

II-544 - AVALIAÇÃO DA SECAGEM TÉRMICA DE LODOS A PARTIR DO APROVEITAMENTO DO BIOGÁS PRODUZIDO EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO

Julio Cezar Rietow⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental e de Segurança do Trabalho pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR). Mestre e Doutorando em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental pelo Departamento de Hidráulica e Saneamento da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Integrante do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Estações Sustentáveis de Tratamento de Esgoto (INCT ETEs Sustentáveis).

Giovana Fagundes Kaminski⁽²⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Integrante do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Estações Sustentáveis de Tratamento de Esgoto (INCT ETEs Sustentáveis).

Isabella Storrer Mendes dos Santos⁽³⁾

Engenheira de Bioprocessos e Biotecnologia pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Integrante do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Estações Sustentáveis de Tratamento de Esgoto (INCT ETEs Sustentáveis).

Rafaella Storrer Mendes dos Santos⁽⁴⁾

Engenheira de Bioprocessos e Biotecnologia pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Integrante do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Estações Sustentáveis de Tratamento de Esgoto (INCT ETEs Sustentáveis).

Gustavo Rafael Colierre Possetti⁽⁵⁾

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 da Gerência de Pesquisa e Inovação (GPIN) 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). Coordenador na região Sul do Brasil do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Estações Sustentáveis de Tratamento de Esgoto (INCT ETEs Sustentáveis).

Endereço⁽¹⁾: Av. Cel. Heráclito H. dos Santos, 100 - Bairro Jardim das Américas – Curitiba – Paraná – CEP: 81.530-000 – Brasil – Tel: +55 (41) 3361-3210 - e-mail: julio.rietow@gmail.com

RESUMO

A via anaeróbia de tratamento de esgotos sanitários vem sendo utilizada em larga escala no Brasil. O biogás, subproduto destes sistemas, é dotado de grande potencial energético conter devido ao metano na composição. Outro subproduto oriundo de sistemas de tratamento de esgoto é o lodo, caracterizado por elevado teor de umidade e de microrganismos patogênicos, sendo então seu desaguamento e higienização necessários para sua correta destinação. Entretanto, os custos inerentes a esses processos, por vezes, restringem a forma de gerenciamento do lodo dentro da estação de tratamento de esgoto (ETE), demandando soluções tecnológicas para tal. Nesse contexto, o presente trabalho vem relatar um estudo sobre secagem térmica de lodos em um sistema piloto envolvendo o aproveitamento energético do biogás de uma ETE de médio porte. De modo geral, o secador reduziu em aproximadamente 80% a massa dos diferentes tipos de lodos submetidos ao processo de secagem térmica, aumentando a concentração de sólidos totais nesses materiais de $21,23 \pm 3,09$ % para $82,87 \pm 2,94$ %. Com um teor médio de metano de aproximadamente 70 ± 15 %, a vazão de biogás utilizada nesse sistema variou, em média, de 13,92 a 16,17 $\text{Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Os valores da demanda energética do secador para remoção de 1 kg de água presente nos diferentes tipos de lodos variaram de 1.246,12 a 1.597,75 kcal. Adicionalmente, as características físico-químicas, sanitárias e calorimétricas dos lodos após o processo de secagem evidenciaram a possibilidade da utilização desses materiais como adubo na agricultura, bem como no aproveitamento energético devido ao aumento dos seus poderes caloríficos. Esses resultados apontam a secagem térmica do lodo, utilizando biogás produzido em sistemas anaeróbios de tratamento, como uma promissora ferramenta para a sustentabilidade no setor de esgotamento sanitário.

PALAVRAS-CHAVE: Secagem Térmica, Tambor Rotativo, Lodo, Biogás, Reator UASB.

INTRODUÇÃO

Um dos grandes desafios a serem ainda superados pelas companhias de saneamento no Brasil é o gerenciamento adequado dos lodos produzidos em estações de tratamento de esgoto (ETEs). Sendo geralmente o principal custo de operação de uma planta de tratamento, o gerenciamento do lodo implica na realização de processos de desaguamento e secagem, bem como também na higienização desse material. Desse modo, mesmo que ainda incipiente no país, a realização da secagem térmica do lodo está sendo considerada como uma alternativa promissora para diminuição dos custos intrínsecos ao seu transporte e disposição final (WAGNER *et al.*, 2017).

O processo de secagem térmica consiste na evaporação da água presente no lodo por meio de seu aquecimento em ambiente controlado, propiciando a redução da umidade e destruição de microrganismos. Durante o processo, a evaporação ocorre em uma temperatura inferior àquela do ponto de ignição do lodo, garantindo a segurança contra eventuais riscos de explosões no sistema. Cabe destacar ainda que a energia requerida pelos sistemas de secagem térmica de lodo é bastante variável, sendo que fatores como umidade de entrada e saída do material, eficiência e tipo de secador utilizado, podem influenciar nos processos operacionais e no consumo de combustível. Dessa forma, a utilização do potencial energético associado ao biogás, produzido em ETEs com reatores anaeróbios do tipo UASB, tem sido destacada como uma opção favorável para redução dos custos operacionais do processo de secagem térmica (ANDREOLI *et al.*, 2014).

O biogás oriundo de reatores UASB é composto majoritariamente por metano (60 a 85% v/v), nitrogênio (10 a 25% v/v) e gás carbônico (5 a 15% v/v). Em menor volume, o biogás ainda apresenta pequenas quantidades de hidrogênio, gás sulfídrico, amônia e outros gases traço. O potencial energético do biogás está amplamente relacionado com a quantidade de metano presente em sua composição, sendo esse preponderante para seu poder calorífico (~50 MJ/kg). No Brasil, o biogás produzido em ETEs é usualmente captado e conduzido até queimadores abertos, onde é termicamente destruído com baixa eficiência. Isso faz com que a energia química presente em sua composição seja desperdiçada e que as taxas de emissão de gases de efeito estufa sejam pouco reduzidas. Por isso, com o intuito de minimizar impactos ambientais e de conceber soluções energéticas renováveis, o aproveitamento do biogás em ETEs para realização de processos de secagem térmica do lodo se mostram amplamente favoráveis (POSSETTI, *et al.*, 2015).

Dentro desse contexto, o presente trabalho teve por objetivo realizar investigações experimentais para avaliar o desempenho de um sistema piloto de secagem térmica de lodos oriundos de ETEs, movido a biogás, no que diz respeito ao consumo de energia e à capacidade de remoção de água e microrganismos patogênicos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Um sistema térmico piloto composto por um secador granular rotativo de lodos (Bruthus, Albrecht), com capacidade para processar até 100 kg/h de lodo úmido, foi instalado em uma ETE com capacidade para tratar até 420 L.s⁻¹ de esgoto doméstico, localizada no município de Curitiba – Paraná. A ETE é dotada de seis reatores UASB, os quais produzem cerca de 120 Nm³.h⁻¹ de biogás. Esse subproduto foi captado a partir da interligação dos gasômetros dos reatores UASB com tubos flexíveis de PVC (diâmetros internos de 50 mm). O biogás foi, então, conduzido até uma câmara de combustão acoplada ao secador de lodos. Esse guiamento foi obtido a partir do acionamento de dois compressores radiais, modulados por inversores de frequência e instalados em série com os tubos condutores de biogás. Para diminuir os teores de sulfeto de hidrogênio presentes no biogás, um reservatório contendo limalha de ferro também foi incorporado ao sistema.

Na câmara de combustão do secador térmico, o calor oriundo da queima do biogás aqueceu o volume de ar contido em seu interior. Assim, o ar quente foi utilizado como meio suporte para a transferência de calor para o lodo úmido. Cabe destacar que a transferência de calor no secador é realizada de forma indireta, ou seja, os gases quentes não entram em contato direto com o material. A transferência de calor ocorreu ao longo de um tambor com rotação controlável, capaz de remover a água presente no lodo e de transformá-lo em grãos. Para segregar os compostos sólidos e gasosos disponibilizados na saída do tambor rotativo, um separador multiciclone foi empregado no sistema. Desse modo, os compostos gasosos foram conduzidos até um lavador de gases alimentado com água e um produto químico para remoção de odores. Os compostos sólidos (lodos secos), por sua vez, foram recolhidos em sacos de ráfia. A Figura 1 ilustra um diagrama esquemático do sistema térmico piloto avaliado no âmbito deste estudo.

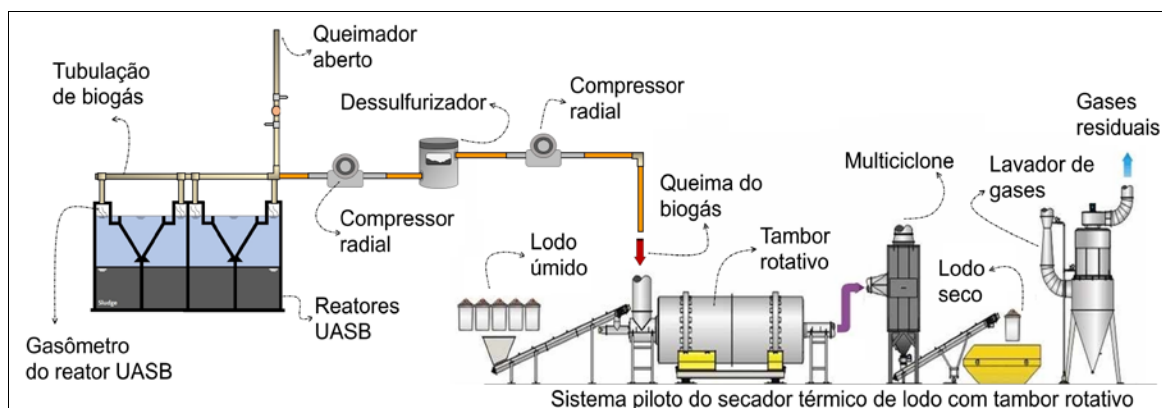


Figura 1: Representação esquemática do sistema térmico piloto de secagem de lodos movido a biogás.

O secador de lodos foi operado com diferentes tipos de lodos, sendo eles: a) lodo de reator UASB tratando esgoto doméstico misturado com espuma (proporção 4:1); e b) lodo de sistemas aeróbios de tratamento de esgoto doméstico (lodos ativados com aeração prolongada). O secador térmico foi alimentado com os diferentes tipos de lodos. Conforme preconizado pela NBR 12.209/2011, o secador térmico deve ser alimentado com lodo previamente desaguado. Desse modo, os lodos utilizados no presente estudos foram desaguados até teores de sólidos totais acima de 20%.

Os seguintes parâmetros operacionais do sistema foram avaliados sistematicamente: massa de lodo úmido inserido no tambor rotativo, massa de lodo seco na saída do separador multiciclone, temperatura do ar na entrada no tambor rotativo e temperatura do ar na saída do tambor rotativo. As massas de lodo foram quantificadas com o auxílio de uma balança digital com resolução de 1 g. Já as temperaturas do ar foram mensuradas com termopares do tipo K com resolução de 0,1 °C.

A temperatura e a vazão de biogás, durante a operação do secador piloto, foram mensuradas com o auxílio de um transmissor por dispersão térmica Thermoel® (TA2, Magnetrol), com resoluções de 5,6 Nm³/h e 0,1 °C, exatidões de $\pm 1,0$ Nm³/h e $\pm 1,0$ °C e repetibilidades de $\pm 0,5\%$ da leitura. O teor de metano presente no biogás foi determinado com um transmissor óptico seletivo, com resolução de 0,1% v/v, exatidão de $\pm 2,5\%$ v/v e repetibilidade de $\pm 2,0\%$ v/v, operando na faixa do infravermelho (Guardian Plus, Edinburgh Sensors). Verificou-se ainda por meio do uso de um transmissor de pressão capacitivo (LD301, Smar), com resolução de 0,01 mmca e exatidão de $\pm 0,04$ mmca, a pressão manométrica do biogás. Esses equipamentos foram alimentados eletricamente, sendo conectados a um quadro de comandos dedicado. Eles foram configurados para fornecer sinais analógicos padrão 4-20 mA, os quais foram monitorados em intervalos de 30 segundos e armazenados em um aquisitor de dados (FieldLogger, Novus).

Durante os experimentos, coletaram-se amostras dos lodos utilizados no presente estudo antes e depois do processamento no sistema piloto. Os teores de sólidos totais dessas amostras foram quantificados, assim como foram realizadas análises microbiológicas preconizadas na Resolução CONAMA 375/2006. Cabe destacar que apenas o lodo do sistema aeróbio de tratamento de esgoto poderia ser empregado na agricultura. Entretanto, para fins de avaliação, também foi realizada a caracterização microbiológica do lodo de reator UASB misturado com espuma. Sendo assim, a contagem de ovos viáveis de helmintos foi determinada via microscopia. A análise de salmonellas foi realizada a partir do método SM 9260/D, com incerteza expandida de $\pm 6,8\%$. Para obter a concentração dos coliformes termotolerantes foi empregado o método SM 9225, com incerteza expandida de $\pm 2,0\%$. Por fim, para a análise de vírus entéricos foi utilizado o método de imunocromatografia.

Amostras dos lodos secos ainda foram submetidas às análises elementar, imediata e de poder calorífico. Para determinar os teores de carbono, hidrogênio, nitrogênio, enxofre e oxigênio utilizou-se o analisador elementar CHNS EA1100 e o eletrodo de íon seletivo (Cole-Palmer). Para quantificar os teores de cinza, matéria volátil, carbono fixo e umidade empregou-se um forno mufla (QUIMIS). Já os poderes caloríficos inferior e superior foram determinados com um analisador térmico DTG-60 (SHIMADZU). Essas análises foram realizadas para verificar o potencial de aproveitamento energético dos diferentes tipos de lodos secos. A metodologia aqui explanada foi baseada nos estudos realizados por Possetti *et al.*, 2015.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Redução de massa no processo de secagem

Durante o período de investigação, o sistema piloto foi responsável pelo processamento de:

- 3561,03 ± 0,05 kg de lodo de reator UASB + espuma;
- 3.705,04 ± 0,05 kg de lodo aeróbio

Na primeira etapa do processo de investigação a vazão operacional de alimentação do secador com lodo de reator UASB + espuma foi de 89,03 ± 37,43 kg.h⁻¹. Os teores de ST encontrados na mistura foram de 23,82 ± 1,89 %. Ao fim do processo, 768,61 ± 0,05 kg de material foram obtidos com teores médios de ST de 86,54 ± 2,55 % (Figura 2). Portanto, o secador térmico foi responsável pela remoção de 3.615,81 ± 0,05 kg de água, apresentando uma redução de massa na mistura de 78.41 %. O processo de secagem ocorreu com temperaturas do ar de 207,92 ± 22,77 °C na entrada do tambor rotativo, e de 90,29 ± 5,34 °C na saída do tambor rotativo.

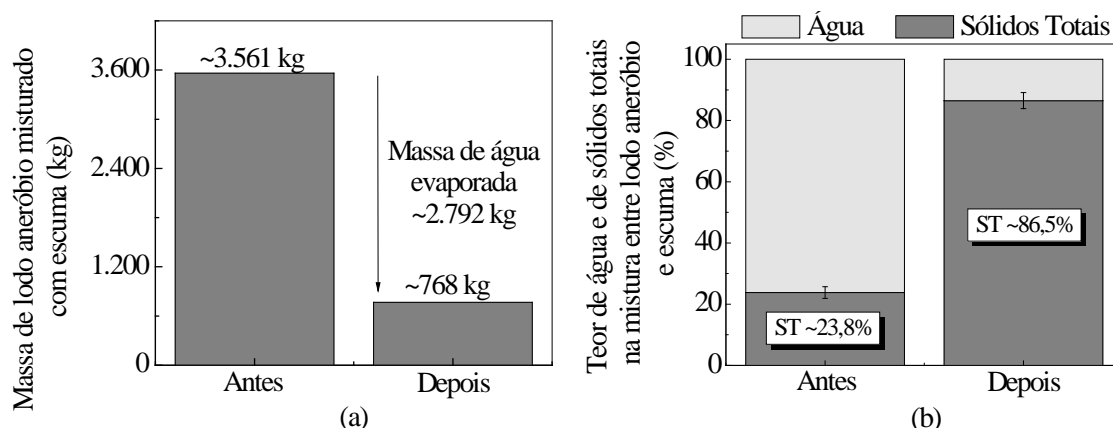


Figura 2: Desempenho do secador na remoção de água de lodo anaeróbico de reator UASB + espuma (4:1): (a) massa de água evaporada e (b) teores médios de ST e de água antes e depois da secagem térmica

Na segunda etapa de investigação a vazão operacional de alimentação do secador com lodo aeróbio foi 88,25 ± 24,52 kg.h⁻¹, com teores de ST de 17,20 ± 2,35 %. Ao final do processo de secagem térmica 612,01 ± 0,05 kg de lodo aeróbio seco foram obtidos. O teor de ST encontrado em média nesse lodo foi de 80,18 ± 3,40 %. Logo, o secador térmico foi responsável pela remoção de 3.093,03 ± 0,05 kg de água presente no lodo aeróbio, reduzindo sua massa inicial em 83,48 % (Figura 3). As temperaturas do ar na entrada e na saída do tambor rotativo, durante a secagem térmica do lodo aeróbio, foram respectivamente de 212,47 ± 40,20 °C e 103,17 ± 10,80 °C.

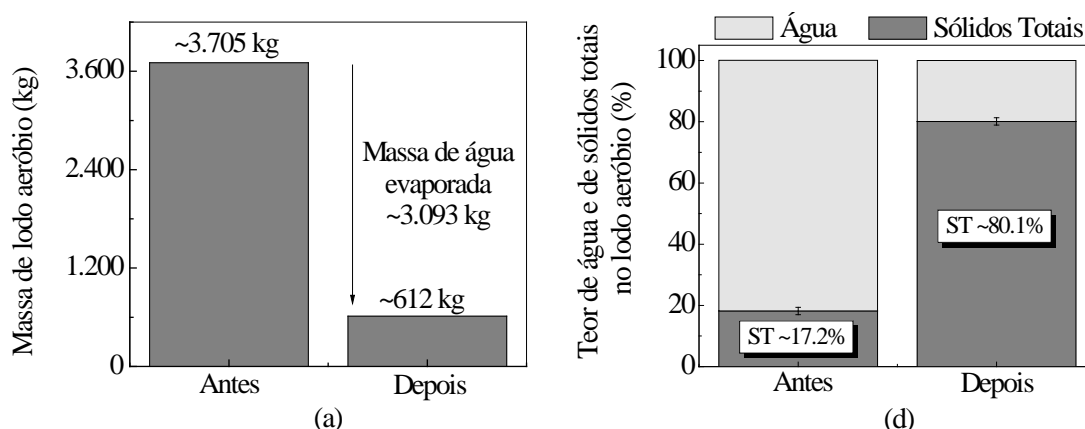


Figura 3: Desempenho do secador na remoção de água de lodo aeróbio de sistema de lodos ativados por aeração prolongada: (a) massa de água evaporada e (b) teores médios de ST e de água antes e depois da secagem térmica

A Tabela 1 sumariza os resultados obtidos no processo de secagem térmica dos diferentes materiais alimentados no sistema piloto.

Tabela 1 – Resumo dos principais resultados do processo de secagem térmica dos diferentes tipos de lodos e espuma.

Parâmetros	Tipos de lodos utilizados*	
	Etapa 1	Etapa 2
Massa de lodo processada (kg)	3.561,03 ± 0,05	3.705,04 ± 0,05
Vazão operacional de lodo úmido (kg.h ⁻¹)	89,03 ± 37,43	88,25 ± 24,52
Teor de ST no lodo úmido (%)	23,82 ± 1,89	17,20 ± 2,35
Massa de lodo seco produzida (kg)	768,61 ± 0,05	612,01 ± 0,05
Teor de ST no lodo seco (%)	86,54 ± 2,55	80,18 ± 3,40
Massa de água evaporada (kg)	2.792,42 ± 0,05	3.093,03 ± 0,05
Redução da massa de lodo (%)	78,41	83,48

*Etapa 1: Lodo anaeróbico de reator UASB + espuma (4:1); Etapa 2: Lodo aeróbico de sistemas de lodos ativados por aeração prolongada.

Características do biogás combustível

O consumo de biogás despendido na etapa 1, para a secagem térmica do lodo de reator UASB + espuma, foi de 13,92 ± 2,16 Nm³.h⁻¹. Os teores médios de metano encontrados no biogás foram de 65,86 ± 6,79 % v.v⁻¹. A temperatura média do biogás registrada foi de 31,51 ± 2,67 °C, com uma pressão manométrica do gás de 600,24 ± 175,94 mmca.

Na etapa 2, a vazão média de consumo de biogás requerida pelo secador para a secagem térmica do lodo aeróbico foi de 16,17 ± 7,88 Nm³.h⁻¹. O teor médio de metano presente nesse gás foi de 79,24 ± 4,75 % v.v⁻¹, com uma temperatura, em média, igual a 24,12 ± 6,13 °C. A pressão manométrica do biogás encontrada na tubulação nessa etapa de investigação foi de 815,71 ± 171,12 mmca.

Demanda energética do sistema

A partir das informações reportadas sobre o biogás utilizado foi possível verificar a demanda de energia necessária em cada etapa do processo de secagem térmica. Para tanto, os parâmetros energéticos utilizados como fonte de comparação foram: a) energia necessária para remoção de 1 kg de água presente no lodo e b) consumo de biogás para cada 1 kg de lodo úmido processado.

Desse modo, verificou-se que etapa 1 foram necessários 1.246,12 ± 352,28 kcal para a remoção de 1 kg de água presente na mistura lodo de reator UASB + espuma. A demanda de biogás para cada 1 kg de material úmido processado foi igual a 0,20 ± 0,06 Nm³. Conforme já destacado, a espuma possui elevados índices de difusividade térmica, podendo estes serem explicados devido à presença de materiais como gordura e óleos em sua composição. Desse modo, a mistura espuma + lodo de reator UASB permitiu que o secador térmico demandasse uma menor quantidade de energia no processo de secagem.

Na etapa 2, por sua vez, a energia necessária para remover 1 kg de água presente no lodo aeróbico foi de 1.597,75 ± 205,00 kcal, sendo necessários 0,28 ± 0,08 Nm³ de biogás para cada 1 kg de lodo úmido processado. Os resultados obtidos nessa etapa evidenciaram que a secagem térmica do lodo aeróbico foi responsável pelos maiores valores de consumo de energia do secador piloto.

Higienização e potencial energético do lodo seco

A Tabela 2 apresenta os resultados das análises microbiológicas dos diferentes tipos de materiais e misturas antes e depois da passagem pelo sistema térmico. Verificou-se que a secagem térmica reduziu substancialmente os teores de ovos viáveis de helmintos e de coliformes termotolerantes em todas as etapas de investigação. Para helmintos, pode-se dizer que a redução praticamente atingiu a totalidade. Além disso, o tratamento térmico do lodo promoveu a remoção de *salmonellas* e de vírus entéricos, fazendo com que todos os valores máximos permitidos (VMP) preconizados na Resolução Brasileira CONAMA 375 de 2006 para o lodo classe A fossem

perfeitamente atendidos. Cabe destacar, contudo, que a incorporação de espuma no lodo para fins agrícolas não é permitida. Isto se deve pela espuma ser caracterizada, de acordo com a mesma resolução, como um rejeito do processo de tratamento do esgoto sanitário.

Tabela 2: Indicadores de contaminação biológica dos diferentes tipos de materiais antes e depois do processamento térmico

Etapas	Indicador biológico			
		Ovos viáveis de helmintos (Ovo.g ⁻¹ de ST)	Salmonellas (UFC.g ⁻¹ de ST)*	Coliformes termotolerantes (UFC.g ⁻¹ de ST)
Etapa 1	Antes	7 ± 3	-	>10
	Depois	< 0,1	-	< 0,1
Etapa 2	Antes	2 ± 0,5	832 ± 87	>10
	Depois	Ausente	Ausente	Ausente
Resolução CONAMA 375 de 2006 (VMP)***		<0,25	Ausente	<0,25
				<10 ³

*Unidade Formadora de Colônia; **Unidade Formadora de Foco; ***VMP: Valor Máximo Permitido. Etapa 1: Lodo anaeróbico + espuma (4:1); Etapa 2: Lodo aeróbico.

A Tabela 3, por sua vez, sumariza os resultados obtidos nas análises elementar, imediata e de poder calorífico do lodo seco nas diferentes etapas de investigação. As concentrações de carbono elementar, matéria volátil e carbono fixo, bem como o poder calorífico inferior, indicam que os diferentes tipos de lodo seco possuem um bom potencial para serem utilizados para fins energéticos, inclusive como fonte de energia para o próprio sistema térmico piloto que o gerou. Destaca-se que a incorporação da espuma no lodo anaeróbico obteve um maior valor de poder calorífico inferior, sendo esse, em média, igual a 1.362,40 ± 163,44 kcal.kg⁻¹. Esse fato pode estar associado à elevada concentração de carbono fixo presente na mistura (72,11 ± 5,26 %).

Tabela 3: Propriedades físicas, químicas e calorimétricas dos materiais secos nas diferentes etapas de investigação

Análises	Parâmetros*	Etapas	
		Etapa 1	Etapa 2
Elementar	Carbono (C - %)	8,30 ± 4,35	17,50 ± 3,54
	Hidrogênio (H - %)	1,13 ± 0,74	0,80 ± 0,29
	Nitrogênio (N - %)	0,66 ± 0,12	0,89 ± 0,35
	Enxofre (S - %)	0,10 ± 0,05	8,45 ± 1,81
	Oxigênio (O - %)	4,92 ± 2,64	6,42 ± 3,66
Imediata	Matéria volátil (%)	16,3 ± 8,74	46,95 ± 5,73
	Carbono fixo (%)	72,11 ± 5,26	42,00 ± 6,51
Poder Calorífico	PCS** (% , kcal.kg ⁻¹)	1.548,00 ± 232,25	1.255,00 ± 155,56
	PCI*** (% , kcal.kg ⁻¹)	1.362,40 ± 163,44	1.153,23 ± 66,47

*Análises em base seca; **PCS: Poder calorífico superior; ***PCI: Poder calorífico inferior. Etapa 1: Lodo anaeróbico + espuma (4:1); Etapa 2: Lodo aeróbico.

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

O desempenho de um sistema piloto de secagem térmica de resíduos do saneamento, a partir da utilização de biogás combustível, foi objeto deste trabalho. Notadamente, o consumo de energia e à capacidade de remoção de água e de microrganismos patogênicos presentes no lodo foram os principais aspectos investigados.

Os resultados permitiram afirmar que os secadores térmicos movidos a biogás são uma promissora tecnologia para o gerenciamento de lodos e escumas em ETEs, uma vez que permitem diminuir significativamente o volume do material que precisa ser estocado e transportado até seu destino final. De modo geral, o processamento térmico foi responsável por reduzir em aproximadamente 80 % a massa dos diferentes tipos de materiais úmidos alimentados no secador térmico, partindo de um teor médio de sólidos totais de $21,23 \pm 3,09$ % e alcançando $82,87 \pm 2,94$ %.

Além disso, constatou-se que o biogás produzido por reatores UASB pode ser utilizado como fonte de energia para o processo de secagem do lodo. Nesse sentido, verificou-se que a faixa de consumo de biogás para cada 1 kg de lodo úmido processado variou de 0,20 a 0,28 Nm³, considerando teores médios de metano de aproximadamente 70 ± 15 % v.v⁻¹. Adicionalmente, os valores relacionados com a demanda energética do secador piloto de tambor rotativo, para remoção de 1 kg de água presente no lodo, variaram de 1.246,12 a 1.597,75 kcal.

Comprovou-se ainda que o sistema térmico piloto é capaz de higienizar o lodo de esgoto em níveis que permitem seu enquadramento como classe A, conforme preconizado pela Resolução Brasileira 375 de 2006, sem demandar o uso de produtos químicos, como a cal, por exemplo, para utilização agrícola. Por fim, verificou-se que os diferentes tipos de lodo seco podem ainda serem utilizados como combustível.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDREOLI, C. V.; von SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Lodo de esgoto: tratamento e disposição final**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG, 2001.
2. BRASIL. Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências.
3. BRASIL. NBR nº 12.209, de 24 de dezembro de 2011. Elaboração de projetos hidráulicos-sanitários de estações de tratamento de esgoto.
4. POSSETTI, G. R. C.; RIETOW, J. C.; CARNEIRO, C.; GERVASONI, R.; ALTHOFF, C. A. Investigação experimental de um sistema piloto de secagem térmica de lodo movido a biogás. In: 28º Congresso Brasileiro de Engenharia Ambiental e Sanitária, 2015, Rio de Janeiro. **Anais...** 28º Congresso Brasileiro de Engenharia Ambiental e Sanitária, 2015.
5. WAGNER, L. G.; POSSETTI, G. R. C.; CARNEIRO, C.; URBANETZ JUNIOR, J. Avaliação do desempenho operacional de duas configurações de um sistema térmico para higienização e secagem de lodos de esgoto movido a biogás e energia solar. In: Congresso ABES/FENASAN 2017, 2017, São Paulo - SP. **Anais** do Congresso ABES/FENASAN 2017. São Paulo - SP: ABES, 2017. v. II-537. p. 1-7.