

XI-025 – UTILIZAÇÃO DE BIOGÁS DE REATORES ANAERÓBIOS PARA COGERAÇÃO E USO DE ELETRICIDADE E CALOR EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO

Lívia Cristina da Silva Lobato⁽¹⁾

Engenheira Civil. Doutoranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais.

Carlos Augusto de Lemos Chernicharo

Engenheiro Civil e Sanitarista. Doutor em Engenharia Ambiental pela Universidade de Newcastle upon Tyne – UK. Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG.

Fabício José Pacheco Pujatti

Engenheiro Mecânico. Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Minas Gerais. Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG.

Olavo Miranda Martins

Engenheiro Mecânico pela Universidade Federal de Minas Gerais

Gilberto Caldeira Bandeira de Melo

Engenheiro Químico. Doutor em Ciências da Engenharia pela Universidade de Karlsruhe, Alemanha. Professor Associado do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG.

Endereço⁽¹⁾: Av. Antônio Carlos, 6627 - UFMG/EE/DESA Bloco 2, sala 4541 - Pampulha - Belo Horizonte - MG - CEP: 31270-901 - Brasil - Tel: (31) 3409-1025 - e-mail: lsilvalobato@yahoo.com.br

RESUMO

Uma pequena unidade de cogeração de eletricidade e calor foi testada no Centro de Pesquisa e Treinamento UFMG / COPASA, localizado na Estação de Tratamento de Esgoto Arrudas, em Belo Horizonte - Minas Gerais - Brasil. A unidade era composta por um motor de combustão interna (MCI) adaptado para funcionar a biogás, um protótipo de secador térmico de lodo, além de outros periféricos. O calor dos gases de exaustão do MCI era direcionado ao protótipo do secador térmico com o objetivo de realizar a secagem do lodo e sua desinfecção. Os resultados mostraram que o aparato experimental é autossuficiente em termos de energia elétrica, produzindo ainda um excedente de $0,47 \text{ kWh.m}^{-3}$ de biogás consumido, o que pode ser empregado em outros usos. Os testes de secagem e desinfecção do lodo duraram sete horas, permitindo o aumento do teor de sólidos do lodo de 4 para 8% (50% de redução do volume de lodo). Apesar da secagem de lodo não ter sido possível (apenas o adensamento foi alcançado), o processo de desinfecção mostrou ser muito eficaz, mensurado pela completa inativação de ovos de helmintos.

PALAVRAS-CHAVE: Aproveitamento energético, biogás, cogeração de energia, tratamento de esgoto.

INTRODUÇÃO

Em que pesem as grandes vantagens dos reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo (reatores UASB) e sua ampla utilização no Brasil, os mesmos ainda apresentam algumas limitações, não completamente solucionadas até o presente, como é o caso dos subprodutos - lodo excedente (presença de patógenos e desaguamento) e biogás (alternativas de recuperação de energia).

Nos reatores UASB, o descarte do lodo excedente deve ser feito periodicamente, caso contrário seu acúmulo no interior do reator provocará uma perda excessiva de sólidos para o compartimento de decantação, prejudicando a qualidade do efluente. O lodo excedente dos reatores UASB, embora produzido em menores quantidades e com maior grau de estabilização quando comparado aos sistemas aeróbios de tratamento, ainda necessita das etapas de desidratação e, eventualmente, de higienização em caso de uso agrícola, devido à presença de patógenos.

Além da desidratação natural e mecânica, a secagem térmica surge como uma alternativa, não apenas para a redução do volume e dos custos de disposição final, mas, principalmente, para a higienização do lodo. A secagem térmica do lodo promove a redução da umidade, através da evaporação da água, e a destruição dos

organismos patogênicos, sendo que apenas a água é removida e os sólidos totais são mantidos praticamente inalterados. A preservação da matéria orgânica, associada à eliminação dos organismos patogênicos, constitui-se em um aspecto de fundamental importância quando o lodo vai ser utilizado na agricultura.

O fator de maior relevância nos sistemas de secagem térmica do lodo consiste no consumo de combustível. Nesse sentido, a recuperação energética do biogás e a sua utilização como combustível podem reduzir os custos operacionais desses sistemas.

O biogás é uma mistura de gases gerados durante a digestão anaeróbia da matéria orgânica. Sua composição é variável, dependendo do tipo e concentração da matéria orgânica a ser digerida, das condições físico-químicas no interior do digestor (pH, alcalinidade, temperatura) e da presença de outros anions, como o sulfato e o nitrato. O biogás gerado em reatores anaeróbios é composto de 60 a 85% de metano (CH_4), 5 a 15% de dióxido de carbono (CO_2), 10 a 25% de nitrogênio (N_2), além de sulfeto de hidrogênio (H_2S) e traços de monóxido de carbono (CO), oxigênio (O_2) e hidrogênio (H_2) (NOYOLA *et al.*, 2006).

Na maioria das estações de tratamento de esgoto, o biogás é queimado para reduzir os impactos ambientais, uma vez que este é considerado o mais importante gás efeito estufa (GEE) emitido durante o tratamento de efluentes industriais e domésticos, por apresentar um GWP (*Global Warming Potential*) 21 vezes maior, no horizonte de 100 anos, quando comparado ao CO_2 (EUROPEAN COMMISSION, 2001). Todavia, o metano tem um poder calorífico de $35,9 \text{ MJ.m}^{-3}$ (devido ao metano, principal constituinte) que faz com que se tenha grande interesse em seu aproveitamento energético (NOYOLA *et al.*, 2006).

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar um motor de combustão interna (motogerador) alimentado a biogás quanto à eficiência na cogeração de energia elétrica e térmica, bem como um protótipo de secador térmico de lodo, utilizando como fonte de energia térmica os gases de exaustão gerados no motogerador.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no Centro de Pesquisa e Treinamento em Saneamento UFMG/COPASA (CePTS), localizado junto à estação de tratamento de esgoto do ribeirão Arrudas, em Belo Horizonte/MG. O aparato experimental é composto de filtro de gás sulfídrico, reservatório pulmão, reservatório pressurizado, unidade de cogeração de eletricidade e calor (motogerador), banco de resistências elétricas e o protótipo do secador térmico de lodo. A Figura 1 apresenta o fluxograma do aparato experimental e as Figuras 2 a 5 mostram as unidades que compõem o sistema de cogeração de energia e de secagem do lodo.

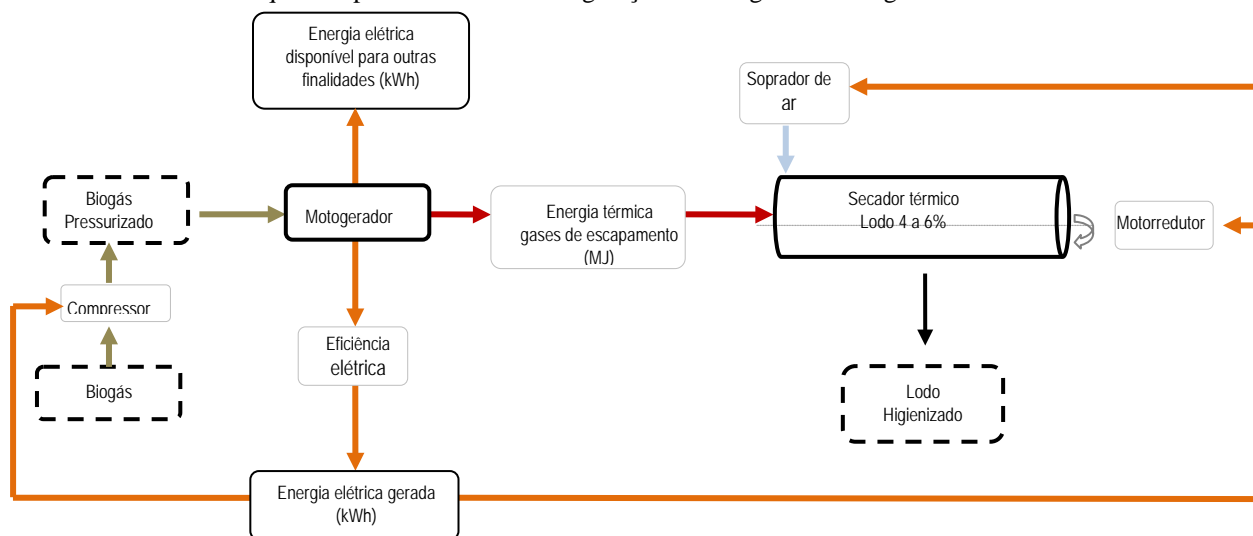


Figura 1: Fluxograma do aparato experimental

**Figura 2:** Sistema de armazenamento de biogás**Figura 3:** Unidade de cogeração**Figura 4:** Banco de resistência (geração de eletricidade)**Figura 5:** protótipo do secador térmico de lodo

As principais características das unidades que compõe o aparato experimental são descritas a seguir.

Filtros de gás sulfídrico

Um dos constituintes do biogás é o gás sulfídrico (H_2S), que, embora em pequena proporção, merece atenção especial devido a seu alto poder corrosivo. A remoção de gás sulfídrico do biogás foi realizada por meio de dois filtros (Figura 2) que trabalham em paralelo utilizando palha de aço como material de enchimento.

Armazenamento de biogás sem pressurização

Confeccionado em lona, o reservatório pulmão (Figura 2) tem a finalidade de armazenar o biogás produzido diariamente (cerca de $8 m^3$) antes de enviá-lo ao reservatório pressurizado.

Armazenamento de biogás com pressurização

Um compressor é utilizado para pressurizar o gás armazenado no reservatório pulmão e enviá-lo ao reservatório pressurizado (Figura 2). Um filtro de umidade foi colocado na entrada do compressor, uma vez que a água presente no biogás pode prejudicar o funcionamento do mesmo. A capacidade máxima de armazenamento do reservatório pressurizado é de cerca de $60 m^3$ à pressão de trabalho de 12 bar. Esse reservatório possui um manômetro, uma válvula de segurança, um dreno, um dispositivo de entrada e outro de saída do biogás.

Motogerador

Para a cogeração de eletricidade e calor utilizou-se um motogerador adaptado para trabalhar com biogás como combustível (Figura 3).

No motogerador foi instalado um sistema eletrônico de controle de mistura ar/combustível em malha fechada capaz de alterar o fluxo de biogás em função da quantidade de O_2 presente no coletor de descarga, visando aperfeiçoar o rendimento do motogerador utilizando biogás como combustível. A Tabela 1 mostra as principais características do grupo motogerador.

Tabela 1: Principais parâmetros do motogerador

| | |
|--|--------------------------------------|
| Tempos | 4 |
| Volume deslocado | 389 cm ³ |
| Rotação nominal | 3600 rpm |
| Tensão de saída | 110/220 V |
| Potência mecânica com gasolina | 9.7 kW |
| Potência elétrica nominal com biogás | 3.6 kVA |
| Potencial elétrica nominal com gasolina | 5.0 kVA |
| Vazão dos gases de exaustão na saída do motor* | 31,5 m ³ .h ⁻¹ |

*Considerando eficiência volumétrica do motor de 75%

Protótipo do secador térmico de lodo

A concepção do protótipo para secagem térmica do lodo a partir do aproveitamento energético do biogás gerado em reatores UASB considerou as seguintes premissas básicas: baixo custo, simplicidade operacional, não dependência de tecnologia internacional, não utilização de energia adicional e sistema simplificado para controle das emissões de odores e particulados.

O secador térmico desenvolvido é do tipo rotativo direto, sendo a transferência de calor realizada por convecção, ou seja, através do contato direto do lodo com o meio de secagem, no caso os gases do escapamento do motor de combustão interna.

O equipamento consiste em um cilindro externo fixo que serve de reservatório para o lodo e um cilindro interno rotativo e vazado. Para revolver o lodo, favorecendo o mecanismo de troca de calor, foram fixadas canaletas em formato U, ao longo do comprimento do cilindro interno. A velocidade de rotação do cilindro interno é comandada por um motorreductor e um inversor de frequência. Na parte superior do cilindro, próximo a entrada dos gases de exaustão do motogerador, existe uma curva para alimentação do protótipo com o lodo. No lado contrário à entrada dos gases de exaustão foi posicionada uma chaminé para permitir a saída desses gases e do vapor proveniente da evaporação da umidade do lodo (Figura 5).

A Tabela 2 mostra as principais características do protótipo do secador térmico de lodo.

Tabela 2: Principais características do secador térmico de lodo

| | |
|--|---------------------------------|
| Material | Aço inox |
| Diâmetro do cilindro externo | 500 mm |
| Diâmetro do cilindro interno | 400 mm |
| Comprimento do cilindro externo | 1,6 m |
| Comprimento do cilindro interno | 1,8 m |
| Volume total | 0,37 m ³ |
| Volume útil | 0,15 m ³ |
| Dimensões das canaletas | 30 x 30 mm |
| Número de canaletas | 8 canaletas externas e internas |
| Diâmetro da tubulação de alimentação de lodo | 3" |
| Diâmetro das tubulações de coleta de lodo | 2" |
| Diâmetro da chaminé | 100 mm |

Banco de resistências elétricas

Para avaliar a potência gerada pelo motogerador foi utilizado um banco de resistência elétrica (Figura 4) para dissipar a energia gerada. A resistência total equivalente quando acionada todas as chaves é de 18,1 Ω.

Ensaio de redução de umidade do lodo

As condições operacionais dos ensaios de redução de umidade do lodo são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3: Condições operacionais dos ensaios de redução de umidade

| | |
|--------------------------|---|
| Número de ensaios | 8 |
| Duração | 7 h |
| Volume inicial de lodo | 60 L |
| Amostragem de lodo (%ST) | 7 amostras (intervalo de 1h)* |
| Temperaturas | 15 em 15 min (até 2,5 h) e após de 30 em 30 min |

*Análises em duplicata

A temperatura ambiente, pressão atmosférica e umidade relativa do ar foram obtidas ao longo do teste através de um termohigrobarômetro digital. O consumo de biogás pelo motogerador durante o teste foi avaliado por meio de um medidor de volume de gás do tipo diafragma.

Na parte inferior do secador foram instalados três coletores para amostragem de lodo ao longo da realização dos testes. Foram instalados termopares tipo K para medição da temperatura dos gases de exaustão (temperatura de entrada no protótipo), do lodo nos três pontos de amostragem (parte inferior), do interior do secador (parte superior) e dos gases que saem da chaminé. Essas temperaturas foram medidas através de termopares tipo K e termômetro MINIPA.

A eficiência do protótipo na redução da umidade do lodo foi monitorada através das análises de concentração de sólidos totais (ST) obtidas a cada hora de ensaio e pela redução de volume de lodo no secador (volume inicial menos volume final que permaneceu no secador). As análises de sólidos totais foram realizadas, em duplicata, de acordo com o *Standard methods for the examination of water and wastewater* (APHA, 2005).

Ensaio de higienização térmica do lodo

Objetivando avaliar a eficiência da higienização do lodo por via térmica optou-se pela utilização de ovos de helmintos como organismo indicador, dada a sua grande resistência a condições ambientais adversas.

Dada à baixa concentração de ovos de helmintos no lodo nos reatores UASB em operação no CePTS, e também visando possibilitar uma recuperação representativa de ovos para posterior análise de viabilidade, decidiu-se por inocular ovos de *Ascaris suum* no lodo tratado no secador térmico. A utilização de ovos de *A. suum* decorreu da semelhança morfológica com os ovos de *A. lumbricoides*, e também pela maior facilidade de obtenção destes. Devido a dificuldade de recuperação de ovos de helmintos no secador térmico de lodo, realizou-se apenas um teste de higienização, considerando para o inóculo a proporção de 1.100 ovos.gST⁻¹. Esse teste teve duração de 7 horas, sendo coletadas 5 amostras de lodo em intervalos de tempos diferentes (0h; 1,5h; 3h; 4,5h e 5h).

Autossuficiência do aparato experimental

Avaliou-se se a energia elétrica gerada no motogerador era capaz de suprir a demanda do aparato experimental, avaliando assim a sua autossuficiência em termos de energia elétrica.

Com os dados de consumo de biogás e do volume de lodo tratado nos ensaios de secagem térmica, foi possível verificar se o biogás gerado para uma dada população contribuinte conseguia tratar todo lodo gerado para essa mesma população.

RESULTADOS

Caracterização do biogás

As estatísticas descritivas referentes aos dados de composição do biogás, obtidos por cromatografia gasosa, para os três pontos monitorados, são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4: Estatística descritiva para a composição de biogás

| | Estatística Descritiva | Média | Mediana | Mínimo | Percentil 25% | Percentil 75% | Máximo |
|--|------------------------|-------|---------|--------|---------------|---------------|--------|
| Biogás reatores UASB (P1) | CH ₄ (%) | 70,2 | 72,9 | 26,6 | 69,6 | 74,4 | 88,7 |
| | CO ₂ (%) | 6,5 | 5,9 | 1,0 | 5,1 | 6,4 | 62,1 |
| | Mistura* (%) | 22,6 | 18,1 | 12,4 | 16,6 | 21,8 | 68,4 |
| | H ₂ S (ppm) | 1.757 | 1.740 | 205 | 1.453 | 2.115 | 20.641 |
| Após o Filtro de H ₂ S (P2) | CH ₄ (%) | 72,1 | 72,2 | 46,5 | 70,0 | 73,8 | 92,9 |
| | CO ₂ (%) | 6,5 | 6,0 | 1,9 | 5,5 | 6,4 | 56,9 |
| | Mistura* (%) | 21,1 | 18,4 | 10,9 | 16,4 | 20,8 | 66,9 |
| | H ₂ S (ppm) | 1.509 | 1.560 | 328 | 946 | 2.030 | 21.117 |
| Entrada do motogerador (P3) | CH ₄ (%) | 65,2 | 65,9 | 41,5 | 64,3 | 71,0 | 97,0 |
| | CO ₂ (%) | 5,6 | 5,0 | 0,4 | 4,2 | 5,8 | 54,2 |
| | Mistura* (%) | 25,9 | 24,5 | 18,3 | 22,8 | 27,6 | 40,5 |
| | H ₂ S (ppm) | 333 | 155 | 8 | 65 | 439 | 1.987 |

*Mistura: maior parte N₂, os valores altos são devido a parcela de N₂ dissolvida no esgoto doméstico

O biogás gerado nos reatores UASB em operação no CePTS apresentaram cerca de 72% de CH₄, mas na entrada do motogerador essa porcentagem foi um pouco inferior, da ordem de 66%.

Em relação ao H₂S, observa-se que a concentração no biogás gerado nos reatores UASB foi da ordem de 1.740 ppm, valor dentro da faixa apresentada por Noyola *et al.* (2006) de 1.000 a 2.000 ppm. Observa-se uma redução nessas concentrações ao passar pelo filtro de H₂S de apenas 11% (1.560 ppm). Mesmo com essa baixa eficiência dos filtros de H₂S, a concentração desse composto na entrada do motogerador foi baixa, da ordem de 150 ppm, não acarretando em prejuízos ao motogerador, uma vez que está abaixo da faixa citada por Holm-Nielsen *et al.*, 2009. Segundo esses autores, o conteúdo de H₂S no biogás, em níveis superiores a 300-500 ppm, podem causar danos as técnicas de conversão energética.

Ensaios de secagem térmica do lodo

Na Tabela 5 são mostrados os resultados obtidos nos ensaios de secagem térmica realizados, considerando o volume inicial de lodo de 60 L, duração dos testes de 7 horas e utilização do soprador de ar.

A condição adequada do motor refere-se ao funcionamento do mesmo com aplicação de carga ao motor, para qual foi utilizado o banco de resistências elétricas.

Em vários ensaios isso não foi possível durante todo o período de duração, o que pode ser explicado pela presença de umidade no biogás ou percentual de CH₄ baixo. O motor funcionando sem aplicação de carga gera gases de exaustão com temperaturas menores, diminuindo, assim a eficiência na remoção de umidade do lodo.

Tabela 5: Principais resultados dos ensaios de secagem térmica

| Ensaios | Volume de lodo final (L) | Consumo de biogás (m ³ /h) | ST Inicial (%) | ST Final (%) | Redução de volume | Aumento de concentração | Condição de funcionamento do motor |
|----------|--------------------------|---------------------------------------|----------------|--------------|-------------------|-------------------------|------------------------------------|
| 1 | 29,0 | 3,1 | 4,5 | 7,2 | 2,1 | 1,6 | Adequada |
| 2 | 26,9 | 3,1 | 6,1 | 10,1 | 2,2 | 1,7 | Adequada |
| 3 | 42,9 | 3,3 | 4,5 | 5,7 | 1,4 | 1,3 | Não adequada |
| 4 | 38,9 | 2,4 | 4,1 | 6,2 | 1,5 | 1,5 | Não adequada |
| 5 | 32,7 | 3,4 | 4,5 | 7,4 | 1,8 | 1,6 | Não adequada |
| 6 | 43,2 | 3,5 | 5,1 | 7,3 | 1,4 | 1,4 | Não adequada |
| 7 | 26,9 | 4,0 | 4,3 | 8,8 | 2,2 | 2,0 | Adequada |
| 8 | 33,3 | 2,9 | 5,2 | 7,7 | 1,8 | 1,5 | Não adequada |
| Média | 34,2 | 3,2 | 4,8 | 7,6 | 1,8 | 1,6 | |
| Mínimo | 26,9 | 2,4 | 4,1 | 5,7 | 1,4 | 1,3 | |
| Máximo | 43,2 | 4,0 | 6,1 | 10,1 | 2,2 | 2,0 | |

O consumo médio de biogás nos ensaios foi de $3,2 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, totalizando um consumo médio, durante as 7 horas de ensaio, de $22,4 \text{ m}^3$.

O volume final médio de lodo após a realização dos testes foi de 34 L, sendo que nos ensaios 1, 2 e 7, em que a condição de funcionamento do motogerador foi adequada, a redução do volume de lodo foi da ordem de 50%, já nos piores ensaios, essa redução de volume foi da ordem de 35%.

Na Tabela 6 e Figura 6 são explicitadas as concentrações de sólidos totais ao longo de toda a duração dos ensaios de secagem térmica, bem como algumas estatísticas descritivas dos dados.

Tabela 6: Concentrações de sólidos totais nos ensaios de secagem térmica

| Ensaio | Tempo (h) | | | | | | | |
|--------|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | 4,5 | 4,6 | 5,1 | 5,4 | 5,9 | 6,5 | 7,2 | 7,2 |
| 2 | 6,1 | 6,2 | 6,3 | 7,3 | 8,3 | 9,0 | 9,5 | 10,1 |
| 3 | 4,5 | 4,6 | 4,8 | 5,1 | 5,5 | 5,7 | 5,5 | 5,7 |
| 4 | 4,1 | 4,4 | 4,8 | 4,7 | 5,3 | 5,8 | 6,0 | 6,2 |
| 5 | 4,5 | 4,7 | 5,0 | 5,5 | 6,0 | 6,6 | 6,9 | 7,4 |
| 6 | 5,1 | 5,2 | 5,6 | 6,1 | 6,8 | 6,8 | 7,1 | 7,3 |
| 7 | 4,3 | 4,9 | 5,3 | 5,9 | 6,6 | 7,1 | 8,1 | 8,8 |
| 8 | 5,2 | 5,4 | 5,5 | 6,5 | 6,5 | 6,8 | 7,3 | 7,7 |
| Média | 4,8 | 5,0 | 5,3 | 5,8 | 6,4 | 6,8 | 7,2 | 7,6 |
| Mínimo | 4,1 | 4,4 | 4,7 | 4,7 | 5,3 | 5,7 | 5,5 | 5,7 |
| Máximo | 6,1 | 6,2 | 6,3 | 7,3 | 8,3 | 9,0 | 9,5 | 10,1 |

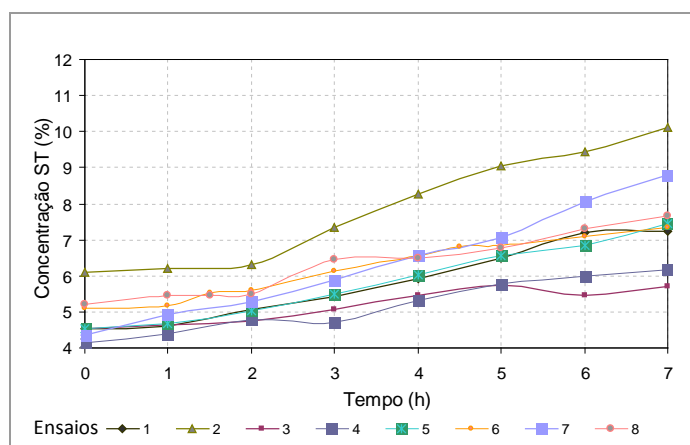


Figura 6: Concentrações de sólidos totais ao longo de cada ensaio

Em relação a concentração de sólidos ao longo da duração dos ensaios pode-se perceber que em média a concentração final dobra em relação a concentração inicial. Por exemplo, no ensaio 7, que apresentou melhores resultados, o lodo passa de uma concentração de 4,3% para 8,8% de sólidos totais.

Nos melhores testes, os gases de exaustão do motogerador, o lodo e os gases na saída do protótipo alcançaram as temperaturas de 505, 53 e 56°C, respectivamente, o que mostra que boa parte do calor foi transferido ao lodo acarretando na redução de sua umidade.

Na Figura 7 é apresentada a tendência para a relação entre a redução do volume de lodo e o aumento da concentração de ST, nos ensaios de secagem térmica que foram realizados.

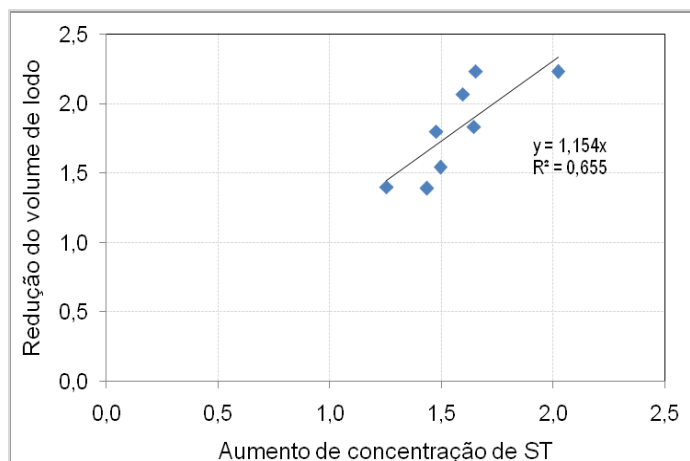


Figura 7: Relação entre a redução de volume e o aumento da concentração de ST

A umidade e a concentração de sólidos totais no lodo são inversamente proporcionais, entretanto, pelo ajuste de tendência linear, verifica-se que apenas 65% da variação observada no aumento da concentração de ST, pode ser explicada pela redução do volume de lodo. Essa baixa correlação pode ser explicada por incertezas nos procedimentos de coleta e nas análises laboratoriais. Outra explicação seria a entrada de umidade dos gases de exaustão e do soprador de ar, a qual não foi considerada nos ensaios. Para melhorar a eficiência do processo de secagem térmica é necessário adotar mecanismos para reduzir a umidade do ar proveniente do soprador e dos gases de exaustão.

Ensaio de higienização térmica

Na Figura 8 é mostrada a variação do número de ovos de *Ascaris suum* em função da temperatura e tempo de exposição.

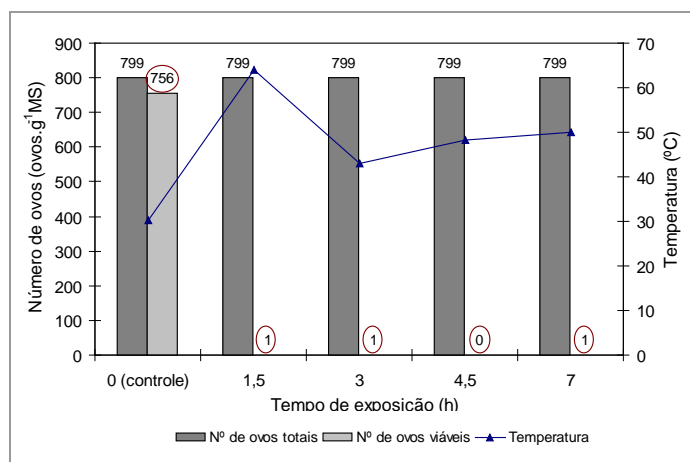


Figura 8: Variação do número de ovos de *Ascaris suum* durante o ensaio

Os resultados médios do número de ovos totais e viáveis demonstram que após 1,5 h de aquecimento, quando se atingiu a temperatura máxima de 64°C, ovos viáveis já não foram recuperados. A eficiência de inativação para o tempo de exposição controle (0 h) foi de apenas 5%, já nos demais tempos de exposição, essas eficiências foram praticamente 100%.

Os resultados obtidos para inativação de ovos de *Ascaris suum* vão de encontro aos observados por Borges (2004), que obteve 100% de inativação de ovos de *Ascaris lumbricoides* ao considerar diferentes combinações entre os parâmetros temperatura e tempo de exposição, particularmente trabalhando-se a temperaturas superiores a 50°C. A comparação entre essas espécies é possível devido à semelhança morfológica entre elas.

Autossuficiência do aparato experimental

A potência média disponível já considerando o consumo devido a compressão do biogás é da ordem de 2,1 kWh. O motorreductor e o soprador de ar consomem 0,43 e 0,12 kWh, respectivamente. Desta forma, conclui-se que o aparato experimental é autossuficiente em termos de energia elétrica, restando ainda um excedente de 1,55 kWh, que pode ser empregado na área do CePTS para outra finalidade.

Com os dados de consumo de biogás e do volume de lodo tratado nos ensaios de secagem térmica do lodo foi calculado o equivalente populacional para cada subproduto, verificando assim a relação entre eles. O consumo médio de biogás nos ensaios foi igual a $3,2 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$, o que totaliza um consumo por ensaio de $22,4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$. O volume de lodo tratado foi de 60 L e a sua concentração inicial média cerca de 4,8% ST. Considerando as contribuições *per capita* teóricas de biogás (e lodo, $17 \text{ L} \cdot \text{hab}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ e $16 \text{ gST} \cdot \text{hab}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, respectivamente, foi possível determinar qual a população equivalente para o consumo de biogás e o lodo tratado. Foram encontrados o equivalente populacional de 1300 e 150 habitantes, para o consumo de biogás e lodo tratado, respectivamente, ou seja, o consumo de biogás é cerca de 10 vezes maior.

CONCLUSÕES

A contribuição deste trabalho está fortemente direcionada à sustentabilidade dos sistemas de tratamento de esgoto, visto que tem como intuito promover uma solução integrada para a recuperação de energia do biogás e o gerenciamento seguro do lodo excedente.

A unidade de cogeração de energia elétrica e térmica possibilitou a geração de 0,65 kWh de energia elétrica para cada m^3 de biogás consumido, sendo que o consumo de energia pelo protótipo e seus periféricos foi da ordem de 0,18 kWh por m^3 de biogás consumido, resultando em um excedente de $0,47 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-3}$. Em relação a utilização da energia térmica proveniente dos gases do escapamento para a secagem do lodo, foi possível alcançar 50% de redução do volume de lodo e a completa inativação de ovos de helmintos em curto tempo de exposição (1,5 h).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. NOYOLA, A., MORGAN-SAGASTUME, J.M.; LÓPEZ-HERNÁNDEZ, J.E. Treatment of biogas produced in anaerobic reactors for domestic wastewater: odour control and energy/resource recovery. *Reviews in Environmental Sciences and Bio/Technology*, v.5, p. 93-114. 2006.
2. EUROPEAN COMMISSION. Environmental pressure indicators for the EU, Eurostat, Data 1985-98; *Office for official publications of the European Communities*. Luxembourg. 2001