 \text{ kg}$) foi duas vezes maior que para a carga de $0.5 \text{ kgSTV} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ ($2.3 \pm 1.0 \text{ kg}$) e cerca de 7.1% menor que para a $1.0 \text{ kgSTV} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$.

A proporção média $gSTV_{\text{efluente}}/ST_{\text{efluente}}$ foi 0.65, 0.64 e 0.69 para 0.5, 1.0 e 1.5 $kgSTV.m^{-3}.d^{-1}$ respectivamente, na qual pode-se observar pouca variação na característica do lodo efluente embora a existência de incremento de carga orgânica no digestor. Esta evidência reflete na capacidade do digestor em degradar quantidades de matéria orgânica cada vez maiores sem necessidade de intervenções no processo anaeróbio. Os microorganismos anaeróbios podem metabolizar os substratos orgânicos e desse modo evitar a sobrecarga de lodo (NGES; LIU, 2010) o que ressalta a capacidade do digestor de lodos a ter sua COV continuamente aumentada.

A Figura 5 exibe o comportamento da proporção de sólidos totais fixos. O aumento da concentração dos STF é uma importante vantagem quando se opta pela disposição final do lodo residual de ETEs em aterro sanitário. O lodo bruto afluente e o efluente do digestor apresentaram respectivamente constituição média de 28% e 35% em sólidos totais fixos (STF). Este aumento denota o incremento de STF no lodo efluente, isto é, a mineralização parcial do lodo bruto.

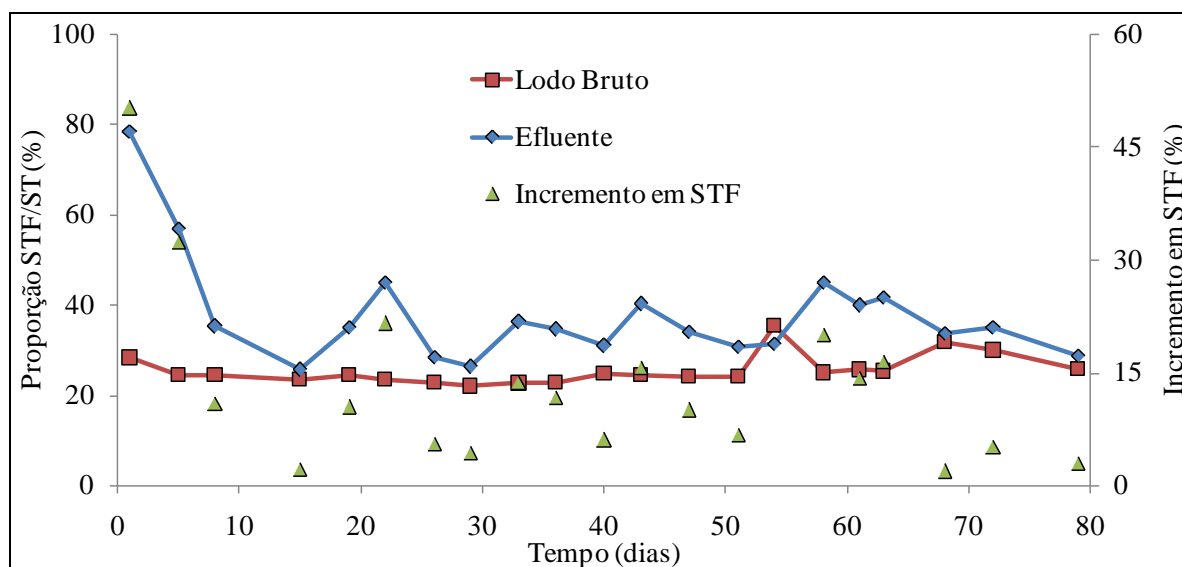


Figura 5 Comportamento dos sólidos fixos no digestor de lodos.

Biogás e gás metano

A Figura 6 exibe a eficiência de degradação dos STV e da DQO e a sua influência na produção de biogás e do gás metano. A produção de biogás e metano teve um aumento gradativo no início da operação do digestor e após as variações das cargas verificou-se oscilações. Produções mais elevadas foram obtidas na COV de 1,5 $kgSV.m^{-3}.d^{-1}$ haja vista a maior disponibilidade de substrato, conforme já observado nos resultados dos sólidos e da DQO (Figura 4).

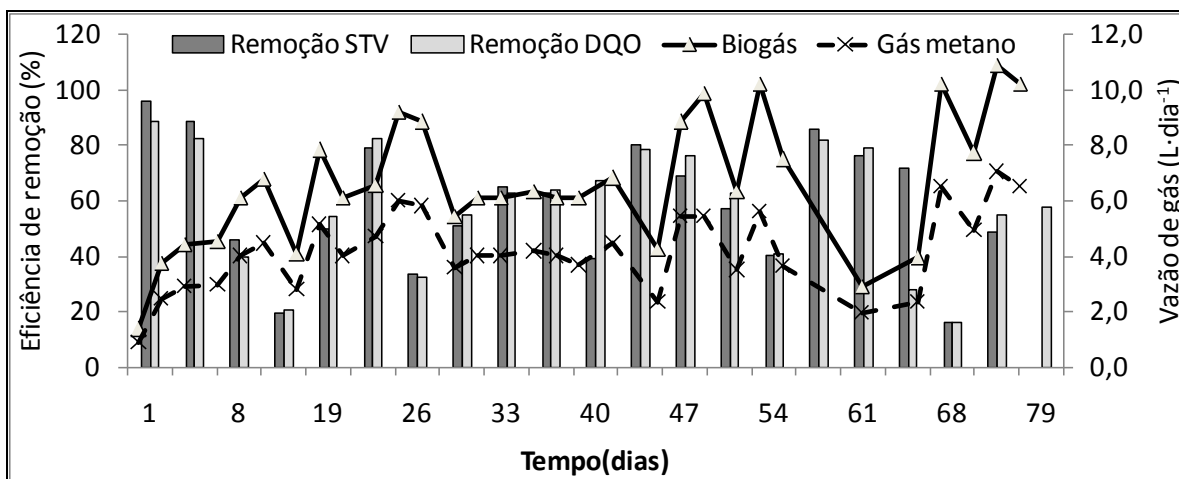


Figura 6 Produção de biogás e CH₄ e remoção de matéria orgânica no digestor de lodo.

A produção de biogás foi proporcional ao incremento da COV visto que a maior disponibilidade de substrato favoreceu o metabolismo da biomassa anaeróbia existente no digestor. A tabela x resume a produção de biogás e gás metano para as diferentes condições operacionais. Produziu-se cerca de $5,94 \pm 1,81 \text{ L} \cdot \text{d}^{-1}$ de biogás com a COV de $0,5 \text{ kgSTV} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$, e $7,65 \pm 2,87 \text{ L} \cdot \text{d}^{-1}$ para a operação em $1,5 \text{ kgSTV} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$, um aumento de 58% nesta produção. A Tabela 2 resume as características qualitativas e quantitativas do biogás produzido no digestor piloto.

Tabela 2 Características do biogás produzido no digestor de lodo.

COV	Avaliação quantitativa				Avaliação qualitativa				
	Biogás		Gás metano		Gás metano		Gás carbônico		Gás sulfídrico
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média
	L.dia ⁻¹		L.dia ⁻¹		%		%		ppm
0,5	5,94	1,81	3,90	1,19	65,73	2,09	29,87	2,32	1068,66
1,0	7,84	2,28	4,33	1,36	55,01	3,98	33,17	10,33	1276,53
1,5	7,65	2,87	4,89	1,91	63,91	2,66	36,49	4,83	667,95

A DA do lodo resultou na produção de 0,29, 0,13 e 0,25 $\text{L}_{\text{biogás}} \cdot \text{gSTV}_{\text{destruído}}^{-1}$, respectivamente para 0,5, 1,0 e 1,5 $\text{kgSV} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$, sendo estas menores que as encontradas em outros trabalhos. A produção medida está entre 0,6 a 1,12 $\text{L}_{\text{biogás}} \cdot \text{gSV}_{\text{destruído}}^{-1}$ (MALINA Jr; POHLAND, 1992; NAH et al., 2000; METCALF; EDDY, 2003; BOLZONELLA et al., 2005), no entanto os métodos de quantificação de biogás para os valores típicos encontrados são de medição instantânea, com alta precisão e reprodutibilidade de dados, o que pode influenciar na comparação de resultados.

O biogás apresentou composição média de $61,55 \pm 2,91\%$ de metano, inserido na faixa de valores comuns para gases de digestores anaeróbios (60-70% CH₄) (APPLES et al., 2008).

A produção específica de metano (PEM), baseado na remoção de STV do lodo bruto, apresentou pouca variação entre as diferentes cargas orgânicas volumétricas testadas. Nesta pesquisa, a PEM em relação às cargas orgânicas volumétricas aplicadas, foi maior para 0,5 $\text{kgSV} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$, com média de $0,19 \text{ LCH}_4 \cdot \text{gSV}_{\text{destruído}}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, estando de acordo com trabalhos realizados, que apresentam seus valores de 0,07-0,45 $\text{LCH}_4 \cdot \text{gSV}_{\text{destruído}}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ (ROBERTS et al., 1999; BOLZONELLA et al., 2005; WEI et al., 2011). Para a COV $1,5 \text{ kgSV} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$, este reduziu para $0,10 \text{ LCH}_4 \cdot \text{gSV}_{\text{destruído}}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$.

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

O digestor anaeróbico se mostrou eficaz em reduzir a concentração de matéria orgânica do lodo afluente.

A operação do digestor ocorreu em pH próximo à neutralidade (7,0) e um ambiente com potencial de oxidação-redução entre -250 e -400mV, característico de ambiente anaeróbico. O lodo efluente apresentou um aumento de 7% na consuição de STF, característica importante quando se opta pela disposição final do lodo residual de ETEs em aterro sanitário;

Foi possível aumentar a carga orgânica volumétrica sem prejuízos na eficiência de remoção de STV e DQO. A carga de sólidos voláteis removida foi duplicada entre a operação de 0,5 e 1,5 kgSTV·m⁻³·d⁻¹.

A produção de biogás foi proporcional ao incremento da COV visto que a maior disponibilidade de substrato favoreceu o metabolismo da biomassa anaeróbia existente no digestor. O incremento da COV de 0,5 a 1,5 kgSTV·m⁻³·d⁻¹ rendeu um aumento de 22% na produção de biogás. O biogás teve composição média de 61% ao longo de todo o experimento.

A produção de metano (L·d⁻¹) foi crescente com o incremento da COV, entretanto a maior e menor produção específica (LCH₄·gSTV_{degradado}⁻¹) foi obtida respectivamente para 0,5 e 1,5 kgSTV·m⁻³·d⁻¹. As evidências relativas ao incremento da COV são promissoras, pois ressalta e valoriza a aplicabilidade de digestores anaeróbios diante de crescentes produções de lodos em estações de tratamento de esgotos permitindo suas operações com maiores cargas orgânicas volumétricas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2005). 21th edn, American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington DC, USA.
2. APPELS, L.; BAEYENS, J.; DEGRÈVE, J. e DEWIL, R. Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. *Progress in Energy and Combustion Science*, n. 34; p.755–781. 2008.
3. BOLZONELAA, D.; PAVANB, P.; BATTISTONI, P.; CECCHI, F. Mesophilic anaerobic digestion of waste activated sludge:influence of the solid retention time in the wastewater treatment process. *Process Biochemistry*. N. 40; p. 1453-1460. 2005.
4. CHERNICHARO, C.A.L. Reatores anaeróbios – Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. v.5. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2001.
5. ERSAHIN, M. E.; GOMEZ, C. Y.; DERELI, R. K.; ARIKAN, O.; OZTURK, I. Biomethane production as an alternative bioenergy source from codigesters treating municipal sludge and organic fraction of municipal solid wastes. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, 8p. 2011.
6. GE H.; JENSEN, P. D.; BATSTONE D. J. (2011). Temperature phased anaerobic digestion increases apparent hydrolysis rate for waste activated sludge. *Water Research*, n. 45; p. 1597-1606. 2011.
7. MALINA JR., J.; POHLAND, F.G. Design of anaerobic process for the treatment of industrial and municipal wastes. In: *Water quality management library*. v.7, 213p. 1992.
8. MATHIOUDAKIS, V.L.; KAPAGIANNIDIS, A.G.; ATHANASOULIA, E.; DIAMANTIS, V.I.; MELIDIS, P.; AIVASIDIS, A. Extended dewatering of sewage sludge in solar drying plants. *Desalination*, n. 248, p. 733-739. 2009.
9. METCALF e EDDY. *Wastewater Engineering: treatment, disposal and reuse*. 4ª Ed. New York: McGraw-Hill, 2002.
10. MRAYYAN, B.; HAMDI, M. R. Management approaches to integrated solid waste in industrialized zones in Jordan: A case of Zarqa City. *Waste Management*, n. 26; p. 195-205. 2006.
11. NAH I. W.; KANG Y. W.; HWANG, K.-Y. e SONG W.-K.. Mechanical pretreatment of waste activated sludge for anaerobic digestion process. *Water Research*, n. 34, v. 8; p. 2362-2368. 2000.

12. NGES, I. A.; LIU, J. Effects of solid retention time on anaerobic digestion of dewatered-sewage sludge in mesophilic and thermophilic conditions. *Renewable Energy*, n. 35; p. 2200-2206. 2010.
13. ROBERTS, R.; DAVIES, W. J.; FORSTER, C. F. Two-stage, thermophilic-mesophilic anaerobic digestion of sewage sludge. *Trans IChemE*. v. 77, part B, March, p.93-97. 1999.
14. TURONSKIY, I.S. e MATHAI, P.K. *Wastewater sludge processing*. Wiley. 2006.
15. SONG Y.-C.; KWON S.-J. e WOO J.-H. Mesophilic and thermophilic temperature co-phase anaerobic digestion compared with single-stage mesophilic- and thermophilic digestion of sewage sludge. *Water Research*, n. 38; p.1653-1662. 2004.
16. WEI, L.-L.; ZHAO, Q.-L.; HU K.; LEE, D.-J.; XIE C.-M. e JIANG, J.-Q. Extracellular biological organic matters in sewage sludge during mesophilic digestion at reduced hydraulic retention time. *Water Research*, n. 45, p. 1472-1480. 2011.